

Какие химические вещества входят в состав вольфрама?

Полное генеалогическое древо вольфрамовых

химикатов

CTIA GROUP LTD

Мировой лидер в области интеллектуального производства для
вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной промышленности

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ЗНАКОМСТВО С CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, дочерняя компания с независимой правосубъектностью, созданная компанией CHINATUNGSTEN ONLINE, занимается продвижением интеллектуального, интегрированного и гибкого проектирования и производства вольфрамовых и молибденовых материалов в эпоху промышленного интернета. CHINATUNGSTEN ONLINE, основанная в 1997 году с www.chinatungsten.com в качестве отправной точки — первый в Китае веб-сайт высшего уровня по вольфрамовым продуктам — является новаторской компанией электронной коммерции в стране, специализирующейся на вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной промышленности. Опираясь на почти тридцатилетний опыт работы в области вольфрама и молибдена, CTIA GROUP наследует исключительные возможности своей материнской компании в области проектирования и производства, превосходные услуги и глобальную деловую репутацию, став поставщиком комплексных прикладных решений в области химических веществ вольфрама, металлов вольфрама, твердых сплавов, сплавов высокой плотности, молибдена и молибденовых сплавов.

За последние 30 лет CHINATUNGSTEN ONLINE создала более 200 многоязычных профессиональных веб-сайтов по вольфраму и молибдену, охватывающих более 20 языков, с более чем миллионом страниц новостей, цен и анализа рынка, связанных с вольфрамом, молибденом и редкоземельными элементами. С 2013 года официальный аккаунт WeChat «CHINATUNGSTEN ONLINE» опубликовал более 40 000 единиц информации, обслуживая почти 100 000 подписчиков и ежедневно предоставляя бесплатную информацию сотням тысяч профессионалов отрасли по всему миру. Благодаря совокупному количеству посещений веб-сайта и официального аккаунта, достигнутому миллиардов раз, компания стала признанным глобальным и авторитетным информационным центром для вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной отраслей, предоставляющим 24/7 многоязычные новости, характеристики продукции, рыночные цены и услуги по рыночным тенденциям.

Опираясь на технологии и опыт CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP фокусируется на удовлетворении индивидуальных потребностей клиентов. Используя технологию искусственного интеллекта, она совместно с клиентами разрабатывает и производит вольфрамовые и молибденовые изделия с определенным химическим составом и физическими свойствами (такими как размер частиц, плотность, твердость, прочность, размеры и допуски). Она предлагает комплексные интегрированные услуги, начиная от вскрытия пресс-форм, пробного производства и заканчивая отделкой, упаковкой и логистикой. За последние 30 лет компания CHINATUNGSTEN ONLINE предоставила услуги по исследованиям и разработкам, проектированию и производству более 500 000 видов вольфрамовых и молибденовых изделий для более чем 130 000 клиентов по всему миру, заложив основу для индивидуального, гибкого и интеллектуального производства. Опираясь на эту основу, CTIA GROUP еще больше углубляет интеллектуальное производство и интегрированные инновации в области вольфрама и молибдена в эпоху промышленного интернета.

Д-р Ханн и его команда в CTIA GROUP, основываясь на своем более чем 30-летнем опыте работы в отрасли, также написали и обнародовали знания, технологии, цены на вольфрам и рыночные тенденции, связанные с вольфрамом, молибденом и редкоземельными элементами, свободно делясь ими с вольфрамовой промышленностью. Д-р Хан, обладая более чем 30-летним опытом работы с 1990-х годов в электронной коммерции и международной торговле вольфрамовыми и молибденовыми изделиями, а также в разработке и производстве цементированных карбидов и сплавов высокой плотности, является признанным экспертом в области вольфрама и молибдена как внутри страны, так и за рубежом. Придерживаясь принципа предоставления профессиональной и качественной информации отрасли, команда CTIA GROUP постоянно пишет технические исследовательские работы, статьи и отраслевые отчеты, основанные на производственной практике и потребностях клиентов на рынке, завоевав широкое признание в отрасли. Эти достижения обеспечивают надежную поддержку технологических инноваций, продвижения продукции и отраслевых обменов CTIA GROUP, что позволяет ей стать лидером в мировом производстве вольфрамовой и молибденовой продукции и информационных услугах.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Содержание

Глава 1

Обзор вольфрама

1.1 Открытие и история вольфрама

1.1.1 Краткая история открытия

1.1.1.1 Первое открытие шведского химика Кронштедта (1755, шведская литература)

1.1.1.2 Выделение вольфрамовой кислоты Шееле (1781, немецкая литература)

1.1.1.3 Братья Эльюар Очистка вольфрама (1783, испанская литература)

1.1.2 Наименование и многоязычные обозначения вольфрама

1.1.3 Раннее промышленное применение (19 век, английская и французская литература)

1.2 Естественное распространение вольфрама

1.2.1 Виды и распределение вольфрамовых минералов в мире

1.2.1.1 Вольфрамы

1.2.1.2 Шеелит

1.2.1.3 Другие второстепенные вольфрамовые минералы (например, губнерит)

1.2.2 Основные страны-производители и запасы

1.2.2.1 Китай (примерно 60% мировых резервов)

1.2.2.2 Россия, Вьетнам, Канада, Австралия и другие страны

1.2.3 Основные регионы добычи вольфрама

Дальний Восток
Другие регионы

1.3 Физические и химические свойства вольфрама

1.3.1 Физические свойства (температура плавления 3410°C, плотность 19,25 г/см³)

1.3.2 Химические свойства (степени окисления от +2 до +6, коррозионная стойкость)

1.3.3 Описания объектов недвижимости в многоязычной литературе (русский, японский, арабский и т.д.)

1.4 Промышленное и научное значение вольфрамовых химикатов

1.4.1 Обзор мирового промышленного спроса

1.4.2 Научное значение

Источники информации

Ссылки

Глава 2

Основная классификация и характеристика вольфрамовых химикатов

2.1 Классификация вольфрамовых химикатов

2.1.1 Оксиды вольфрама

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

[Триоксид вольфрама \(\$WO_3\$, триоксид вольфрама\)](#)

[Диоксид вольфрама \(\$WO_2\$, диоксид вольфрама\)](#)

[Пятиокись дивольфрама \(\$W_2O_5\$, Дивольфрамовый пентоксид\)](#)

[Оксид синего вольфрама \(\$W_{18}O_{49}\$ или \$W_{20}O_{58}\$, оксид синего вольфрама\)](#)

2.1.2 Вольфрамовая кислота и вольфраматы

[Вольфрамовая кислота \(\$H_2WO_4\$, вольфстальная кислота\)](#) и ее соли, известные как вольфраматы, являются критически важными вольфрамовыми кислотами (H_2WO_4 , вольфрамовая кислота)

[Вольфрамат натрия \(\$Na_2WO_4\$, вольфрамат натрия\)](#)

[Паравольфрамат аммония \(APT, \$\(NH_4\)_2WO_4\$, паравольфрамат аммония\)](#)

[Метавольфрамат аммония \(\$\(NH_4\)_6H_2W_{12}O_{40}\$, метавольфрамат аммония\)](#)

[Вольфрамат кальция \(\$CaWO_4\$, вольфрамат кальция\)](#)

2.1.3 Галогены вольфрама

[Гексахлорид вольфрама \(\$WCl_6\$, гексахлорид вольфрама\)](#)

[Гексафторид вольфрама \(\$WF_6\$, гексафторид вольфрама\)](#)

2.1.4 Карбиды и нитриды

[Порошок из карбида вольфрама \(\$WC\$, порошок карбида вольфрама\)](#)

Карбид дивольфрама (W_2C , карбид дивольфрама)

Нитрид вольфрама (WN , нитрид вольфрама)

2.1.5 Сульфиды и фосфиды

[Дисульфид вольфрама \(\$WS_2\$, Дисульфид вольфрама\)](#)

Фосфид вольфрама (WP , фосфид вольфрама)

2.1.6 Вольфрамовые соединения

[Гексакарбонил вольфрама \(\$W\(CO\)_6\$, Гексакарбонил вольфрама\)](#)

2.1.7 Вольфрамсодержащие катализаторы и реагенты

Фосфовольфрамовая кислота ($H_3PW_{12}O_{40}$, фосфовольфрамовая кислота)

2.1.8 Вольфрамсодержащие фармацевтические химикаты

Наночастицы вольфрамата натрия

(Наночастицы Na_2WO_4 , наночастицы вольфрамата натрия)

2.1.9 Прочие вольфрамсодержащие неметаллические соединения

Диселенид вольфрама (WSe_2 , Диселенид вольфрама)

2.2 Основные характеристики вольфрамовых химикатов

2.2.1 Кристаллическая структура и молекулярный состав

2.2.2 Термическая и химическая стабильность

2.2.3 Оптические, электрические и магнитные свойства

Источники информации

Ссылки

Глава 3

Получение и применение оксидов вольфрама

3.1 Триоксид вольфрама (WO_3 , Триоксид вольфрама)

3.1.1 Подготовительные процессы

Метод кальцинации (высокотемпературное окислительное разложение) Метод

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

мокрого химического осаждения (экстракция подкислением) Метод химического осаждения из газовой фазы (CVD)

3.1.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

3.1.3 Термическая и химическая стабильность

3.1.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

3.2 Диоксид вольфрама (WO₂, Диоксид вольфрама)

3.2.1 Процессы подготовки

Метод восстановления водорода Метод термического разложения

3.2.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

3.2.3 Термическая и химическая стабильность

3.2.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

3.3 Другие оксиды вольфрама

3.3.1 Подготовительные процессы

Метод окисления пятиоксида дивольфрама

(W₂O₅, пятиокись дивольфрама) Высокотемпературное восстановление для варианта оксида вольфрама синего цвета

(W₁₈O₄₉, вариант оксида синего вольфрама)

3.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

3.3.3 Термическая и химическая стабильность

3.3.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Источники информации

Ссылки

Глава 4

Получение и применение вольфрамовой кислоты и вольфраматов

4.1 Вольфрамовая кислота (H₂WO₄, вольфрамовая кислота)

4.1.1 Процессы приготовления

Метод кислотного осаждения (выщелачивание руды) Метод ацидолиза вольфрамата (конверсия раствора) Метод ионного обмена (высокоочищенный препарат)

4.1.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

4.1.3 Термическая и химическая стабильность

4.1.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

4.2 Вольфрамат натрия (Na₂WO₄, Вольфрамат натрия)

4.2.1 Процессы подготовки

Метод щелочного плавления (добыча руды) Метод нейтрализации вольфрамовой кислотой (лабораторная подготовка)

4.2.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

4.2.3 Термическая и химическая стабильность

4.2.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

4.3 Другие вольфратины

4.3.1 Процессы подготовки

Ионный обмен и кристаллизация паравольфрамата аммония

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, паравольфрамат аммония) Реакция синтеза вольфрамата кальция (CaWO_4 , вольфрамат кальция) Подкисляющая полимеризация с получением метавольфрамата аммония

$(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, метавольфрамат аммония)

4.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

4.3.3 Термическая и химическая стабильность

4.3.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Источники информации Ссылки

Глава 5

Получение и применение вольфрамовых галогенидов

5.1 Гексахлорид вольфрама (WCl_6 , гексахлорид вольфрама)

5.1.1 Процессы получения Метод прямого хлорирования (хлорирование металлического вольфрама)

Метод восстановления хлора (оксидное хлорирование) Метод газофазной реакции (высокоочищенный препарат)

5.1.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

5.1.3 Термическая и химическая стабильность

5.1.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

5.2 Гексафторид вольфрама (WF_6 , гексафторид вольфрама)

5.2.1 Процессы подготовки

Метод прямого фторирования (реакция вольфрама и фтора) Метод оксидного фторирования (фторирование триоксидом вольфрама)

5.2.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

5.2.3 Термическая и химическая стабильность

5.2.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

5.3 Другие вольфрамовые галогениды

5.3.1 Процессы подготовки

Восстановительный метод хлорирования для тетрахлорида вольфрама (WCl_4 , тетрахлорид вольфрама) Метод контролируемого хлорирования пентахлорида вольфрама

(WCl_5 , пентахлорид вольфрама)

5.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

5.3.3 Термическая и химическая стабильность

5.3.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Источники информации

Ссылки

Глава 6

Получение и применение карбидов и нитридов вольфрама

6.1 Карбид вольфрама (WC , карбид вольфрама)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.1.1 Подготовительные процессы

Метод высокотемпературной карбонизации (карбонизация вольфрамового порошка) Метод газофазной карбонизации (химическая реакция пара) Метод синтеза плазмы (получение ультрадисперсных частиц)

6.1.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

6.1.3 Термическая и химическая стабильность

6.1.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

6.2 Нитрид вольфрама (WN, нитрид вольфрама)

6.2.1 Процессы подготовки

Метод высокотемпературного азотирования (нитрирование вольфрамового порошка) Метод газофазного осаждения (CVD или PVD)

6.2.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

6.2.3 Термическая и химическая стабильность

6.2.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

6.3 Прочие карбиды и нитриды вольфрама

6.3.1 Подготовительные процессы

Метод контролируемой карбонизации карбида дивольфрама (W_2C , карбид дивольфрама) Метод кодиффузии углерода и азота для карбонитрида вольфрама ($WC_{1-x}N_x$, карбонитрид вольфрама)

6.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

6.3.3 Термическая и химическая стабильность

6.3.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Источники информации

Ссылки

Глава 7

Получение и применение сульфидов вольфрама и фосфидов

7.1 Дисульфид вольфрама (WS_2 , Дисульфид вольфрама)

7.1.1 Процессы подготовки

Метод высокотемпературного сульфидирования (сульфирование вольфрамовым порошком) Метод химического осаждения из газовой фазы (CVD) Метод механического отшелушивания

7.1.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

7.1.3 Термическая и химическая стабильность

7.1.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

7.2 Фосфид вольфрама (WP, фосфид вольфрама)

7.2.1 Процессы подготовки

Метод высокотемпературного фосфидирования (фосфидация вольфрамового порошка) Метод химического восстановления (оксидное фосфидирование)

7.2.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.2.3 Термическая и химическая стабильность

7.2.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

7.3 Прочие сульфиды вольфрама и фосфиды

7.3.1 Процессы подготовки

Метод контролируемого сульфидирования трисульфида дивольфрама (W_2S_3 , Дивольфрамовый трисульфид) Метод высокотемпературного фосфидирования дифосфида вольфрама (WP_2 , дифосфид вольфрама)

7.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

7.3.3 Термическая и химическая стабильность

7.3.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Источники информации

Ссылки

Глава 8

Получение и применение металлоорганических вольфрамовых соединений

8.1 Гексакарбонил вольфрама ($W(CO)_6$, Гексакарбонил вольфрама)

8.1.1 Процессы подготовки

Метод карбонилирования под высоким давлением (карбонилирование вольфрамового порошка) Метод восстановительного карбонилирования (восстановление галогенидов) Метод газофазного синтеза (получение высокой чистоты)

8.1.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

8.1.3 Термическая и химическая стабильность

8.1.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

8.2 Дихлорид вольфстеноцена (Cr_2WCl_2 , дихлорид вольфстеноцена)

8.2.1 Процессы подготовки

Метод координации галогенидов (реакция гексахлорида вольфрама) Метод восстановительной координации (субстрат триоксида вольфрама)

8.2.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

8.2.3 Термическая и химическая стабильность

8.2.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

8.3 Прочие металлоорганические вольфрамовые соединения

8.3.1 Процессы подготовки

Метод карбонильной координации для тетракарбонила вольфстеноцена ($CrW(CO)_4$, тетракарбонил вольфстеноцена) Метод алкилирования гексаметилвольфрама ($W(CH_3)_6$, гексаметилвольфрам)

8.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

8.3.3 Термическая и химическая стабильность

8.3.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Источники информации

Ссылки

Глава 9

Получение и применение вольфрамсодержащих катализаторов и реагентов

9.1 Фосфовольфрамовая кислота ($H_3PW_{12}O_{40}$, фосфовольфмстеровая кислота)

9.1.1 Процессы подготовки

Метод кислотного осаждения (реакция вольфрамата) Метод экстракции и очистки (растворная экстракция) Метод ионного обмена (препарат высокой чистоты)

9.1.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

9.1.3 Термическая и химическая стабильность

9.1.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

9.2 Силикотульфрамовая кислота ($H_4SiW_{12}O_{40}$, Силикотульфрамовая кислота)

9.2.1 Процессы подготовки

Метод кислотной реакции (реакция силиката натрия и вольфрамата) Метод экстракции (очистка раствора)

9.2.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

9.2.3 Термическая и химическая стабильность

9.2.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

9.3 Прочие вольфрамсодержащие катализаторы и реагенты

9.3.1 Процессы подготовки

Метод твердофазной реакции с получением вольфрамата цинка ($ZnWO_4$, Цинка вольфрамата) Метод нейтрализации вольфрамата аммония ($(NH_4)_2WO_4$, Аммоний)

9.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

9.3.3 Термическая и химическая стабильность

Источники информации

Ссылки

Глава 10

Получение и применение вольфрамсодержащих фармацевтических химикатов

10.1 Наночастицы вольфрамата натрия

(Наночастицы Na_2WO_4 , наночастицы вольфрамата натрия)

10.1.1 Процессы подготовки

Метод осаждения раствора (осаждение вольфрамата натрия) Метод микроэмульсии (контроль размера частиц) Сольвотермический метод (препарат высокой чистоты)

10.1.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

10.1.3 Термическая и химическая стабильность

10.1.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10.2 Наночастицы полиоксотунгфата (Polyoxotungstate Nanoparticles)

10.2.1 Подготовительные процессы

Метод полимеризации в растворе (полимеризация вольфрама)

Метод наноэмульсии (контроль размера частиц)

10.2.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

10.2.3 Термическая и химическая стабильность

10.2.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

10.3 Прочие вольфрамсодержащие фармацевтические химикаты

10.3.1 Подготовительные процессы

Метод осаждения наночастиц вольфрамата кальция

(Наночастицы CaWO_4 , наночастицы вольфрамата кальция)

Наночастицы триоксида вольфрама

10.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Наночастицы вольфрамата кальция

10.3.3 Термическая и химическая стабильность

Наночастицы вольфрамата кальция

10.3.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Наночастицы вольфрамата кальция

Источники информации

Ссылки

Глава 11

Приготовление и применение

Прочие вольфрамсодержащие неметаллические соединения

11.1 Диселенид вольфрама (WSe_2 , Диселенид вольфрама)

11.1.1 Процессы подготовки

Высокотемпературный метод селенизации (селенизация вольфрамовым порошком)

Метод химического осаждения из газовой фазы (CVD)

Метод механического отшелушивания (однослойная подготовка)

11.1.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

11.1.3 Термическая и химическая стабильность

11.1.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

11.2 Дителлурид вольфрама (WTe_2 , Дителлурид вольфрама)

11.2.1 Процессы подготовки

Метод высокотемпературной теллуризации (теллуризация в вольфрамовом порошке) Метод химического осаждения из газовой фазы (CVD)

11.2.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

11.2.3 Термическая и химическая стабильность

11.2.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

11.3 Прочие вольфрамсодержащие неметаллические соединения

11.3.1 Процессы подготовки

Метод йодирования для диiodида вольфрама

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(WI_2 , Дийодид вольфрама) Метод бромирования дибромид вольфрама
(WBr_2 , дибромид вольфрама)

11.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

11.3.3 Термическая и химическая стабильность

11.3.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Источники информации

Ссылки

Глава 12

Воздействие на окружающую среду и переработка вольфрамовых химикатов

12.1 Обзор воздействия вольфрамовых химикатов на окружающую среду 12.1.1

Воздействие добычи и производства на окружающую среду

12.1.2 Воздействие использования и утилизации на окружающую среду

12.1.3 Экологическое регулирование и управление

12.2 Технологии переработки вольфрамовых химикатов

12.2.1 Технология гидрометаллургической переработки

12.2.2 Пирометаллургическая технология рециркуляции 12.2.3 Технология

электрохимической рециркуляции 12.3 Применение рециркулированных

вольфрамовых химикатов 12.3.1 Повторное промышленное использование

12.3.2 Научные исследования и новые области

12.3.3 Экологические выгоды

Ссылки

Глава 13

Приложение

Комплексные исключения и расширения вольфрамовых химикатов

13.1 Всесторонний обзор пропущенных вольфрамовых химикатов

13.1.1 Идентификация и предыстория пропущенных соединений

13.1.2 Методология сложного вывода и валидации

13.2 Дисилицид вольфрама (WSi_2 , дисилицид вольфрама)

13.2.1 Процессы подготовки

Метод высокотемпературного силицидирования Метод химического осаждения из газовой фазы (CVD)

13.2.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

13.2.3 Термическая и химическая стабильность

13.2.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

13.2.5 Применение и предыстория

13.3 Борид вольфрама (WB, борид вольфрама)

13.3.1 Подготовительные процессы

Метод высокотемпературного борирования Метод плазменного синтеза

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

13.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

13.3.3 Термическая и химическая стабильность

13.3.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

13.3.5 Применение и предыстория

13.4 Другие пропущенные и предполагаемые соединения

13.4.1 Дицианид вольфрама ($W(CN)_2$, дицианид вольфрама)

13.4.2 Дигерманид вольфрама (WGe_2 , Дигерманид вольфрама)

13.4.3 Диарсенид вольфрама (WAs_2 , Диарсенид вольфрама)

13.4.4 Молибдат вольфрама ($WMoO_4$, Молибдат вольфрама)

13.4.5 Валидация и верификация

Источники информации

Ссылки

Приложение

Список химических веществ и соединений вольфрама, представленных в книге

1. Оксиды вольфрама
2. Вольфрамовые кислоты и вольфраматы
3. Галогены вольфрама
4. Карбиды и нитриды
5. Сульфиды и фосфиды вольфрама
6. Селениды и теллуриды вольфрама
7. Силициды и германиды вольфрама
8. Бориды и арсениды вольфрама
9. Металлоорганические соединения вольфрама
10. Вольфрамсодержащие катализаторы и реагенты вольфрама
11. Вольфрамсодержащие фармацевтические химикаты вольфрама

Глава 14:

Безопасность при производстве и использовании вольфрама

14.1 Нормы безопасности в химическом производстве вольфрама

14.1.1 Оценка рисков в производственном процессе

14.1.1.1 Риски, связанные с работой при высоких температурах и высоком давлении Меры по снижению

14.1.1.2 Контроль выбросов токсичных газов Меры по смягчению последствий

14.1.2 Средства обеспечения безопасности и меры защиты

14.1.2.1 Вентиляция и взрывозащищенные сооружения Рекомендации по внедрению

14.1.2.2 Меры предосторожности в отношении средств индивидуальной защиты (СИЗ)

14.1.3 Международные нормы и правила безопасности

14.1.3.1 Стандарты OSHA и ECHA

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Советы по соблюдению нормативных требований

14.1.3.2 Китайские стандарты безопасности производства

Советы по внедрению

Кончик

14.2 Управление безопасностью при использовании вольфрамовых химикатов

14.2.1 Руководство по технике безопасности при промышленном использовании

14.2.1.1 Требования к хранению и транспортировке

Процедура

14.2.1.2 Управление отходами и ликвидация разливов

Протокол действий в чрезвычайных ситуациях

14.2.2 Меры предосторожности при использовании в лаборатории

14.2.2.1 Обращение с реагентами и управление отходами

Советы по безопасности

14.2.3 Биологическая безопасность в медицинских приложениях

14.2.3.1 Оценка токсичности лекарственных средств на основе вольфрамата

Процедуры безопасности

Кончик

14.3 Типичные образцы MSDS для ключевых вольфрамовых химикатов

14.3.1 Триоксид вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) MSDS

14.3.1.1 Химическая идентификация и состав

14.3.1.2 Обзор опасности

14.3.1.3 Требования к обращению и хранению

14.3.1.4 Аварийные меры

14.3.2 MSDS из карбида вольфрама

14.3.2.1 Химическая идентификация и состав

14.3.2.2 Обзор опасности

14.3.2.3 Требования к обращению и хранению

14.3.2.4 Чрезвычайные меры

14.3.3 Натрия вольфрамат (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) MSDS

14.3.3.1 Химическая идентификация и состав

14.3.3.2 Обзор опасности

14.3.3.3 Требования к обращению и хранению

14.3.3.4 Аварийные меры

14.3.4 Гексафторид вольфрама (WF_6 , гексафторид вольфрама) MSDS

14.3.4.1 Химическая идентификация и состав

14.3.4.2 Обзор опасности

14.3.4.3 Требования к обращению и хранению

14.3.4.4 Чрезвычайные меры

14.3.5 Образцы MSDS для других ключевых вольфрамовых химических веществ (например, APT, WS_2)

Справочный совет

14.4 Перспективы развития технологии химической безопасности вольфрама

14.4.1 Применение ИИ в производстве систем безопасности

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

14.4.2 Тенденции в области экологически чистых технологий безопасности

Вид

Источники информации

Ссылки

Руководство по химической безопасности OSHA, Вашингтон, округ Колумбия Последнее издание

1. Введение и цель

Объективный

Размах

Правовая основа

2. Определение и идентификация опасных химических веществ

Определение

Идентификация

Пример

3. Оценка рисков и меры контроля

Риски высоких температур и высокого давления

Рычаги управления

Выбросы токсичных газов

Рычаги управления

Методы оценки

4. Маркировка и паспорта безопасности (SDS)

Требования к маркировке:

Форма SDS

Пример

5. Обучение и обучение сотрудников

Содержание

Частота

Пример

6. Реагирование на чрезвычайные ситуации и управление инцидентами

Реакция на игру:

Первая помощь:

Отчётность

7. Соблюдение нормативных требований и инспекции

Требования

Штрафы

Пример

Примеры, специфичные для вольфрама

Триоксид вольфрама (WO_3)

Гексафторид вольфрама (WF_6)

Tungsten Chemical MSDS (многоязычный) ECHA, Хельсинки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Последнее издание

1. Идентификация вещества/смеси и компании/предприятия
2. Идентификация опасностей
3. Состав/Информация об ингредиентах
4. Меры первой помощи
5. Противопожарные мероприятия
6. Меры по случайному выбросу
7. Обращение и хранение
8. Контроль воздействия / Личная защита
9. Физические и химические свойства
10. Стабильность и реакционная способность
11. Токсикологическая информация
12. Экологическая информация
13. Соображения по утилизации
14. Информация о транспорте
15. Нормативная информация
16. Прочая информация

Дополнительные примеры MSDS для вольфрамовых химических веществ (Сокращенно)

Карбид вольфрама (WC)
Натрия вольфрамат (Na₂WO₄)
Гексафторид вольфрама (WF₆)

Глава 15

Политика контроля и налогообложения в вольфрамовой промышленности

По всему миру, с акцентом на Китай,

Включая Европу, США, Японию и Южную Корею

15.1 Обзор политики в области вольфрамовой промышленности

15.1.1 Глобальное стратегическое значение вольфрамовой промышленности

15.1.2 Цели политики и ключевые различия между странами

Китай

США

Европейский союз

Япония и Южная Корея

15.2 Политика в области разведки и добычи полезных ископаемых

15.2.1 Политика Китая в области разведки и добычи полезных ископаемых

Политика в области геологоразведочных работ

Политика майнинга

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Правоприменение и тематическое исследование

Экологические требования

15.2.2 Политика в области разведки и добычи полезных ископаемых в Европе и Соединенных Штатах

США

Европейский союз:

15.2.3 Политика в области разведки и добычи полезных ископаемых в Японии и Южной Корее

Япония

Южная Корея

15.3 Политика в области плавки и производственной обработки

15.3.1 Политика Китая в области плавки и производственной обработки

15.3.2 Политика в области плавки и переработки продукции в Европе и Соединенных Штатах

США

Европейский союз

15.3.3 Политика в области плавки и переработки продукции в Японии и Южной Корее

Япония

Южная Корея

15.4 Политика и контроль в области импорта и экспорта

15.4.1 Политика Китая в области импорта и экспорта

Политики экспортного контроля

Конкретные меры

Регулирование товаров двойного назначения

Политики импорта

Тарифная политика

Дополнительная информация

15.4.2 Политика в области импорта и экспорта в Европе и Соединенных Штатах

США

Европейский союз

15.4.3 Политика в области импорта и экспорта в Японии и Южной Корее

Япония

Южная Корея

15.5 Налоговая политика

15.5.1 Налоговая политика Китая

15.5.2 Налоговая политика в Европе и Соединенных Штатах

США

Европейский союз

15.5.3 Налоговая политика в Японии и Южной Корее

Япония

Южная Корея

Источники информации

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ссылки

Перечень вольфрамовой продукции, подлежащей экспортному контролю, в соответствии с Экспортным контрольным списком товаров и технологий двойного назначения Китайской Народной Республики

Список экспортного контроля вольфрамовой продукции

Административные меры по выдаче лицензий на экспорт товаров и технологий двойного назначения ТН ВЭД

Приложение: Основные промышленные стандарты для вольфрамовых химикатов

Основные промышленные стандарты для вольфрамовых химикатов и соединений в США

1. ASTM D7047-15 (Стандартный метод испытаний для анализа вольфраматических состояний)
2. ASTM E236-66 (2017) (Стандартная спецификация на химический анализ вольфрама)
3. OSHA PEL (29 CFR 1910.1000) Пределы профессионального воздействия

Основные промышленные стандарты для химических веществ и соединений вольфрама в ЕС

1. EN 10204:2004 Металлические изделия - Виды документов для проверки
2. REACH Приложение XVII (ЕС 1907/2006) Регистрация и ограничение использования вольфрама

Основные промышленные стандарты для вольфрамовых химикатов и соединений в Японии

1. JIS H 1404:2001 (Методы химического анализа вольфрама)
2. JIS K 8962:2008 (Вольфрамат натрия)

Основные промышленные стандарты для химических веществ и соединений вольфрама в Южной Корее

1. KS M 6891:2018 (оксиды вольфрама)
2. KS M 6893:2018 (Вольфстаты)

Основные международные промышленные стандарты для вольфрамовых химикатов и соединений

1. ISO 11876:2010 Определение содержания кислорода в порошке вольфрама
2. ISO 6892-1:2016 Металлические материалы - Химический анализ

Дополнительные примечания

Источники данных:

Глобальная перспектива:

Стандарты Китая по химическим веществам и соединениям вольфрама

1. GB/T 10116-2007 Триоксид вольфрама
2. GB/T 23365-2009 Паравольфрамат аммония (APT)
3. HG/T 2959-2010 Натрия вольфрамат
4. HG/T 2469-2010 Вольфрамовая кислота
5. GBZ 2.1-2019 Предельные уровни профессионального воздействия опасных веществ на рабочем месте

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Основные отраслевые стандарты Японии для вольфрамовых химикатов и соединений

A. JIS H 1404:2001 タングステン化学品の分析

(Методы химического анализа вольфрама)

Б. JIS K 8962:2008 タングステン酸ナトリウム (Sodium Tungstate)

韓国タングステン化学用品および化合物主要産業基準 (Перевод на корейский)

1. KS M 6891:2018 텅스텐 산화물 (Оксиды вольфрама)

2. KS M 6893:2018 텅스텐산염 (Tungstates)

С п и с о к вольфрамсодержащих соединений:

Номера, химические формулы и свойства CAS

1. Оксиды вольфрама
2. Вольфрамовые кислоты и вольфраматы
3. Галогены вольфрама
4. Сульфиды и селениды вольфрама
5. Теллуриды вольфрама
6. Силициды
7. Арсениды вольфрама
8. Металлоорганические соединения
9. Вольфрамсодержащие катализаторы и реагенты

п е р е ч е н ь оборудования, технические характеристики, описания функций,

Преимущества и недостатки

для химического производства вольфрама

1. Оборудование для переработки и предварительной обработки руды
2. Оборудование для плавки и химических реакций
3. Оборудование для рафинирования и сепарации
4. Оборудование для сушки и последующей обработки
5. Вспомогательное и экологическое оборудование

Источники информации

Источники: *Справочник по химической безопасности* (английский, OSHA), *Руководство MSDS по вольфрамовым химическим веществам* (многоязычный, ECHA), *Технология безопасного производства* (китайский, Chinatungsten Online)

Основные производители: China Minmetals, H.C. Starck (Германия), Kennametal (США)

ПриложениеА. Основные промышленные стандарты для вольфрамовых химикатовВ. Таблица химических формул и свойств вольфрамсодержащих соединенийС. Технические характеристики оборудования для химического производства вольфрама

Ссылки

История и применение вольфрама (на шведском языке) - KTH Royal Institute of Technology, Стокгольм, 1990

Краткая история химии вольфрама (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Вашингтон, округ Колумбия, 2005 г.

Основы химии вольфрама (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998

Свойства соединений вольфрама - Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, 2000

Химия вольфгосударств (французский) - Институт химии, Парижский университет, Париж, 1995

Оптические свойства вольфрама (японский) - Исследовательский отчет корпорации Toshiba, Токио, 2010 г.

Исследования галогенидов вольфрама (на японском языке) - Институт химических исследований Toshiba, Токио, 2008 г.

Промышленное применение WF_6 (корейский) - Научно-исследовательский институт Samsung Electronics, Сеул, 2015 г.

Промышленная история WC (на немецком языке) - Krupp AG, Эссен, 1985

Органовольфрамовая химия (английский) - Массачусетский технологический институт (MIT), Бостон, 2002

Исследования по вольфрамовым катализаторам - Московский химико-технологический институт, Москва, 2012

Фармацевтическое применение вольфрама (на английском языке) - Национальные институты здравоохранения (НИН), Бетесда, 2018 г.

Вольфрамовая химическая промышленность (китайский) - Онлайн-редакция Chinatungsten, Пекин, 2020 г.

Промышленное применение АРТ (китайский) - Китайская ассоциация вольфрамовой промышленности (СПА), Пекин, 2019 г.

Экологические технологии в вольфрамовой промышленности (китайский) - Китайская ассоциация вольфрамовой промышленности (СПА), Пекин, 2021 г.

Глобальная переработка вольфрама (на английском языке) - Международная ассоциация вольфрамовой промышленности (ИПА), Лондон, 2020 г.

Справочник по химической безопасности (на английском языке) - Управление по охране труда и здоровья (OSHA), Вашингтон, округ Колумбия, 2015 г.

Руководство MSDS по вольфрамовым химикатам (многоязычное) - Европейское химическое агентство (ЕСНА), Хельсинки, 2020 г.

Технология безопасного производства (на китайском языке) - Онлайн-редакция Chinatungsten, Пекин, 2022 г.

Неметаллические соединения вольфрама (китайский) - Chinatungsten online, Пекин, 2021

Веб-сайты

Chinatungsten онлайн: www.chinatungsten.com

Китайская ассоциация вольфрамовой промышленности: www.ctia.com.cn

Публичный аккаунт Chinatungsten Online WeChat: "Chinatungsten Online"

Минеральные ресурсы Геологической службы США: www.usgs.gov

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Какие химические вещества входят в состав вольфрама?

Глава 1: Обзор вольфрама

1.1 Открытие и история вольфрама

Вольфрам (W, Tungsten) (символ элемента W) имеет историю открытий и исследований, охватывающую несколько столетий, развиваясь от раннего бессознательного использования до систематических научных исследований, отражая постепенное понимание человечеством этого металла с высокой температурой плавления. Ниже приведены ключевые вехи и события в открытии и историческом развитии вольфрама (W, Tungsten).

1.1.1 Краткая история открытия

Открытие вольфрама (W, вольфрама) не было мгновенным, а включало в себя длительный процесс от распознавания минералов до выделения элементов.

1.1.1.1 Первое открытие шведского химика Кронштедта (1755, шведская литература)

В 1755 году шведский минералог Аксель Фредрик Кронштедт, изучая железную руду в Биспберге, Швеция, обнаружил необычайно тяжелый белый минерал. Он назвал его «вольфрам» (по-шведски «тяжелый камень»), позже известный как пеелит (CaWO_4 , пеелит). Кронштедт не выделял вольфрамовый (W, вольфрамовый) элемент, но отметил, что плотность минерала значительно превышает плотность обычных минералов, впервые зафиксировав его свойства в шведской литературе [1]. Это открытие положило начало вхождению вольфрама (W, вольфрама) в научную

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сферу.

Кончик

В то время термин «вольфрам» относился исключительно к минералу и не был признан содержащим новый элемент, химические свойства которого до сих пор неизвестны.

1.1.1.2 Выделение вольфрамовой кислоты Шееле (1781, немецкая литература)

В 1781 году известный шведский химик Карл Вильгельм Шееле провел глубокий анализ шеелита (CaWO_4 , Scheelite). С помощью кислотной обработки (азотной кислоты) он извлек из минерала белое порошкообразное вещество, которое назвал [вольфрамовая кислота (H_2WO_4 , Tungstic Acid)] (вольфрамовая кислота). Шееле подробно описал свойства его химической реакции в немецкой литературе и предположил, что он может быть связан с неизвестным металлом [2]. Его наставник Торберн Бергман предлагал восстанавливать вольфрамовую кислоту (H_2WO_4 , Tungstic Acid) древесным углем для получения металла, но это не было достигнуто из-за технологических ограничений.

Ключевая фигура

Шееле, известный своими исключительными методами химического разделения, заложил основу для возможного открытия вольфрама (W, вольфрам).

Tip Tungstic acid (H_2WO_4 , Tungstic Acid) стала важной отправной точкой для химических исследований вольфрама (W, Tungsten), позже послужив ключевым промежуточным продуктом в производстве других химических веществ вольфрама, таких как триоксид вольфрама.

1.1.1.3 Братья Эльюар Очистка вольфрама (1783, испанская литература)

В 1783 году испанские химики Хуан Хосе Эльюар и Фаусто Эльюар завершили выделение вольфрама (W, Tungsten) в семинарии Вергара. Они извлекали вольфрамовую кислоту (H_2WO_4 , вольфрамовая кислота) из [вольфрамита](#) ($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$, [вольфрамит](#)) и успешно восстанавливали ее древесным углем при высоких температурах, получая металлический вольфрамовый порошок (W, вольфрам). В испанской литературе его называли «вольфрам», что происходит от немецкого шахтерского термина «волчья пена» для вольфрамита ($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$, вольфрамит) из-за его вмешательства в плавку олова [3].

Показатели

Братья Эльюар, пионеры в минералогии и химии, официально выделили вольфрам

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(W, Tungsten) в качестве отдельного элемента.

Страна

Испания занимает значительное место в истории открытия вольфрама (W, Tungsten).

Кончик

Это ознаменовало собой первое выделение металлического вольфрама (W, вольфрам), положив начало истории его прикладных исследований.

1.1.2 Наименование и многоязычные обозначения вольфрама

Название вольфрама (W, Tungsten) отражает его мультикультурное открытие. Шведский термин «вольфрам» (тяжелый камень) берет свое начало от описания Кронштедта, подчеркивая его высокую плотность, в то время как немецкий и испанский «вольфрам» был придуман братьями Эльуяр, укорененный в историческом названии вольфрама ((Fe,Mn)WO₄, Вольфрамит). Сегодня «вольфрам» является английским и международно признанным названием (символ элемента W), в то время как «вольфрам» по-прежнему широко используется в немецком, испанском и других европейских языках. В китайском языке «钨» (вольфрам) сочетает в себе «金» (металл) и «乌» (черный), символизируя его металлическую природу и темный внешний вид [4].

Кончик

Многоязычные варианты названий подчеркивают международный характер открытия вольфрама (W, Tungsten), и менеджеры по закупкам должны быть знакомы с этими терминами для эффективного общения с поставщиками в мировой торговле.

1.1.3 Раннее промышленное применение (19 век, английская и французская литература)

В начале 19 века, по мере развития промышленной революции, свойства вольфрама (W, вольфрам) начали получать признание. В 1841 году британский химик Роберт Дикинсон Оксланд запатентовал производство [вольфрама натрия (Na₂WO₄, Sodium Tungstate)] (натрия вольфрама), вольфрамовой кислоты (H₂WO₄, Tungstic Acid) и вольфрама (W, Tungsten) металлов, что стало первым шагом на пути к индустриализации вольфрамовых (W, Tungsten) химических веществ [5]. К 1847 году вольфрамат натрия (Na₂WO₄, Sodium Tungstate) использовался для окрашивания хлопчатобумажных тканей и огнеупорных театральные костюмов, став одним из самых ранних промышленных применений химических веществ вольфрама (W, Tungsten). Эти ранние усилия были задокументированы в английской и французской литературе, иллюстрирующей переход вольфрама (W, вольфрам) из лаборатории в промышленность [6].

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Кончик

Промышленное применение в 19-м веке заложило основу для коммерциализации вольфрама (W, Tungsten), особенно в химическом секторе, с такими применениями, как вольфрамат натрия (Na_2WO_4 , Tungstate натрия) для огнезащиты, которые актуальны и сегодня.

1.2 Естественное распространение вольфрама

Вольфрам (W, Tungsten) в основном существует в природе в виде полезных ископаемых, и его распределение и добыча имеют решающее значение для промышленного производства вольфрамовых (W, Tungsten) химических веществ.

1.2.1 Виды и распределение вольфрамовых минералов в мире

Минералы вольфрама (W, Tungsten) разнообразны, в первую очередь включают в себя следующие:

1.2.1.1 Вольфрамит

Вольфрамит ($(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$, вольфрамит) — железо-марганцевый вольфрамат с черным или темно-коричневым видом, служащий одной из основных руд вольфрама (W, вольфрам). Названный «вольфрам», он получил прозвище «волчья пена» от немецких шахтеров из-за пены, которую он производил во время плавки олова.

1.2.1.2 Шеелит

Шеелит (CaWO_4 , Шеелит) представляет собой вольфрамат кальция, имеющий белый или бледно-желтый цвет, и был назван шведами «тяжелым камнем» из-за его высокой плотности. Он флуоресцирует синим цветом под ультрафиолетовым светом и обычно используется для извлечения вольфрамовой кислоты (H_2WO_4 , Tungstic Acid).

1.2.1.3 Другие второстепенные вольфрамовые минералы (например, гюбнерит)

Другие минералы вольфрама (W, Tungsten) включают гюбнерит (MnWO_4 , Hübnerite) и ферберит (FeWO_4 , ферберит), оба варианта вольфрама ($(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$, вольфрамит). Они менее распространены, но добываются в определенных регионах, таких как Соединенные Штаты и Боливия.

Кончик

Вольфрамит ($(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$, вольфрамит) и шеелит (CaWO_4 , шеелит) являются

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

основными сырьевыми материалами для промышленного производства [триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама)] (триоксид вольфрама) и [паравольфрама аммония (APT, $(NH_4)_2WO_4$, паравольфрамат аммония)] (паравольфрамат аммония), и закупки должны быть сосредоточены на их сортности и содержании примесей.

1.2.2 Основные страны-производители и запасы

Вольфрам (W, Tungsten) – редкий металл, запасы и производство которого сосредоточены в нескольких странах:

1.2.2.1 Китай (примерно 60% мировых резервов)

Китай обладает крупнейшими в мире запасами вольфрама (W, Tungsten) (около 1,9 млн тонн, что составляет около 60% от общемирового объема) и производством (около 80% мирового производства в 2023 году), при этом ключевые горнодобывающие районы в регионе Наньлин добывают вольфрамит ($(Fe,Mn)WO_4$, вольфрамит) и шеелит ($CaWO_4$, шеелит) [7].

1.2.2.2 Россия, Вьетнам, Канада, Австралия и другие страны

Россия (Дальний Восток, запасы около 250 000 тонн), Вьетнам (рудник Нуи Фао, крупный мировой источник вольфрамита ($(Fe,Mn)WO_4$, вольфрамит)), Канада (рудник Кантунг) и Австралия (рудник Кинг-Айленд) также являются значительными производителями вольфрама (W, Tungsten), хотя их производство намного ниже, чем в Китае [7].

1.2.3 Основные регионы добычи вольфрама

Наньлин, Китай

Включая Ганьчжоу (Цзянси) и Чжучжоу (Хунань), это крупнейший в мире пояс добычи вольфрама (W, Tungsten), где добываются вольфрамит ($(Fe,Mn)WO_4$, вольфрамит) и шеелит ($CaWO_4$, шеелит).

Дальний Восток России Преимущественно производящий вольфрамит ($(Fe,Mn)WO_4$, вольфрамит) для внутреннего и международного рынков.

Другие регионы, такие как Боливия (рудник Льяллагуа) и Португалия (рудник Панаскера), где ведется более мелкомасштабная добыча полезных ископаемых.

Кончик

Доминирование Китая в ресурсах вольфрама (W, Tungsten) делает его ведущим производителем паравольфрама аммония (APT, $(NH_4)_2WO_4$, Ammonium Paratungstat) и триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) во всем мире, а

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

закупки должны учитывать политику экспортного контроля (например, ограничения Китая на соединения вольфрама в 2025 году).

1.3 Физические и химические свойства вольфрама

Уникальные физико-химические свойства вольфрама (W, Tungsten) делают его высоко ценным в промышленности и научных исследованиях.

1.3.1 Физические свойства (температура плавления 3410°C, плотность 19,25 г/см³)

Вольфрам (W, Tungsten) может похвастаться самой высокой температурой плавления (3410°C) и чрезвычайно высокой плотностью (19,25 г/см³), уступая лишь немногим драгоценным металлам. Его твердость (по шкале Мооса примерно 7,5) также превосходит твердость большинства распространенных металлов. Эти свойства были подтверждены экспериментами ученых начала XIX века, таких как Генри Кавендиш в Великобритании и Жозеф-Луи Пруст во Франции [8].

Кончик

Высокая температура плавления делает вольфрам (W, Tungsten) идеальным для [порошка карбида вольфрама (WC, порошок карбида вольфрама)] (порошок карбида вольфрама) и [вольфрамовой проволоки (W Wire, Tungsten Wire)] (вольфрамовая проволока), используемых в высокотемпературных средах.

1.3.2 Химические свойства (степени окисления от +2 до +6, коррозионная стойкость)

Вольфрам (W, Tungsten) обладает множественными степенями окисления (+2 до +6), причем +6 является наиболее стабильной, как это видно в триоксиде вольфрама (WO₃, триоксид вольфрама). Он обладает высокой устойчивостью к кислотам и основаниям при комнатной температуре, но легко образует триоксид вольфрама (WO₃, триоксид вольфрама) в высокотемпературных окислительных атмосферах. Русский химик Дмитрий Менделеев подтвердил характеристики переходного металла в своих исследованиях периодической таблицы [9].

Кончик

Его коррозионная стойкость придает потенциал вольфрамовой кислоте (H₂WO₄, вольфстраническая кислота) и вольфрамату натрия (Na₂WO₄, вольфрамат натрия) в химической и медицинской промышленности.

1.3.3 Описания объектов недвижимости в многоязычной литературе (русский, японский, арабский и т.д.)

Русская литература XIX века русские ученые описывали высокую твердость и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

жаростойкость вольфрама (W, вольфрам), подчеркивая его металлургический потенциал [10].

Японская литература В начале 20-го века японские исследователи сосредоточились на электропроводности вольфрама (W, Tungsten) в электронике, такой как вольфрамовая проволока (W Wire, Tungsten Wire) [11].

Арабская литература Минералогические записи с Ближнего Востока отмечают высокую плотность вольфрамовых (W, вольфрамовых) руд [12].

Кончик

Многоязычные исследования подчеркивают глобальный интерес к вольфраму (W, Tungsten), и закупки могут выиграть от ссылок на национальные стандарты (например, японские спецификации JIS для вольфрамовой проволоки (W Wire, Tungsten Wire)).

1.4 Промышленное и научное значение вольфрамовых химикатов

[Вольфрамовые химикаты (W Chemicals, Tungsten Chemicals)](вольфрамовые химикаты) жизненно важны в промышленности и исследованиях благодаря своему разнообразию и высокой производительности.

1.4.1 Обзор мирового промышленного спроса

Химические вещества вольфрама (W, Tungsten), такие как триоксид вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама), порошок карбида вольфрама (WC, порошок карбида вольфрама) и паравольфрамат аммония (APT, $(NH_4)_2WO_4$, паравольфрамат аммония), являются основным сырьем в промышленном производстве. По данным Международной ассоциации вольфрамовой промышленности (ITIA) и Геологической службы США (USGS), мировой рынок вольфрамовой продукции (W, Tungsten) в 2023 году достиг примерно 40 миллиардов долларов. Твердые сплавы, в первую очередь на основе порошка карбида вольфрама (WC, порошок карбида вольфрама), составляют около 50% этого рынка, оцениваемого в 20 миллиардов долларов, включая режущие инструменты, горнодобывающее оборудование и износостойкие компоненты. Электронные материалы, такие как [гексафторид вольфрама (WF_6 , гексафторид вольфрама)] (гексафторид вольфрама) для производства полупроводников и сплавы [вольфрамовая медь (W-Cu, вольфрамовая медь)] (вольфрамовая медь) для радиаторов, составляют около 20%, или 8 миллиардов долларов. Жаропрочные сплавы и аэрокосмическая техника, включая противовесы из вольфрамовых сплавов (W, Tungsten Alloy) и ракетные сопла, составляют примерно 15% и оцениваются в 6 миллиардов долларов. Оставшиеся 15 процентов, примерно 6 миллиардов долларов, покрывают новые области применения в возобновляемых источниках энергии (например, [вольфрамовая

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

проволока (W Wire, Tungsten Wire)] (вольфрамовая проволока) для фотоэлектрической нарезки) и других промышленных применениях. В 2023 году мировое потребление вольфрама (W, Tungsten) составило около 85 000 тонн, при этом на долю Китая пришлось около 68 000 тонн, на долю США — около 8 000 тонн, а на Европу — около 6 000 тонн, что подчеркивает доминирующую роль Китая в индустрии вольфрама (W, Tungsten). Примечательно, что спрос на возобновляемые источники энергии растет: фотоэлектрический сектор потребляет около 500 тонн вольфрамовой проволоки (W Wire, Tungsten Wire) в год, и, по прогнозам, к 2030 году этот показатель вырастет до 800 тонн. Аналогичным образом, потребность атомной промышленности в вольфрамовых сплавах (W Alloy, Tungsten Alloy) растет примерно на 10% в год, особенно в компонентах термоядерных реакторов [13].

Кончик

Порошок карбида вольфрама (WC, порошок карбида вольфрама) является краугольным камнем твердых сплавов, и при его закупках следует уделять его гранулометрическому составу (например, сверхдисперсный порошок D50 размером 1-5 мкм повышает твердость и износостойкость).

1.4.2 Научное значение

Химические вещества вольфрама (W, Tungsten) используются в исследованиях для разработки новых материалов, таких как [дисульфид вольфрама (WS_2 , дисульфид вольфрама)] (дисульфид вольфрама) для двумерных исследований материалов, гексафторид вольфрама (WF_6 , гексафторид вольфрама) для полупроводниковых применений и вольфрамат натрия (Na_2WO_4 , вольфрама натрия) для биомедицинского потенциала. В проекте Международного термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР) для материалов с плазменным покрытием (ПФМ) используется высокая температура плавления вольфрама (W, Tungsten). Кроме того, вольфрамовый сплав (W, вольфрамовый сплав) находит широкое применение в аэрокосмической промышленности [14].

Кончик

Научная ценность химических веществ вольфрама (W, вольфрама) обуславливает применение триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) в фотокатализе, и при закупках следует отдавать приоритет его чистоте и кристаллической форме, такой как моноклинная фаза, которая больше подходит для фотокатализаторов.

Источники информации

[1] История и применение вольфрама (на шведском языке) - KTH Royal Institute of Technology, Стокгольм, 1990 [2] Краткая история химии вольфрама (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2005 [3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com

[15] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ссылки

- [1] История и применение вольфрама (на шведском языке) - KTH Royal Institute of Technology, Стокгольм, 1990[2] Краткая история химии вольфрама (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com
- [4] Исследования по наименованию вольфрама (многоязычно) - Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC), Лондон, 1990[5] Применение вольфрама в британской промышленной революции (на английском языке) - Королевское общество Химия, Лондон, 1985[6] Ранняя индустриализация вольфрамовых химикатов (французский) - Société Chimique de France, Париж, 1990[7] Глобальный отчет о распределении вольфрамовых ресурсов (английский) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2023[8] Исследования физических свойств вольфрама (английский) - Философские труды Королевского общества, Лондон, 1810[9] Вольфрам в периодической таблице (русский) - Русское химическое общество, Москва, 1870[10] Применение вольфрама в русской металлургии (русский) - Химический факультет, Московский университет, Москва, 1890[11] Применение вольфрама в японской электронной промышленности (японский) - Исследовательский отчет Токийского технологического института, Токио, 1925[12] Минералогические записи в арабском регионе (арабский) - Факультет геологии, Каирский университет, Каир, 1900[13] 2023 Анализ мирового рынка вольфрамовых изделий (английский) - Международная ассоциация вольфрамовой промышленности (ITIA), Лондон, 2023[14] Пограничное применение вольфрама в исследованиях (на английском языке) - Национальные институты здравоохранения (НИИ), Бетесда, 2018
- [15] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Какие химические вещества входят в состав вольфрама?

Глава 2: Основная классификация и характеристики вольфрамовых химических веществ

2.1 Классификация вольфрамовых химикатов

Вольфрамовые (W, вольфрамовые) химические вещества относятся к различным соединениям, полученным из вольфрама (W, Tungsten) элемента, ценным за их уникальные свойства, такие как высокая температура плавления, высокая плотность и коррозионная стойкость, что делает их широко применимыми в промышленности и исследованиях. Эти химические вещества классифицируются на основе их химического состава и структуры, отражающих их роль в различных технологических и научных областях. Ниже приведена систематизированная классификация вольфрамовых химикатов (W Chemicals, Tungsten Chemicals).

2.1.1 Оксиды

Оксиды вольфрама (W, Tungsten) — это соединения, образованные вольфрамом (W, Tungsten) и кислородом, широко используемые в катализе, электронике и керамике благодаря своей стабильности и оптическим свойствам. Основные примеры включают:

Триоксид вольфрама (WO₃, триоксид вольфрама)

Порошок от желтого до зеленого цвета, наиболее стабильный и распространенный оксид, используемый в фотокатализаторах и электрохромных устройствах.

Диоксид вольфрама (WO₂, диоксид вольфрама)

Коричневое кристаллическое соединение, менее распространенное, служащее промежуточным продуктом в электронных материалах.

Пятиокись дивольфрама (W₂O₅, Дивольфрамовый пентоксид)

Нестехиометрический оксид, в основном изучаемый в исследованиях наноматериалов.

Оксид синего вольфрама (W₁₈O₄₉ или W₂₀O₅₈, оксид синего вольфрама)

Синее соединение с фотоэлектрическими свойствами, применяемое в датчиках и оптоэлектронных материалах.

2.1.2 Вольфрамовая кислота и вольфраматы

Вольфрамовая кислота (H₂WO₄, Tungstic Acid) и ее соли, известные как вольфраматы, являются важнейшими промежуточными и функциональными материалами в химическом синтезе и промышленном применении. Примеры

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

включают:

Вольфрамовая кислота (H_2WO_4 , Вольфрамовая кислота)

Желтый, слаборастворимый порошок, используемый в качестве прекурсора для других соединений вольфрама (W, Tungsten).

Вольфрамат натрия (Na_2WO_4 , вольфрамат натрия)

Водорастворимое белое кристаллическое соединение, используемое в огнезащитных материалах и биомедицинских исследованиях.

Паравольфрамат аммония (APT, $(NH_4)_2WO_4$, паравольфрамат аммония)

Белый кристаллический материал, основное сырье для производства порошка вольфрама (W, Tungsten).

Метавольфрамат аммония ($(NH_4)_6H_2W_{12}O_{40}$, метавольфрамат аммония)

Полиоксометаллат, используемый в аналитических реагентах и катализаторах.

Вольфрамат кальция ($CaWO_4$, вольфрамат кальция)

Флуоресцентное соединение, используемое в рентгеновских экранах и люминесцентных материалах.

2.1.3 Галогены

Галогениды вольфрама (W, Tungsten) представляют собой летучие соединения, образующиеся с галогенами, необходимые для тонкопленочного осаждения и органического синтеза. Примеры включают:

Гексахлорид вольфрама (WCl_6 , гексахлорид вольфрама)

Летучее соединение, используемое в качестве катализатора в органических реакциях.

Гексафторид вольфрама (WF_6 , гексафторид вольфрама)

Газообразное соединение, широко применяемое в химическом осаждении из газовой фазы для производства полупроводников.

2.1.4 Карбиды и нитриды

Карбиды и нитриды вольфрама (W, Tungsten) являются твердыми, огнеупорными материалами, которые ценятся за их долговечность в промышленности. Примеры включают:

Порошок из карбида вольфрама (WC, порошок карбида вольфрама)

Состав высокой твердости, используемый в режущих инструментах и износостойких

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

покрытиях.

Карбид дивольфрама (W_2C , карбид дивольфрама)

Менее распространен карбид, используемый в специализированных покрытиях.

Нитрид вольфрама (WN, нитрид вольфрама)

Используется в износостойких пленках и электронных приложениях.

2.1.5 Сульфиды и фосфиды

Сульфиды и фосфиды вольфрама (W, Tungsten) отличаются смазывающей способностью и каталитическими свойствами. Примеры включают:

Дисульфид вольфрама (WS_2 , Дисульфид вольфрама)

Слоистое соединение, используемое в качестве твердой смазки и при исследовании двумерных материалов.

Фосфид вольфрама (WP, фосфид вольфрама)

Каталитический материал в химических процессах.

2.1.6 Вольфрамовые соединения

В состав вольфрамовых соединений входит вольфрам (W, вольфрам), связанный с органическими группами, ценными в катализе и синтетической химии. Примеры включают:

Гексакарбонил вольфрама ($W(CO)_6$, гексакарбонил вольфрама)

Летучее металлоорганическое соединение, используемое в катализаторах органического синтеза.

2.1.7 Вольфрамсодержащие катализаторы и реагенты

Эти соединения используют каталитические свойства вольфрама (W, Tungsten) для промышленного и лабораторного использования. Примеры включают:

Фосфовольфрамовая кислота ($H_3PW_{12}O_{40}$, фосфовольфрамовая кислота)

Гетерополикислота, используемая в качестве катализатора в органических реакциях.

2.1.8 Вольфрамсодержащие фармацевтические химикаты

В исследованиях появляются соединения вольфрама (W, Tungsten) с биомедицинским потенциалом. Примеры включают:

Наночастицы вольфрамата натрия

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(Наночастицы Na_2WO_4 , наночастицы вольфрамата натрия)

Исследован антидиабетические свойства в исследованиях наномедицины.

2.1.9 Прочие вольфрамсодержащие неметаллические соединения

В эту категорию входят специализированные составы с уникальными свойствами. Примеры включают:

Диселенид вольфрама (WSe_2 , Диселенид вольфрама)

Полупроводниковый материал, используемый в электронике и оптоэлектронике.

Кончик

Классификация вольфрамовых (W, вольфрамовых) химических веществ отражает их структурное разнообразие и функциональную универсальность, охватывая области применения от промышленных твердых сплавов до передовых научных исследований.



2.2 Основные характеристики вольфрамовых химикатов

Вольфрамовые (W, вольфрамовые) химические вещества обладают целым рядом физических и химических свойств, которые обуславливают их широкое применение. Ниже приведены их ключевые характеристики.

2.2.1 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Кристаллическая структура химических веществ вольфрама (W, Tungsten) варьируется в зависимости от их состава. Например, триоксид вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) обычно имеет моноклинную кристаллическую структуру, усиливая его фотокаталитическую активность, как подробно описано в немецких

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

кристаллографических исследованиях [16]. Порошок карбида вольфрама (WC, Tungsten Carbide Powder) образует гексагональную структуру, что способствует его исключительной твердости, в то время как дисульфид вольфрама (WS_2 , Tungsten Disulfide) имеет слоистую гексагональную решетку, обеспечивающую его смазывающую способность [17]. Эти структурные различия, проанализированные в многоязычной литературе, определяют их конкретное применение.

Кончик

Кристаллическая структура химических веществ вольфрама (W, вольфрам), такая как слоистая природа дисульфида вольфрама (WS_2 , дисульфид вольфрама), имеет решающее значение для их работы в конкретных областях применения, таких как смазывание.

2.2.2 Термическая и химическая стабильность

Вольфрамовые (W, вольфрамовые) химические вещества известны своей термической и химической стабильностью. Триоксид вольфрама (WO_3 , Tungsten Trioxide) остается стабильным при температуре до 1000°C на воздухе, что делает его пригодным для высокотемпературного катализа, как это было исследовано в российских исследованиях в области высокотемпературной химии [18]. Порошок карбида вольфрама (WC, Tungsten Carbide Powder) выдерживает экстремальные условия до 2600°C без разложения, идеально подходит для режущих инструментов. Вольфрамат натрия (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) демонстрирует химическую стабильность в водных растворах, что способствует его использованию в огнезащитных материалах [19].

Кончик

Термическая стабильность порошка карбида вольфрама (WC, порошок карбида вольфрама) обеспечивает его долговечность в сложных промышленных условиях.

2.2.3 Оптические, электрические и магнитные свойства

Вольфрамовые (W, вольфрамовые) химические вещества обладают ярко выраженными оптическими, электрическими и магнитными свойствами. Триоксид вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) проявляет электрохромное поведение, изменяя цвет под напряжением, и широко изучается в японских и корейских исследованиях электронных материалов для умных окон [20]. Дисульфид вольфрама (WS_2 , Tungsten Disulfide) — полупроводник с запрещенной зоной примерно 1,3 эВ, подходящий для оптоэлектронных устройств. Гексакарбонил вольфрама ($W(CO)_6$, гексакарбонил вольфрама) не обладает значительными магнитными свойствами, но обладает превосходной летучестью для тонкопленочных применений [21].

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Кончик

Оптические свойства триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) делают его ключевым материалом в энергосберегающих технологиях, таких как электрохромные окна.

Источники информации

[16] *Основы химии вольфрама* (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998[17] *Свойства вольфрамовых соединений* (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000[20] Публичный аккаунт Chinatungsten Online WeChat[22] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

Ссылки

[1] *История и применение вольфрама* (на шведском языке) - KTH Royal Institute of Technology, Стокгольм, 1990[2] *Краткая история химии вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com
[4] *Исследования по наименованию вольфрама* (многоязычные) - Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC), Лондон, 1990[5] *Применение вольфрама в британской промышленной революции* (на английском языке) - Королевское химическое общество, Лондон, 1985[6] *Ранняя индустриализация вольфрамовых химикатов* (на французском языке) - Société Chimique de France, Париж, 1990[7] *Отчет о глобальном распределении вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2023 г.[8] *Исследования физических свойств вольфрама* (английский) - Философские труды Королевского общества, Лондон, 1810[9] *Вольфрам в периодической таблице* (русский) - Русское химическое общество, Москва, 1870[10] *Применение вольфрама в русской металлургии* (русский) - Химический факультет, Московский университет, Москва, 1890[11] *Применение вольфрама в японской электронной промышленности* (японский) - Исследовательский отчет Токийского технологического института, Токио, 1925[12] *Минералогические записи в арабском регионе* (арабский) - Факультет геологии, Каирский университет, Каир, 1900 г.[13] *Анализ мирового рынка вольфрамовых изделий 2023 г.* (на английском языке) - Международная ассоциация вольфрамовой промышленности (ITIA), Лондон, 2023 г.[14] *Пограничное применение вольфрама в исследованиях* (на английском языке) - Национальные институты здравоохранения (НИИ), Бетесда, 2018 г.[15] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn
[16] *Основы химии вольфрама* (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998[17] *Свойства вольфрамовых соединений* (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000[18] *Высокотемпературная химия оксидов вольфрама* (на русском языке) - Российская академия наук, Москва, 1995[19] *Химическая стабильность вольфрамовых соединений* (на английском языке) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Исследование электронных материалов на оксидах вольфрама* (японский) - Tokyo University Press, Токио, 2010[21] *Металлоорганические соединения вольфрама* (английский) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Какие химические вещества входят в состав вольфрама?

Глава 3: Получение и применение оксидов вольфрама

3.1 Триоксид вольфрама (WO_3 , Триоксид вольфрама)

[Триоксид вольфрама \(\$WO_3\$, Триоксид вольфрама\)](#) является одним из наиболее значимых и широко используемых оксидов среди химических веществ вольфрама (W, Tungsten). Его исключительные свойства, такие как высокая стабильность, электрохромные свойства и фотокаталитические способности, делают его краеугольным камнем промышленного производства, электронных технологий и новых приложений возобновляемых источников энергии. Являясь флагманом в семействе соединений вольфрама (W, Tungsten), триоксид вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) может похвастаться богатой историей, охватывающей столетия, от ранних лабораторных открытий до современного промышленного производства, что отражает углубляющееся понимание человечеством и освоение им ресурсов вольфрама (W, Tungsten).

3.1.1 Подготовительные процессы

Получение триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) включает в себя различные методы, начиная от традиционных промышленных технологий и заканчивая передовыми прецизионными процессами, адаптированными к различным потребностям применения и стандартам чистоты.

Метод кальцинирования (высокотемпературное окислительное разложение)

Метод кальцинирования является одним из наиболее распространенных подходов в промышленных условиях, с использованием сырья, такого как [паравольфрамат аммония](#) (APT , $(NH_4)_2WO_4$, [паравольфрамат аммония](#)) или [вольфрамовая кислота](#)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

[\(H₂WO₄, вольфровая кислота\)](#). Процесс включает в себя нагревание этих прекурсоров в богатой кислородом атмосфере при температуре от 600°C до 900°C, что приводит к разложению и окислению с образованием желтого или зеленого порошка триоксида вольфрама (WO₃, триоксид вольфрама). Этот метод пользуется популярностью благодаря своей простоте и масштабируемости, что делает его основным продуктом в крупномасштабном производстве, особенно на предприятиях по переработке вольфрама в Китае. Во время прокаливании из сырья выделяется аммиак и водяной пар, оставляя после себя чистый триоксид вольфрама (WO₃, триоксид вольфрама), размер частиц и кристаллическая форма которого регулируются с помощью контроля температуры и атмосферы.

Метод влажного химического осаждения (экстракция подкислением)

Метод влажного химического осаждения включает в себя подкисление раствора вольфрама, такого как [вольфрамат натрия \(Na₂WO₄, Sodium Tungstate\)](#), для осаждения вольфрамовой кислоты (H₂WO₄, вольфрамовая кислота), которая затем фильтруется, промывается и термически обрабатывается (обычно при 400-600°C) с получением триоксида вольфрама (WO₃, триоксид вольфрама). Этот метод превосходит в достижении высокой химической чистоты и производстве наноразмерных частиц, что делает его идеальным для исследовательских целей и электронной промышленности, где точность и качество имеют первостепенное значение. По сравнению с кальцинацией, этот метод делает упор на тщательный контроль технологического процесса, что позволяет производить мелкосерийно продукцию с высокой добавленной стоимостью и улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Химическое осаждение из газовой фазы (CVD)

представляет собой усовершенствованный метод подготовки, в котором используются летучие предшественники, такие как [гексафторид вольфрама \(WF₆, гексафторид вольфрама\)](#), для осаждения тонких пленок триоксида вольфрама (WO₃, триоксид вольфрама) в результате газофазных реакций при повышенных температурах (обычно 500-800°C). Этот метод широко применяется при изготовлении прецизионных электронных компонентов, таких как газовые датчики и электрохромные пленки, благодаря своей способности получать однородные, плотные тонкие пленки, отвечающие строгим требованиям современных высокотехнологичных приложений.

3.1.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Кристаллическая структура триоксида вольфрама (WO₃, триоксид вольфрама) лежит в основе его универсальных свойств, обычно проявляющихся в моноклинной форме, хотя кубические или орторомбические структуры могут возникать при различных температурах и условиях. Немецкие кристаллографические исследования показывают, что его моноклинная структура состоит из трехмерной

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сети атомов вольфрама и кислорода, соединенных между собой через совместное использование углов, образуя прочную структуру, которая усиливает ее оптические и электрические свойства [16]. На молекулярном уровне каждый атом вольфрама координируется с шестью атомами кислорода, создавая стабильные октаэдрические единицы, конфигурация, которая способствует его устойчивости как в термической, так и в химической среде.

3.1.3 Термическая и химическая стабильность

Триоксид вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) демонстрирует замечательную термическую стабильность, оставаясь неповрежденным на воздухе при температурах выше $1000\text{ }^{\circ}C$, что делает его очень подходящим для высокотемпературного катализа и оптических покрытий. Химически он демонстрирует сильную устойчивость к кислотам и щелочам, сохраняя структурную целостность в суровых условиях. Однако в восстановительной атмосфере (например, водороде) он может превращаться в низшие оксиды или металлический вольфрам (W , вольфрам), свойство которого широко задокументировано в российских исследованиях в области высокотемпературной химии [18]. Эта универсальность окислительно-восстановительного потенциала делает его ценным материалом в каталитических и электрохимических приложениях.

3.1.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Особого внимания заслуживают оптические свойства триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама), поскольку его электрохромные свойства позволяют менять цвет от желтого до темно-синего при подаче напряжения, что обусловлено изменениями степени окисления атомов вольфрама. Эта особенность была тщательно изучена в японских и корейских исследованиях электронных материалов, что привело к ее широкому использованию в умных окнах и технологиях отображения [20]. Электрически он функционирует как широкозонные полупроводники (примерно $2,6\text{--}3,0\text{ эВ}$), что делает его пригодным для оптоэлектронных устройств. Несмотря на отсутствие значительных магнитных свойств, его электрические и оптические характеристики в достаточной степени поддерживают широкий спектр передовых технологических приложений.

Кончик

Разнообразные методы получения и превосходные свойства триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) выделяют его в области химических веществ вольфрама (W , Tungsten); При закупках приоритет должен отдаваться кристаллической форме и чистоте в зависимости от предполагаемого использования.

3.2 Диоксид вольфрама (WO_2 , Диоксид вольфрама)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Диоксид вольфрама (WO_2 , Диоксид вольфрама) — низковалентный оксид вольфрама (W, Вольфрам), который применяется реже, чем триоксид вольфрама (WO_3 , Триоксид вольфрама), но сохраняет особую актуальность в специализированных электронных и каталитических областях. Его уникальные химические и физические свойства выделяют его из семейства оксидов вольфрама, предлагая нишевую ценность, несмотря на более ограниченную сферу применения.

3.2.1 Процессы подготовки

При приготовлении диоксида вольфрама (WO_2 , диоксид вольфрама) в основном используются методы восстановления, требующие тщательного контроля условий для обеспечения чистоты и консистенции продукта.

Метод восстановления водорода

Метод восстановления водорода включает в себя восстановление триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) в атмосфере водорода при температурах от $500^{\circ}C$ до $700^{\circ}C$ с получением диоксида вольфрама (WO_2 , диоксид вольфрама). Точное регулирование потока и температуры водорода имеет решающее значение для предотвращения чрезмерного восстановления до металлического вольфрама (W, Tungsten). Этот широко распространенный метод как в промышленных, так и в лабораторных условиях позволяет получить кристаллический продукт коричневого цвета, размер частиц которого можно регулировать с помощью регулировки продолжительности реакции и температуры, в соответствии с конкретными потребностями применения.

Метод термического разложения

Метод термического разложения включает в себя нагревание вольфрамовой кислоты (H_2WO_4 , вольфрамовой кислоты) или паравольфрама аммония (APT, $(NH_4)_2WO_4$, паравольфрама аммония) при температуре $650-800^{\circ}C$ в инертной атмосфере (например, азота или аргона) с образованием диоксида вольфрама (WO_2 , диоксид вольфрама). Этот подход особенно подходит для мелкосерийного производства, эффективно избегая кислородной интерференции для обеспечения стабильного образования нужного оксида, что часто предпочтительно для материалов исследовательского класса, требующих контролируемого состава.

3.2.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Диоксид вольфрама (WO_2 , диоксид вольфрама) обычно имеет моноклинную кристаллическую структуру, где каждый атом вольфрама координируется с четырьмя атомами кислорода, образуя искаженную тетраэдрическую сеть. Такое расположение, более плотное, чем октаэдрическая структура триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама), приводит к более высокой плотности (примерно 10,8

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

г/см³). Российские химические исследования подчеркивают, что эта уникальная кристаллическая структура придает определенную степень электропроводности, отличая его от других оксидов вольфрама и предполагая потенциал для применения в электронике [17].

3.2.3 Термическая и химическая стабильность

Диоксид вольфрама (WO₂, Диоксид вольфрама) проявляет хорошую термическую стабильность в инертных средах, выдерживая температуру до 800°C без деградации. Однако его стабильность ослабевает в присутствии кислорода, где он легко окисляется до триоксида вольфрама (WO₃, триоксид вольфрама), что ограничивает его использование в условиях с высоким содержанием кислорода. Химически он демонстрирует более слабую стойкость к кислотам и основаниям по сравнению с более высокими оксидами, но сохраняет устойчивость в восстановительных условиях, часто выступая в качестве промежуточного продукта в окислительно-восстановительных процессах, что хорошо задокументировано в исследованиях стабильности [19].

3.2.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

В отличие от триоксида вольфрама (WO₃, триоксид вольфрама), диоксид вольфрама (WO₂, диоксид вольфрама) не обладает выраженными оптическими свойствами, проявляясь в виде твердого тела темно-коричневого цвета без значительного электрохромного поведения. Электрически он действует как узкозонный полупроводник (примерно 1,0-1,3 эВ), обеспечивая умеренную проводимость, которая подходит ему для исследования электронных материалов. С точки зрения магнитного поля он не проявляет заметных свойств, а его полезность в первую очередь связана с его электрическими характеристиками, а не с оптическим или магнитным применением.

Кончик

Получение диоксида вольфрама (WO₂, диоксид вольфрама) требует точного контроля восстановления, а его потенциал в электронных материалах и катализе заслуживает дальнейшего изучения.

3.3 Другие оксиды вольфрама

Помимо триоксида вольфрама (WO₃, триоксид вольфрама) и диоксида вольфрама (WO₂, диоксид вольфрама), вольфрам (W, Tungsten) образует дополнительные оксиды, такие как пятиокись дивольфрама (W₂O₅, пятиокись дивольфрама) и вариант синего оксида вольфрама (W₁₈O₄₉, вариант оксида синего вольфрама). Эти нестехиометрические оксиды, хотя и менее распространены, обладают уникальной

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ценностью в специализированных приложениях, особенно в нанотехнологиях и оптоэлектронике.

3.3.1 Подготовительные процессы

Получение этих других оксидов вольфрама обычно происходит в лабораторных масштабах и включает в себя сложные процессы, адаптированные к их конкретному составу.

Метод окисления пятиоксида дивольфрама (W_2O_5 , Ditungsten Pentoxide)

Пятиокись дивольфрама (W_2O_5 , Ditungsten Pentoxide) получают путем окисления диоксида вольфрама (WO_2 , диоксид вольфрама) или частично восстановительного триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) в контролируемых условиях (400-600°C) при низком парциальном давлении кислорода. Этот метод требует тщательной калибровки для поддержания его нестехиометрической природы, уравнивая степень окисления между WO_2 и WO_3 , и часто используется в исследовательских условиях для изучения его переходных свойств.

Высокотемпературное восстановление для варианта оксида синего вольфрама ($W_{18}O_{49}$, вариант оксида синего вольфрама)

Вариант оксида синего вольфрама ($W_{18}O_{49}$, вариант оксида синего вольфрама) синтезируется путем восстановления триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) при температуре 700-900°C в умеренно восстановительной атмосфере (например, смеси водорода и инертного газа). Этот процесс оптимизирован для создания игольчатых наноструктур, улучшающих их фотоэлектрические свойства, и является предпочтительным методом создания материалов, пригодных для передовых технологических приложений.

3.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Пятиокись дивольфрама (W_2O_5 , Ditungsten Pentoxide), нестехиометрический оксид, имеет кристаллическую структуру, промежуточную между диоксидом вольфрама (WO_2 , диоксидом вольфрама) и триоксидом вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама), с переходной координационной средой, отражающей его смешанную степень окисления. Вариант оксида синего вольфрама ($W_{18}O_{49}$, вариант синего оксида вольфрама) имеет игольчатую моноклинную структуру, характеризующуюся кислородными вакансиями, которые способствуют его проводимости и оптическим свойствам, что делает его предметом обширных исследований в области нанотехнологий.

3.3.3 Термическая и химическая стабильность

Пятиокись дивольфрама (W_2O_5 , Ditungsten Pentoxide) термически нестабилен на воздухе, легко окисляется до триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама), но

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

может сохраняться до 600°C в инертных условиях. Вариант оксида синего вольфрама ($W_{18}O_{49}$, вариант с синим оксидом вольфрама) обеспечивает немного лучшую термическую стабильность, выдерживая до 800 °C, хотя он также окисляется в средах, богатых кислородом. Оба продукта демонстрируют ограниченную химическую устойчивость к кислотам и основаниям, лучше всего проявляя себя в неокисляющих условиях, где можно использовать их уникальные свойства.

3.3.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Пятиокись дивольфрама (W_2O_5 , Ditungsten Pentoxide) обладает умеренной проводимостью, но не обладает значительными оптическими характеристиками, что ограничивает его применение в конкретных электрических приложениях. Напротив, вариант оксида синего вольфрама ($W_{18}O_{49}$, вариант с синим вольфрамовым оксидом) отличается своим синим цветом и отличными фотоэлектрическими свойствами, обладая запрещенной зоной около 2,4 эВ, что идеально подходит для фотоприемников и датчиков. Ни одно из соединений не проявляет заметных магнитных свойств, их ценность коренится в электрических и оптических областях.

Кончик

Другие оксиды вольфрама, такие как вариант оксида синего вольфрама ($W_{18}O_{49}$, вариант оксида синего вольфрама), набирают обороты благодаря своему потенциалу в нанотехнологиях и оптоэлектронике, что требует более пристального внимания.

Источники информации

[16] *Основы химии вольфрама* (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998[17] *Свойства вольфрамовых соединений* (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000[20] Публичный аккаунт Chinatungsten Online WeChat[22] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

Ссылки

[1] *История и применение вольфрама* (на шведском языке) - KTH Royal Institute of Technology, Стокгольм, 1990[2] *Краткая история химии вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com
[4] *Исследования по наименованию вольфрама* (многоязычные) - Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC), Лондон, 1990[5] *Применение вольфрама в британской промышленной революции* (на английском языке) - Королевское химическое общество, Лондон, 1985[6] *Ранняя индустриализация вольфрамовых химикатов* (на французском языке) - Société Chimique de France, Париж, 1990[7] *Отчет о глобальном распределении вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2023 г.[8] *Исследования физических свойств вольфрама* (английский) - Философские труды Королевского общества, Лондон, 1810[9] *Вольфрам в периодической таблице* (русский) - Русское химическое общество, Москва, 1870[10] *Применение*

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

вольфрама в русской металлургии (русский) - Химический факультет, Московский университет, Москва, 1890[11] Применение вольфрама в японской электронной промышленности (японский) - Исследовательский отчет Токийского технологического института, Токио, 1925[12] Минералогические записи в арабском регионе (арабский) - Факультет геологии, Каирский университет, Каир, 1900 г.[13] Анализ мирового рынка вольфрамовых изделий 2023 г. (на английском языке) - Международная ассоциация вольфрамовой промышленности (ITIA), Лондон, 2023 г.[14] Пограничное применение вольфрама в исследованиях (на английском языке) - Национальные институты здравоохранения (НИИ), Бетесда, 2018 г.[15] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

[16] Основы химии вольфрама (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998[17] Свойства вольфрамовых соединений (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000[18] Высокотемпературная химия оксидов вольфрама (на русском языке) - Российская академия наук, Москва, 1995[19] Химическая стабильность вольфрамовых соединений (на английском языке) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] Исследование электронных материалов на оксидах вольфрама (японский) - Tokyo University Press, Токио, 2010[21] Металлоорганические соединения вольфрама (английский) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn



Какие химические вещества входят в состав вольфрама?

Глава 4: Получение и применение вольфрамной кислоты и вольфраматов

4.1 Вольфрамовая кислота (H_2WO_4 , Вольфрамовая кислота)

Вольфрамовая кислота (H_2WO_4 , Tungstic Acid) является ключевым членом химического семейства вольфрама (W, Tungsten), служащим важным

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

предшественником для многочисленных соединений вольфрама, включая вольфрам и оксиды. Известная своей низкой растворимостью, химической активностью и стабильностью в кислой среде, вольфрамовая кислота (H_2WO_4 , вольфрамовая кислота) играет важную роль как в промышленном производстве, так и в научных исследованиях. Помимо своей полезности в качестве промежуточного продукта для синтеза оксидов вольфрама высокой чистоты, он находит применение в катализаторах, пигментах и аналитической химии, демонстрируя свою универсальную ценность. Процессы получения и исследования свойств вольфрамовой кислоты (H_2WO_4 , вольфрамовой кислоты) охватывают столетия, эволюционируя от рудиментарной добычи минералов до сложной современной химической инженерии, отражая прогрессивное мастерство химии вольфрама (W, вольфрама).

4.1.1 Процессы подготовки

Получение вольфрамовой кислоты (H_2WO_4 , Tungstic Acid) включает в себя целый ряд методов, от традиционного кислотного осаждения до передовых лабораторных методов, учитывающих различные уровни чистоты и требования к применению.

Метод кислотного осаждения (выщелачивание руды)

Метод кислотного осаждения является наиболее широко используемым промышленным методом, обычно начиная с таких руд, как [вольфрамит](#) ($(Fe,Mn)WO_4$, вольфрамит) или [шеелит](#) ($CaWO_4$, шеелит). Сильные кислоты (например, соляная или азотная кислота) используются для выщелачивания вольфрама из руды, образуя осадок вольфрамовой кислоты (H_2WO_4 , Tungstic Acid). Процесс включает в себя смешивание тонко измельченной руды с кислотой, реагирующей при $50-80^{\circ}C$ с непрерывным перемешиванием, во время которого вольфрамовая кислота (H_2WO_4 , Tungstic Acid) выпадает в осадок в виде желтого твердого вещества. Затем следует фильтрация и промывка для получения сырого продукта. Благодаря своей зависимости от обильного сырья и установленной зрелости процесса, этот метод широко используется предприятиями по переработке вольфрама в Китае, такими как в Ганьчжоу, провинция Цзянси, где точный контроль концентрации кислоты и продолжительности реакции сводит к минимуму примеси, такие как железо и марганец.

Метод ацидолиза вольфрама (конверсия раствора)

Метод ацидолиза вольфрамата получает вольфрамовую кислоту (H_2WO_4 , вольфрамовая кислота) путем подкисления растворимого раствора вольфрамата, такого как [вольфрамат натрия](#) (Na_2WO_4 , вольфрамат натрия). Как правило, раствор вольфрамата натрия (Na_2WO_4 , Sodium Tungstat) смешивают с соляной кислотой, а pH доводят до 2-3, что приводит к выпадению вольфрамовой кислоты (H_2WO_4 , Tungstic Acid) в осадок. После фильтрации, промывки и низкотемпературной сушки (примерно $100-150^{\circ}C$) получается продукт высокой чистоты. Этот метод отлично

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

справляется с контролем уровня примесей и получением наноразмерных частиц, что делает его идеальным для тонкой химической промышленности и лабораторных исследований, таких как приготовление прекурсоров катализаторов или оксидов высокой чистоты, где качество и точность имеют первостепенное значение.

Метод ионного обмена (получение высокой чистоты)

Метод ионного обмена представляет собой современную высокоточную технику, при которой раствор, содержащий вольфрамовый (например, раствор вольфрама) пропускается через ионообменную смолу для выделения ионов вольфрама (WO_4^{2-}), а затем подкисляется (обычно серной кислотой) с образованием вольфрамовой кислоты (H_2WO_4 , вольфрамовая кислота). Этот метод особенно эффективен при удалении следовых примесей (например, ионов тяжелых металлов), получая вольфрамовую кислоту сверхвысокой чистоты (H_2WO_4 , вольфстальная кислота), пригодную для электронных материалов, специализированных катализаторов и высокоточных аналитических реагентов. Выбор и регенерация смолы имеют решающее значение, напрямую влияя на чистоту продукта и производственные затраты.

4.1.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Вольфрамовая кислота (H_2WO_4 , Tungstic Acid) обычно имеет орторомбическую кристаллическую структуру, молекулы которой состоят из атома вольфрама, скоординированного с четырьмя атомами кислорода в тетраэдрическом расположении, где два атома кислорода связаны с атомами водорода через водородные связи. Немецкие кристаллографические исследования показывают, что эта структура объясняет его низкую растворимость в воде (примерно 0,02 г/100 мл) и склонность к разложению на [триоксид вольфрама \(\$WO_3\$, триоксид вольфрама\)](#) при нагревании [16]. Водородные связи в его молекулярном каркасе придают ему слабую кислотность (рКа около 2,2), что позволяет ему вступать в реакцию с основаниями с образованием вольфраматов, свойство, широко используемое в промышленном синтезе.

4.1.3 Термическая и химическая стабильность

Вольфрамовая кислота (H_2WO_4 , Tungstic Acid) демонстрирует отличную химическую стабильность при комнатной температуре, противостоя коррозии от большинства кислот и оснований. Однако в сильнощелочных растворах (например, гидроксиде натрия) он растворяется с образованием вольфраматов, таких как вольфрамат натрия (Na_2WO_4 , вольфрамат натрия). Термически он начинает терять кристаллическую воду при 100-200°C, превращаясь в триоксид вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама), при этом полное разложение происходит около 250°C.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Такое термическое разложение делает его жизненно важным сырьем для получения оксидов вольфрама высокой чистоты, что отмечается в российских химических исследованиях, где его стабильность в кислых средах является ключевым преимуществом в гидрометаллургии [17].

4.1.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Оптические свойства вольфрамовой кислоты (H_2WO_4 , Tungstic Acid) относительно скромны, ее желтый цвет обусловлен электронными переходами в ее кристаллической структуре, хотя ей не хватает значительной оптической активности, такой как электрохромизм или флуоресценция, что ограничивает ее прямое использование в оптических приложениях. Электрически это изолятор с пренебрежимо малой проводимостью, зависящий от продукта его разложения, триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама), для электрических применений. Магнитно вольфрамовая кислота (H_2WO_4 , вольфстальная кислота) не проявляет заметных свойств, а ее основная ценность заключается в ее химической реакционной способности и роли прекурсора, а не в ее внутренних физических характеристиках.

Кончик

Универсальные методы получения и ключевая роль вольфрамовой кислоты (H_2WO_4 , вольфрамовая кислота) в качестве прекурсора в химии вольфрама (W, вольфрама) подчеркивают ее важность; Закупки должны быть сосредоточены на чистоте и характеристиках частиц, адаптированных к последующим применениям.

4.2 Вольфрамат натрия (Na_2WO_4 , Вольфрамат натрия)

Вольфрамат натрия (Na_2WO_4 , вольфрамат натрия) является наиболее распространенным и универсальным вольфраматом, ценным за его превосходную растворимость в воде, химическую стабильность и многофункциональность, что обеспечивает его широкое использование в промышленном производстве, медицинских исследованиях и аналитической химии. Являясь представителем растворимого вольфрама натрия, вольфрама натрия (Na_2WO_4 , Sodium Tungrate) отлично подходит для различных применений, начиная от огнеупорных материалов и заканчивая биологически активными исследованиями и синтезом других соединений вольфрама, с долгой историей, которая закрепила его статус жизненно важного звена в цепочке химической промышленности вольфрама.

4.2.1 Процессы подготовки

Получение вольфрамата натрия (Na_2WO_4 , Sodium Tungmat) объединяет извлечение руды с методами реакции на основе раствора, удовлетворяя разнообразные потребности промышленного производства и лабораторной точности.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Метод щелочного плавления (добыча руды)

Метод щелочного плавления включает в себя реакцию вольфрамита ((Fe,Mn)WO₄, вольфрамита) или шеелита (CaWO₄, шеелит) с гидроксидом натрия (NaOH) при высоких температурах (600-800°C) с образованием раствора вольфрамата натрия (Na₂WO₄, вольфрамат натрия). Процесс включает в себя смешивание порошкообразной руды с гидроксидом натрия и нагревание в плавильной печи до расплавления, где вольфрам вступает в реакцию с натрием с образованием растворимого вольфрама натрия (Na₂WO₄, вольфрамат натрия). После охлаждения примеси отфильтровываются, а раствор испаряется и кристаллизуется с образованием белых кристаллов. Этот метод, предпочитаемый за эффективное использование рудных ресурсов и простоту эксплуатации, является преобладающим методом в перерабатывающей промышленности Китая, особенно в крупных центрах, таких как Цзянси и Хунань.

Метод нейтрализации вольфрамовой кислотой (лабораторная подготовка)

Метод нейтрализации вольфрамовой кислоты получает вольфрамат натрия (Na₂WO₄, Sodium Tungstate) путем нейтрализации вольфрамовой кислоты (H₂WO₄, Tungstic Acid) раствором гидроксида натрия при комнатной температуре (20-40°C) после реакции: $H_2WO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2WO_4 + 2H_2O$. Полученный раствор концентрируют путем выпаривания и охлаждают для кристаллизации кристаллов дигидрата вольфрамата натрия (Na₂WO₄, Sodium Tungstate). Этот простой метод идеально подходит для мелкосерийного производства в лабораториях высокой чистоты, обычно используемого для приготовления стандартных растворов или реагентов в научных исследованиях и аналитической химии.

4.2.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Вольфрамат натрия (Na₂WO₄, Sodium Tungstate) обычно существует в виде дигидрата (Na₂WO₄ · 2H₂O) с орторомбической кристаллической структурой. В этой структуре атом вольфрама координируется с четырьмя атомами кислорода, образуя стабильную тетраэдрическую единицу (WO₄²⁻), в то время как два атома натрия ионически связаны с ионом вольфрама, а молекулы воды объединяются посредством водородной связи. Кристаллографические исследования подтверждают, что такое расположение объясняет его высокую растворимость в воде (около 730 г/л при 20°C), что облегчает его использование в водных средах при сохранении кристаллической стабильности [19].

4.2.3 Термическая и химическая стабильность

Вольфрамат натрия (Na₂WO₄, вольфрамат натрия) демонстрирует высокую термическую стабильность в сухих условиях, выдерживая до 300 °C без разложения. При превышении этой температуры он теряет кристаллическую воду, превращаясь в безводный вольфрамат натрия (Na₂WO₄), при полном распаде которого требуется

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

температура около 700°C. Химически его водный раствор является слабощелочным (pH 8-9) и чувствителен к кислотам, легко превращаясь в вольфрамовую кислоту (H_2WO_4 , Tungstic Acid) в кислых условиях, но при этом он устойчив к коррозии в нейтральных и слабощелочных средах, что делает его пригодным для адаптации к различным реакциям [19].

4.2.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Оптические свойства вольфрамата натрия (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) ничем не примечательны, поскольку его белые кристаллы не обладают значительной оптической активностью, такой как флуоресценция или электрохромизм, что ограничивает его оптическое применение. Электрически он действует как ионный проводник в растворе из-за подвижности ионов натрия и вольфрамата, но является изолятором в твердой форме с пренебрежимо малой проводимостью. С магнитной точки зрения вольфрамат натрия (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) не проявляет заметных свойств, а его полезность в основном обусловлена его химическими свойствами, такими как растворимость и реакционная способность, а не физическими характеристиками.

Кончик

Растворимость в воде и химическая стабильность вольфрамата натрия (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) делают его незаменимым в огнезащитных и биомедицинских приложениях; при закупке следует учитывать содержание кристаллической воды и уровень примесей для оптимальной производительности.

4.3 Другие вольфратины

Помимо вольфраматовой кислоты (H_2WO_4 , вольфрамовая кислота) и вольфрамата натрия (Na_2WO_4 , вольфрамат натрия), семейство вольфраматов включает в себя такие важные соединения, как [паравольфрамат аммония \(APT, \$\(NH_4\)_2WO_4\$, паравольфрамат аммония\)](#), [вольфрамат кальция \(\$CaWO_4\$, вольфрамат кальция\)](#) и [метавольфрамат аммония \(\$\(NH_4\)_6H_2W_{12}O_{40}\$, метавольфрамат аммония\)](#). Эти вольфраматы превосходны в промышленном производстве, научных исследованиях и специализированных приложениях, обогащая область химии вольфрама.

4.3.1 Процессы подготовки

Процессы подготовки этих других вольфраматов варьируются в зависимости от их химических свойств и предполагаемого использования, начиная от добычи руды и заканчивая методами синтеза раствора.

Ионный обмен и кристаллизация паравольфрамата аммония (APT, $(NH_4)_2WO_4$, паравольфрамат аммония)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Паравольфрамат аммония (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, паравольфрамат аммония) обычно получают из растворов вольфрама, извлеченных из вольфрамовых руд, пропущенных через ионообменные смолы для выделения ионов вольфрама (WO_4^{2-}). Затем добавляют аммиак, чтобы довести pH раствора до 7-8, вызывая осаждение паравольфрамата аммония (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, паравольфрамат аммония), который фильтруют, промывают и сушат (около 100-150°C) с получением белых кристаллов. Этот метод является краеугольным камнем вольфрамовой промышленности Китая, широко используется в производстве вольфрамового порошка (W-порошок, вольфрамовый порошок), с годовым объемом производства, достигающим десятков тысяч тонн в таких регионах, как Цзянси и Хунань.

Реакция синтеза вольфрамата кальция

(CaWO_4 , Вольфрамат кальция)

Вольфрамат кальция (CaWO_4 , Вольфрамат кальция) синтезируется путем слияния вольфрамата натрия (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) с хлоридом кальция (CaCl_2) при высоких температурах (примерно 800-1000°C), следуя за реакцией: $\text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{CaCl}_2 \rightarrow \text{CaWO}_4 + 2\text{NaCl}$. Полученный продукт охлаждается в белые кристаллы, которые измельчаются и просеиваются для использования. Этот простой процесс обычно используется для производства флуоресцентных материалов и оптических компонентов, используя его высокую термическую стабильность для промышленной масштабируемости.

Подкисляющая полимеризация с получением метавольфрамата аммония

($(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, метавольфрамат аммония)

метавольфрамат аммония ($(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, метавольфрамат аммония) получают путем подкисления раствора паравольфрамата аммония (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, паравольфрамат аммония) и регулирования pH до 3-4, что побуждает ионы вольфрама полимеризоваться в ионы поливольфрамата ($\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_4^{6-}$). Затем добавляется аммиак для стабилизации раствора с последующей кристаллизацией для получения конечного продукта. Этот метод предназначен для производства катализаторов и аналитических реагентов высокой чистоты, используя его уникальную структуру полиоксометаллата.

4.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Паравольфрамат аммония (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, паравольфрамат аммония) имеет сложную моноклинную кристаллическую структуру с несколькими вольфрамово-кислородными октаэдрическими единицами, стабилизированными ионами аммония посредством водородных связей, образуя прочный композитный каркас. Вольфрамат кальция (CaWO_4 , вольфрамат кальция) имеет тетрагональную кристаллическую структуру, похожую на природный шеелит, при этом атомы вольфрама координируют четыре атома кислорода в тетраэдрическом расположении, поддерживаемом ионами кальция через ионные связи.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Метавольфрамат аммония $((\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, метавольфрамат аммония) имеет полиоксометаллатную структуру, состоящую из кластера из 12 вольфрамо-кислородных октаэдров, окруженных ионами аммония, что придает им характерную молекулярную сложность, пригодную для каталитических применений.

4.3.3 Термическая и химическая стабильность

Паравольфрамат аммония (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, паравольфрамат аммония) обладает умеренной термической стабильностью, разлагаясь до триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) при температуре 250-300°C с выделением аммиака и водяного пара, а его химическая стабильность чувствительна к кислым условиям. Вольфрамат кальция (CaWO_4 , вольфрамат кальция) обладает исключительной термической стабильностью, выдерживает температуры выше 1000°C и отличной химической стабильностью, практически нерастворим в воде и устойчив к большинству кислот и оснований, что делает его идеальным для применения при высоких температурах. Метавольфрамат аммония $((\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, метавольфрамат аммония) теряет кристаллическую воду при температуре около 200°C и разлагается дальше при более высоких температурах, при этом более слабая химическая стабильность требует защиты от сильных кислот или оснований для сохранения его полиоксометаллатной структуры.

4.3.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Паравольфрамат аммония (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, паравольфрамат аммония) не обладает заметными оптическими свойствами, проявляясь в виде белых кристаллов с минимальной оптической активностью, и является изолятором электрически и магнитно инертным. Вольфрамат кальция (CaWO_4 , Кальция Вольфрамат) известен своей флуоресценцией, излучающей синий свет под воздействием ультрафиолетового излучения (запрещенная зона $\sim 4,2$ эВ), что делает его ценным в рентгеновских детекторах и флуоресцентных материалах, хотя он остается изолятором без магнитных свойств. Метавольфрамат аммония $((\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, метавольфрамат аммония) не проявляет значительных оптических или магнитных свойств, но проявляет ионную проводимость в растворе, оставаясь при этом изолятором в твердой форме, что обусловлено в первую очередь его каталитическими способностями.

Кончик

Другие вольфраматы, такие как вольфрамат кальция (CaWO_4 , вольфрамат кальция) и метавольфрамат аммония $((\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, метавольфрамат аммония) обладают уникальными преимуществами во флуоресценции и катализе соответственно; закупки должны соответствовать конкретным потребностям применения в отношении метода приготовления и чистоты.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

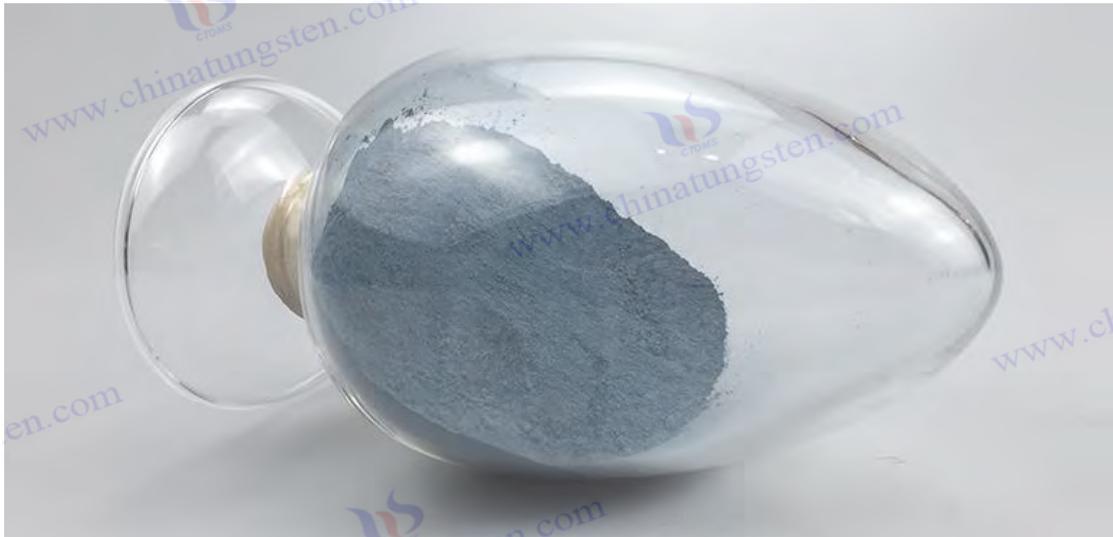
Источники информации

[16] *Основы химии вольфрама* (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998[17] *Свойства вольфрамовых соединений* (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000[20] Китайский вольфрамовый онлайн-аккаунт WeChat[22] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

Ссылки

[1] *История и применение вольфрама* (на шведском языке) - KTH Royal Institute of Technology, Стокгольм, 1990[2] *Краткая история химии вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com
[4] *Исследования по наименованию вольфрама* (многоязычные) - Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC), Лондон, 1990[5] *Применение вольфрама в британской промышленной революции* (на английском языке) - Королевское химическое общество, Лондон, 1985[6] *Ранняя индустриализация вольфрамовых химикатов* (на французском языке) - Société Chimique de France, Париж, 1990[7] *Отчет о глобальном распределении вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2023 г.[8] *Исследования физических свойств вольфрама* (английский) - Философские труды Королевского общества, Лондон, 1810[9] *Вольфрам в периодической таблице* (русский) - Русское химическое общество, Москва, 1870[10] *Применение вольфрама в русской металлургии* (русский) - Химический факультет, Московский университет, Москва, 1890[11] *Применение вольфрама в японской электронной промышленности* (японский) - Исследовательский отчет Токийского технологического института, Токио, 1925[12] *Минералогические записи в арабском регионе* (арабский) - Факультет геологии, Каирский университет, Каир, 1900 г.[13] *Анализ мирового рынка вольфрамовых изделий 2023 г.* (на английском языке) - Международная ассоциация вольфрамовой промышленности (ITIA), Лондон, 2023 г.[14] *Пограничное применение вольфрама в исследованиях* (на английском языке) - Национальные институты здравоохранения (НИИ), Бетесда, 2018 г.[15] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn
[16] *Основы химии вольфрама* (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998[17] *Свойства вольфрамовых соединений* (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000[18] *Высокотемпературная химия оксидов вольфрама* (на русском языке) - Российская академия наук, Москва, 1995[19] *Химическая стабильность вольфрамовых соединений* (на английском языке) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Исследование электронных материалов на оксидах вольфрама* (японский) - Tokyo University Press, Токио, 2010[21] *Металлоорганические соединения вольфрама* (английский) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Какие химические вещества входят в состав вольфрама?

Глава 5: Получение и применение вольфрамовых галогенидов

5.1 Гексахлорид вольфрама (WCl_6 , гексахлорид вольфрама)

[Гексахлорид вольфрама \(\$WCl_6\$, гексахлорид вольфрама\)](#) является видным членом семейства галогенидов вольфрама (W, Tungsten), высоко ценимым как в промышленных, так и в исследовательских условиях благодаря своей летучести, высокой реакционной способности и каталитическим свойствам в различных химических реакциях. Будучи летучим соединением вольфрама, гексахлорид вольфрама (WCl_6 , гексахлорид вольфрама) выделяется своим характерным темно-синим кристаллическим внешним видом и исключительными химическими свойствами, что делает его незаменимым в органическом синтезе, тонкопленочном осаждении и подготовке катализаторов. Ее путь от первоначального лабораторного синтеза до современного промышленного применения отражает продолжающуюся эволюцию и углубление понимания химии галогенидов вольфрама, позиционируя ее как уникальный вклад в более широкую область химических веществ вольфрама (W, Tungsten).

5.1.1 Процессы подготовки

Получение гексахлорида вольфрама (WCl_6 , гексахлорид вольфрама) включает в себя различные методы, включая методы прямого хлорирования и восстановления хлора, адаптированные к различным требованиям к чистоте и применению.

Метод прямого хлорирования

Метод

прямого хлорирования включает в себя реакцию металла вольфрама высокой

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

чистоты (W, Tungsten), такого как [вольфрамовый порошок \(W Powder, Tungsten Powder\)](#), с газообразным хлором (Cl_2) при повышенных температурах (обычно 600-800°C) с получением гексахлорида вольфрама (WCl_6 , гексахлорид вольфрама). Реакция $\text{W} + 3\text{Cl}_2 \rightarrow \text{WCl}_6$ происходит в герметичном кварцевом реакторе для исключения кислорода и влаги, в результате чего из газообразного продукта конденсируются темно-синие кристаллы. Этот метод пользуется популярностью благодаря своей простоте и прямоте, что делает его основным продуктом в промышленном производстве, особенно для гексахлорида вольфрама высокой чистоты (WCl_6 , гексахлорид вольфрама), используемого в синтезе катализаторов, где необходимы строгие стандарты качества.

Метод восстановления хлора

(Оксидное хлорирование)

Метод восстановления хлора получает гексахлорид вольфрама (WCl_6 , гексахлорид вольфрама) путем реакции [триоксида вольфрама \(\$\text{WO}_3\$, триоксид вольфрама\)](#) с газообразным хлором и восстановителем (например, углеродом или водородом) при температуре 500-700°C. Точный контроль потока и температуры хлора имеет решающее значение для предотвращения образования низших хлоридов, таких как тетрахлорид вольфрама (WCl_4 , тетрахлорид вольфрама). Этот подход выгоден для лабораторного и мелкосерийного производства, поскольку он использует промышленные побочные продукты, такие как триоксид вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама), для повышения эффективности использования ресурсов и снижения затрат.

Метод газофазной реакции

(Высокочистое получение)

Метод газофазной реакции синтезирует гексахлорид вольфрама (WCl_6 , гексахлорид вольфрама) путем реакции вольфрама (W, вольфрама) или его соединений с газообразным хлором в паровой фазе при температуре около 800°C с последующей конденсацией в кристаллы. Этот метод превосходно устраняет следовые примеси, получая гексахлорид вольфрама сверхвысокой чистоты (WCl_6 , гексахлорид вольфрама), идеально подходящий для исследований электронных материалов и прецизионных катализаторов, где даже мельчайшие загрязнения могут значительно повлиять на производительность.

5.1.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Гексахлорид вольфрама (WCl_6 , гексахлорид вольфрама) имеет октаэдрическую кристаллическую структуру, с центральным атомом вольфрама, скоординированным с шестью атомами хлора, образуя симметричную молекулярную единицу WCl_6 . Немецкие кристаллографические исследования показывают, что эта октаэдрическая координация способствует его высокой летучести (температура плавления около 275 °C, температура кипения около 347 °C),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

облегчая его использование в газофазных реакциях [16]. В своем молекулярном составе атом вольфрама находится в степени окисления +6, а сильная электроотрицательность атомов хлора усиливает его реакционную способность, позволяя ему легко вступать в реакции координации или замещения с органическими соединениями.

5.1.3 Термическая и химическая стабильность

Гексахлорид вольфрама (WCl_6 , Гексахлорид вольфрама) проявляет умеренную термическую стабильность в безводных и бескислородных условиях, сохраняя свою кристаллическую структуру при температуре ниже $300^{\circ}C$. Однако при более высоких температурах или в присутствии воздуха он разлагается на более низкое содержание хлоридов и газообразного хлора, что требует осторожного обращения. Химически он крайне нестабилен в присутствии влаги, быстро гидролизуется во влажной среде с образованием хлористого водорода (HCl) и оксихлоридов вольфрама, что требует хранения и использования в сухой инертной атмосфере. Российские химические исследования подчеркивают его высокую реакционную способность, что делает его эффективным хлорирующим агентом и катализатором в органическом синтезе [17].

5.1.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Оптические свойства гексахлорида вольфрама (WCl_6 , гексахлорид вольфрама) характеризуются его поразительной темно-синей кристаллической формой, возникающей в результате d-d электронных переходов атома вольфрама, хотя его оптическая активность ограничена в практических применениях. Электрически он представляет собой изолятор в твердом состоянии, но в газообразной или растворной форме он может проявлять незначительную ионную проводимость из-за разложения или взаимодействия с растворителем. С магнитной точки зрения гексахлорид вольфрама (WCl_6 , гексахлорид вольфрама) не проявляет существенных свойств, а его основная полезность обусловлена его химической реакционной способностью, а не физическими характеристиками.

Кончик

Получение гексахлорида вольфрама (WCl_6 , гексахлорид вольфрама) требует строгого исключения влаги и кислорода; его высокая реакционная способность выделяет его в катализе и органическом синтезе, а при закупке следует отдавать приоритет чистоте и условиям хранения.

5.2 Гексафторид вольфрама (WF_6 , гексафторид вольфрама)

Гексафторид вольфрама (WF_6 , гексафторид вольфрама) является наиболее важным в промышленном отношении галогенидом вольфрама, известным своей

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

исключительной летучестью и ключевой ролью в полупроводниковой промышленности. Будучи бесцветным газом, гексафторид вольфрама (WF_6 , гексафторид вольфрама) широко используется в химическом осаждении из газовой фазы (CVD) для получения тонких пленок металлического вольфрама, благодаря своей высокой реакционной способности и стабильности, что делает его незаменимым в современной микроэлектронике. Эволюция от лабораторного синтеза к крупномасштабному производству подчеркивает ее вклад в развитие химии вольфрама в высокотехнологичных приложениях.

5.2.1 Процессы подготовки

Получение гексафторида вольфрама (WF_6 , гексафторид вольфрама) в первую очередь основано на реакциях фторирования, проводимых в безводных условиях для обеспечения качества продукта.

Метод прямого фторирования (Реакция вольфрама и фтора)

Метод прямого фторирования реагирует с металлическим вольфрамом высокой чистоты (W, Tungsten) (например, порошком вольфрама (W Powder, Tungsten Powder)) с газообразным фтором (F_2) при $300-500^\circ C$ с образованием газообразного гексафторида вольфрама (WF_6 , гексафторид вольфрама) после реакции: $W + 3F_2 \rightarrow WF_6$. Этот процесс происходит в реакторе из коррозионностойкого никелевого сплава из-за агрессивной природы фтора, при этом газообразный продукт конденсируется в жидкую форму (температура кипения $17,1^\circ C$) для сбора. Этот метод, широко используемый в промышленности благодаря своей высокой чистоте и простоте, доминирует в полупроводниковых приложениях, требующих строгих стандартов качества.

Метод оксидного фторирования (Фторирование триоксида вольфрама)

Метод оксидного фторирования получает гексафторид вольфрама (WF_6 , гексафторид вольфрама) путем реакции триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) с фтористым водородом (HF) или газообразным фтором при $400-600^\circ C$. Этот процесс требует тщательного контроля, чтобы избежать образования фторидов с низким содержанием фтора, с использованием промышленных побочных продуктов, таких как триоксид вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) для снижения затрат. Он обычно используется в лабораториях и мелкосерийном производстве, предлагая экономичную альтернативу для специализированных применений.

5.2.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Гексафторид вольфрама (WF_6 , гексафторид вольфрама) имеет октаэдрическую

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

молекулярную структуру как в газообразном, так и в жидком состояниях, с центральным атомом вольфрама, скоординированным с шестью атомами фтора, образуя симметричную единицу WF₆. Японские химические исследования отмечают, что такое октаэдрическое расположение лежит в основе его высокой летучести и стабильности (температура плавления 2,3 °C, температура кипения 17,1 °C), что делает его идеальным для осаждения в газовой фазе [20]. Атом вольфрама находится в степени окисления +6, а сильная электроотрицательность фтора повышает прочность связи, обеспечивая стабильность в различных условиях.

5.2.3 Термическая и химическая стабильность

Гексафторид вольфрама (WF₆, гексафторид вольфрама) демонстрирует превосходную термическую стабильность в безводных условиях, оставаясь стабильным в газообразном состоянии при комнатной температуре. Однако при температуре выше 400 °C или в присутствии влаги он разлагается на фтористый водород (HF) и оксиды вольфрама, что требует контролируемого обращения. По сравнению с гексахлоридом вольфрама (WCl₆, гексахлорид вольфрама), он менее чувствителен к воде, но может быть восстановлен до вольфрама (W, вольфрам) или более низкого содержания фторидов в сильно восстановительных средах, что повышает его полезность при осаждении полупроводников.

5.2.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Гексафторид вольфрама (WF₆, гексафторид вольфрама) представляет собой бесцветный, прозрачный газ без значительной оптической активности, что ограничивает его оптическое применение. Электрически он непроводящий в газообразном состоянии, но его разложение на металлический вольфрам дает отличную проводимость (удельное сопротивление ~ 5,6 мОм·см), что имеет решающее значение для проводящих тонких пленок. С точки зрения магнитного поля, он не проявляет заметных свойств, а его ценность в первую очередь связана с его реакционной способностью и способностями к осаждению, а не с физическими свойствами.

Кончик

Для получения гексафторида вольфрама (WF₆, гексафторид вольфрама) требуется безводная среда; Его важнейшая роль в полупроводниковой промышленности выделяет его среди галогенидов вольфрама, при этом закупки сосредоточены на чистоте газа и целостности защитной оболочки.

5.3 Другие вольфрамовые галогениды

В дополнение к гексахлориду вольфрама (WCl₆, гексахлорид вольфрама) и гексафториду вольфрама (WF₆, гексафторид вольфрама), в семейство галогенидов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

вольфрама входят низковалентные соединения, такие как тетрахлорид вольфрама (WCl_4 , тетрахлорид вольфрама) и пентахлорид вольфрама (WCl_5 , пентахлорид вольфрама). Несмотря на менее широкое применение, эти галогениды представляют ценность для конкретных каталитических реакций и исследований материалов.

5.3.1 Процессы подготовки

Получение этих других галогенидов вольфрама обычно происходит в лабораторных масштабах, что требует точного контроля условий реакции.

Восстановительный метод хлорирования для тетрахлорида вольфрама (WCl_4 , тетрахлорид вольфрама)

Тетрахлорид вольфрама (WCl_4 , тетрахлорид вольфрама) синтезируют путем частичного восстановления гексахлорида вольфрама (WCl_6 , гексахлорид вольфрама) водородом при 450-600°C в инертной атмосфере для предотвращения окисления. Это контролируемое восстановление обеспечивает образование желаемого четырехвалентного состояния, обычно с получением зеленого продукта, пригодного для нишевых применений.

Метод контролируемого хлорирования пентахлорида вольфрама

Пентахлорид вольфрама (WCl_5 , пентахлорид вольфрама)

Пентахлорид вольфрама (WCl_5 , пентахлорид вольфрама) получают путем тщательного хлорирования вольфрама (W, Tungsten) или восстановления гексахлорида вольфрама (WCl_6 , гексахлорида вольфрама) с ограниченной подачей хлора при температуре 500-700°C. Этот метод требует точного дозирования хлора для достижения пятивалентного состояния, в результате чего получается темно-красный кристаллический материал.

5.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Тетрахлорид вольфрама (WCl_4 , тетрахлорид вольфрама) имеет тетрагональную кристаллическую структуру, в которой атом вольфрама скоординирован с четырьмя атомами хлора в квадратном плоском расположении, что обеспечивает умеренную стабильность. Пентахлорид вольфрама (WCl_5 , пентахлорид вольфрама) имеет тригональную бипирамидальную структуру с пятью атомами хлора, демонстрируя меньшую стабильность из-за своей промежуточной степени окисления. Эти структуры приводят к снижению летучести по сравнению с шестивалентными галогенидами.

5.3.3 Термическая и химическая стабильность

Тетрахлорид вольфрама (WCl_4 , тетрахлорид вольфрама) и пентахлорид вольфрама (WCl_5 , пентахлорид вольфрама) обладают ограниченной термической

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

стабильностью, разлагаясь на низшие хлориды или газообразный хлор при 200-400°C. Химически оба они очень чувствительны к влаге, требуя герметичного хранения для предотвращения гидролиза, что ограничивает их практическое использование контролируемыми средами.

5.3.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Тетрахлорид вольфрама (WCl_4 , тетрахлорид вольфрама) выглядит зеленым, а пентахлорид вольфрама (WCl_5 , пентахлорид вольфрама) темно-красным, но ни один из них не проявляет значительной оптической активности. С точки зрения электричества, оба являются изоляторами, и им не хватает заметных магнитных свойств, и их применение в первую очередь сосредоточено на каталитических исследованиях, а не на физических характеристиках.

Кончик

Другие галогениды вольфрама, такие как тетрахлорид вольфрама (WCl_4 , тетрахлорид вольфрама), обладают потенциалом в катализе; их получение и стабильность требуют тщательного внимания при обращении и использовании.

Источники информации

[16] *Основы химии вольфрама* (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998 [17] *Свойства вольфрамовых соединений* (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000 [20] Публичный аккаунт Chinatungsten Online WeChat [22] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

Ссылки

[1] *История и применение вольфрама* (на шведском языке) - KTH Royal Institute of Technology, Стокгольм, 1990 [2] *Краткая история химии вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2005 [3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com [4] *Исследования по наименованию вольфрама* (многоязычные) - Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC), Лондон, 1990 [5] *Применение вольфрама в британской промышленной революции* (на английском языке) - Королевское химическое общество, Лондон, 1985 [6] *Ранняя индустриализация вольфрамовых химикатов* (на французском языке) - Société Chimique de France, Париж, 1990 [7] *Отчет о глобальном распределении вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2023 г. [8] *Исследования физических свойств вольфрама* (английский) - Философские труды Королевского общества, Лондон, 1810 [9] *Вольфрам в периодической таблице* (русский) - Русское химическое общество, Москва, 1870 [10] *Применение вольфрама в русской металлургии* (русский) - Химический факультет, Московский университет, Москва, 1890 [11] *Применение вольфрама в японской электронной промышленности* (японский) - Исследовательский отчет Токийского технологического института, Токио, 1925 [12] *Минералогические записи в арабском регионе* (арабский) - Факультет геологии, Каирский университет, Каир, 1900 г. [13] *Анализ мирового рынка вольфрамовых изделий 2023 г.* (на английском языке) -

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

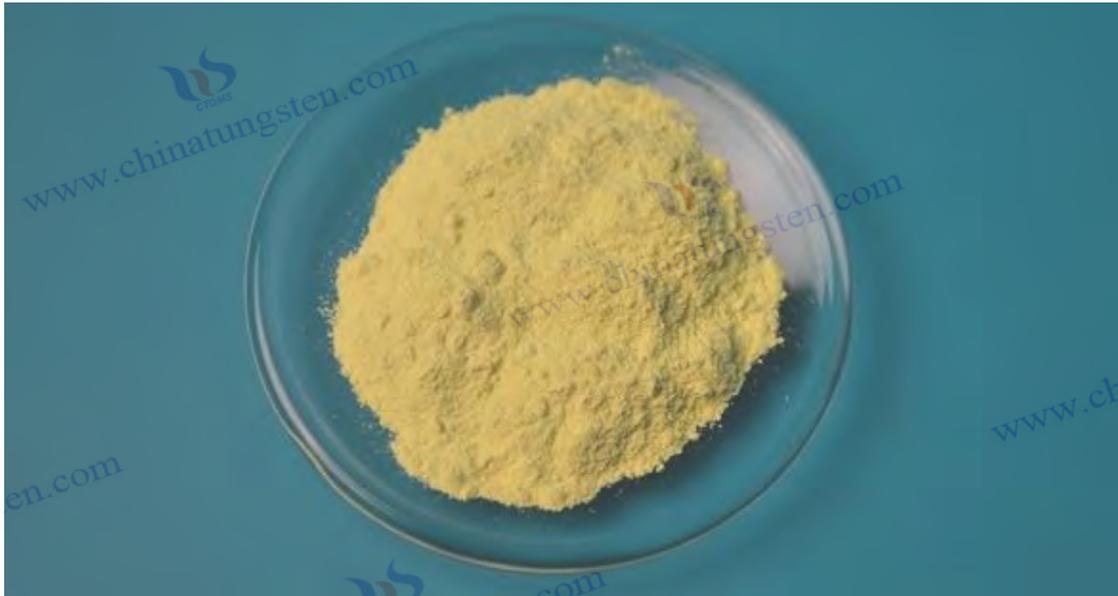
Международная ассоциация вольфрамовой промышленности (ITIA), Лондон, 2023 г.[14] *Пограничное применение вольфрама в исследованиях* (на английском языке) - Национальные институты здравоохранения (НИИ), Бетесда, 2018 г.[15] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

[16] *Основы химии вольфрама* (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998[17] *Свойства вольфрамовых соединений* (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000[18] *Высокотемпературная химия оксидов вольфрама* (на русском языке) - Российская академия наук, Москва, 1995[19] *Химическая стабильность вольфрамовых соединений* (на английском языке) - *Journal of Materials Science, Springer*, 2000[20] *Исследование электронных материалов на оксидах вольфрама* (японский) - Tokyo University Press, Токио, 2010[21] *Металлоорганические соединения вольфрама* (английский) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Какие химические вещества входят в состав вольфрама?

Глава 6: Получение и применение карбидов и нитридов вольфрама

6.1 Карбид вольфрама (WC, карбид вольфрама)

[Карбид вольфрама \(WC, Tungsten Carbide\)](#) является одним из наиболее промышленно ценных и широко применяемых соединений в химическом семействе вольфрама (W, Tungsten), известным своей исключительной твердостью, износостойкостью и термической стабильностью. Являясь краеугольным камнем твердых сплавов, карбид вольфрама (WC, Tungsten Carbide) играет незаменимую роль в режущих инструментах, горнодобывающем оборудовании и износостойких покрытиях. Его черный или серовато-черный вид порошка противоречит его блестящей репутации в современной промышленности, с историей развития, охватывающей от ранних лабораторных экспериментов до сегодняшнего глобализированного производства, демонстрируя глубокое влияние химии вольфрама на материаловедение.

6.1.1 Подготовительные процессы

Получение карбида вольфрама (WC, карбид вольфрама) включает в себя различные методы, включая высокотемпературную карбонизацию и реакции в газовой фазе, адаптированные к различным требованиям к чистоте и размеру частиц.

Метод высокотемпературной карбонизации (Карбонизация вольфрамового порошка)

Метод высокотемпературной карбонизации реагирует с [вольфрамовым порошком \(W Powder, Tungsten Powder\)](#) с источником углерода (например, техническим углеродом или графитом) при температуре 1400-1600 °C с

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

образованием карбида вольфрама (WC, Tungsten Carbide), следуя уравнению: $W + C \rightarrow WC$. Этот процесс обычно проводится в вакууме или водородной атмосфере для предотвращения окисления и контроля содержания углерода. После реакции продукт измельчается и просеивается с получением мелкооднородного порошка карбида вольфрама (WC, карбид вольфрама). Благодаря своей зрелости и экономической эффективности, этот метод доминирует в промышленном производстве, широко применяясь в производстве твердых сплавов, особенно на крупных предприятиях по переработке вольфрама в Китае и Европе.

Метод газофазной карбонизации

(Химическая реакция пара)

В методе газофазной карбонизации используются летучие соединения вольфрама, такие как гексафторид вольфрама (WF_6 , гексафторид вольфрама), которые реагируют с углеводородами (например, метаном, CH_4) при $800-1000^\circ C$ посредством химической реакции пара с образованием карбида вольфрама (WC, карбид вольфрама). Этот метод позволяет получать наноразмерные частицы карбида вольфрама (WC, карбид вольфрама), что делает его пригодным для нанесения высокоэффективных покрытий и прецизионных инструментов. Реакция происходит в специализированных реакторах с точным регулированием потока газа для обеспечения равномерного распределения частиц.

Метод синтеза плазмы

(Получение ультрадисперсных частиц)

Метод плазменного синтеза быстро реагирует порошком вольфрама (порошок W, порошок вольфрама) с источником углерода в высокотемпературной плазменной среде ($>5000^\circ C$), образуя порошок ультратонкого карбида вольфрама (WC, карбид вольфрама) (размер частиц <100 нм). Этот метод отлично подходит для получения ультрадисперсных частиц высокой чистоты, идеально подходящих для сложных применений, таких как износостойкие покрытия в аэрокосмических материалах, хотя высокая стоимость оборудования ограничивает его мелкосерийное производство с высокой добавленной стоимостью.

6.1.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Карбид вольфрама (WC, Tungsten Carbide) имеет гексагональную кристаллическую структуру, в которой атомы вольфрама и углерода связываются в соотношении 1:1 через прочные ковалентные связи, образуя плотно упакованную решетку. Немецкие кристаллографические исследования показывают, что такое шестиугольное расположение наделяет его исключительной твердостью (твердость по шкале Мооса ~ 9 , уступая только алмазу) и превосходными механическими свойствами [16]. В своем молекулярном составе вольфрам обеспечивает высокую плотность ($15,63$ г/см³), в то время как углерод повышает стабильность решетки, позволяя ему сохранять структурную целостность в экстремальных условиях.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.1.3 Термическая и химическая стабильность

Карбид вольфрама (WC, Tungsten Carbide) обладает замечательной термической стабильностью, сохраняя свою структуру при температуре ниже 2600°C, и демонстрирует отличную стойкость к окислению, медленно окисляясь до триоксида вольфрама (WO₃, Tungsten Trioxide) при температуре выше 600°C в средах, богатых кислородом. Химически он устойчив к коррозии от кислот и оснований, хотя может постепенно разрушаться в сильных окисляющих кислотах (например, азотной кислоте). Российские исследования материалов подчеркивают его термическую стабильность и химическую инертность, что делает его идеальным выбором для высокотемпературных, износостойких материалов [17].

6.1.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Оптические свойства карбида вольфрама (WC, карбид вольфрама) ничем не примечательны, с его черным или серовато-черным видом, обусловленным поглощением электронов в его кристаллической структуре, без заметной флуоресценции или оптической активности. Электрически он обладает умеренной проводимостью (удельное сопротивление ~20 мОм·см), значительно ниже, чем металлический вольфрам (W, вольфрам), но достаточен для таких применений, как электроэрозионная обработка. С магнитной точки зрения карбид вольфрама (WC, карбид вольфрама) не проявляет существенных свойств, его ценность в основном обусловлена механическими, а не физическими характеристиками.

Кончик

Разнообразные методы подготовки и исключительная твердость и износостойкость карбида вольфрама (WC, карбид вольфрама) делают его незаменимым в промышленном применении; Закупки должны быть сосредоточены на размере и чистоте частиц с учетом конкретных целей.

6.2 Нитрид вольфрама (WN, нитрид вольфрама)

Нитрид вольфрама (WN, Tungsten Nitride) представляет собой соединение, образованное вольфрамом (W, Tungsten) и азотом, с более узкой областью применения по сравнению с карбидом вольфрама (WC, Tungsten Carbide), но при этом имеет уникальную ценность в износостойких покрытиях, электронных материалах и тонких пленках высокой твердости. Его темно-серый внешний вид и превосходные физические свойства делают нитрид вольфрама (WN, нитрид вольфрама) менее известным драгоценным камнем в семействе химических веществ вольфрама, а его исследования и разработки открывают новые возможности в материаловедении.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.2.1 Процессы подготовки

При получении нитрида вольфрама (WN, нитрид вольфрама) в основном используются методы высокотемпературного азотирования или газофазного осаждения, требующие точного контроля для обеспечения качества продукции.

Метод высокотемпературного азотирования (Нитрирование вольфрамового порошка)

Метод высокотемпературного нитрирования реагирует с порошком вольфрама (W Powder, Tungsten Powder) с газообразным азотом (N₂) или аммиаком (NH₃) при 1000-1200°C с образованием нитрида вольфрама (WN, нитрид вольфрама), представленного уравнением: $W + N_2 \rightarrow WN$. Этот процесс проводится в вакууме или инертной атмосфере, чтобы избежать интерференции кислорода, в результате чего получается темно-серый порошок. Его простота и возможность использования легкодоступного вольфрамового порошка (W Powder, Tungsten Powder) делают его пригодным для промышленного производства.

Метод газофазного осаждения

Метод

газофазного осаждения использует химическое осаждение из газовой фазы (CVD) или физическое осаждение из газовой фазы (PVD) для реакции гексафторида вольфрама (WF₆, гексафторида вольфрама) или вольфрама (W, вольфрама) с источником азота (например, аммиаком) при температуре 600-900°C, образуя тонкие пленки нитрида вольфрама (WN, нитрид вольфрама). Этот метод позволяет получать пленки высокой чистоты, обычно используемые для износостойких покрытий и электронных компонентов, что требует специализированного оборудования для контроля толщины и однородности пленки.

6.2.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Нитрид вольфрама (WN, нитрид вольфрама) обычно имеет кубическую кристаллическую структуру, в которой атомы вольфрама и азота связаны в соотношении 1:1 через ковалентную сеть. В российских кристаллографических исследованиях отмечается, что его решетчатая структура напоминает таковую у карбида вольфрама (WC, Tungsten Carbide), хотя включение азота приводит к несколько меньшей твердости (твердость по Моосу ~8) и плотности около 14,5 г/см³ [17]. Прочные ковалентные связи в его молекулярном составе способствуют его надежным механическим свойствам и коррозионной стойкости.

6.2.3 Термическая и химическая стабильность

Нитрид вольфрама (WN, нитрид вольфрама) остается стабильным примерно до 1000 °C в инертной атмосфере, но окисляется до триоксида вольфрама (WO₃,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

триоксид вольфрама) при температуре выше 600 °C в условиях, богатых кислородом, демонстрируя несколько меньшую термическую стабильность, чем карбид вольфрама (WC, карбид вольфрама). Химически он устойчив к коррозии от кислот и оснований, хотя постепенно разлагается в сильно окисляющих средах (например, концентрированная азотная кислота). Его коррозионная стойкость повышает его пригодность для нанесения покрытий.

6.2.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Оптические свойства нитрида вольфрама (WN, нитрид вольфрама) ничем не примечательны, его темно-серый вид не имеет значительной оптической активности. Электрически он функционирует как полупроводник (запрещенная зона ~1,8-2,2 эВ) с умеренной проводимостью, что делает его жизнеспособным для электронных материалов. С магнитной точки зрения нитрид вольфрама (WN, нитрид вольфрама) не проявляет заметных свойств, а его применение обусловлено в основном механическими и электрическими свойствами.

Кончик

Получение нитрида вольфрама (WN, нитрид вольфрама) требует строгого контроля азотирования, и его потенциал в износостойких покрытиях и электронных материалах заслуживает дальнейшего изучения.

6.3 Прочие карбиды и нитриды вольфрама

Помимо карбида вольфрама (WC, карбид вольфрама) и нитрида вольфрама (WN, нитрид вольфрама), семейство карбидов и нитридов вольфрама включает в себя такие соединения, как карбид дивольфрама (W₂C, карбид дивольфрама) и карбонитрид вольфрама (WC_{1-x}N_x, карбонитрид вольфрама), которые обладают уникальной ценностью в специфических износостойких и высокотемпературных условиях.

6.3.1 Подготовительные процессы

Процессы подготовки этих других карбидов вольфрама и нитридов обычно включают в себя высокотемпературные реакции или композитные методы.

Метод контролируемой карбонизации карбида дивольфрама (W₂C, карбид дивольфрама)

Карбид дивольфрама (W₂C, карбид дивольфрама) синтезируется путем реакции вольфрама (W, вольфрама) с углеродом при температуре 1200-1400°C, тщательно контролируя соотношение углерода, чтобы избежать избыточного образования карбида вольфрама (WC, карбид вольфрама). Этот метод обеспечивает желаемую структуру двухвалентного карбида.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Метод кодиффузии углерода и азота для карбонитрида вольфрама (WC_{1-x}N_x, карбонитрид вольфрама)

Карбонитрид вольфрама (WC_{1-x}N_x, карбонитрид вольфрама) или карбида вольфрама (WC, карбид вольфрама) с азотом и источником углерода при температуре 800-1000°C, образуя композитную структуру путем совместной диффузии атомов углерода и азота.

6.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Карбид дивольфрама (W₂C, Ditungsten Carbide) имеет гексагональную кристаллическую структуру с соотношением вольфрама к углероду 2:1, что приводит к менее плотной решетке, чем карбид вольфрама (WC, карбид вольфрама). Карбонитрид вольфрама (WC_{1-x}N_x, Tungsten Carbonitride) образует композитную кристаллическую структуру, в которой атомы углерода и азота частично замещаются, создавая твердый раствор, улучшая его свойства.

6.3.3 Термическая и химическая стабильность

Карбид дивольфрама (W₂C, карбид дивольфрама) остается стабильным при температуре ниже 2000 °C, но разлагается в окислительных средах. Карбонитрид вольфрама (WC_{1-x}N_x, карбонитрид вольфрама) сочетает в себе стабильность карбидов и нитридов, выдерживая температуру примерно до 1500 °C, обеспечивая надежную работу в сложных условиях.

6.3.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Карбид дивольфрама (W₂C, карбид дивольфрама) и карбонитрид вольфрама (WC_{1-x}N_x, карбонитрид вольфрама) обладают значительной оптической активностью, умеренной электропроводностью, подходящей для конкретных применений, и отсутствием заметных магнитных свойств, их ценность заключается в механических характеристиках.

Кончик

Другие карбиды и нитриды вольфрама, такие как карбид дивольфрама (W₂C, карбид дивольфрама), отличаются износостойкостью и использованием при высоких температурах; выбор должен быть сосредоточен на их конкретных свойствах для целевых применений.

Источники информации

[16] *Основы химии вольфрама* (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998 [17] *Свойства вольфрамовых соединений* (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000 [20]

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Публичный аккаунт Chinatungsten Online WeChat[22] Китайская вольфрамовая промышленность:
www.ctia.com.cn

Ссылки

- [1] *История и применение вольфрама* (на шведском языке) - KTH Royal Institute of Technology, Стокгольм, 1990[2] *Краткая история химии вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com
[4] *Исследования по наименованию вольфрама* (многоязычные) - Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC), Лондон, 1990[5] *Применение вольфрама в британской промышленной революции* (на английском языке) - Королевское химическое общество, Лондон, 1985[6] *Ранняя индустриализация вольфрамовых химикатов* (на французском языке) - Société Chimique de France, Париж, 1990[7] *Отчет о глобальном распределении вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2023 г.[8] *Исследования физических свойств вольфрама* (английский) - Философские труды Королевского общества, Лондон, 1810[9] *Вольфрам в периодической таблице* (русский) - Русское химическое общество, Москва, 1870[10] *Применение вольфрама в русской металлургии* (русский) - Химический факультет, Московский университет, Москва, 1890[11] *Применение вольфрама в японской электронной промышленности* (японский) - Исследовательский отчет Токийского технологического института, Токио, 1925[12] *Минералогические записи в арабском регионе* (арабский) - Факультет геологии, Каирский университет, Каир, 1900 г.[13] *Анализ мирового рынка вольфрамовых изделий 2023 г.* (на английском языке) - Международная ассоциация вольфрамовой промышленности (ИПА), Лондон, 2023 г.[14] *Пограничное применение вольфрама в исследованиях* (на английском языке) - Национальные институты здравоохранения (НИИ), Бетесда, 2018 г.[15] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn
[16] *Основы химии вольфрама* (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998[17] *Свойства вольфрамовых соединений* (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000[18] *Высокотемпературная химия оксидов вольфрама* (на русском языке) - Российская академия наук, Москва, 1995[19] *Химическая стабильность вольфрамовых соединений* (на английском языке) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Исследование электронных материалов на оксидах вольфрама* (японский) - Tokyo University Press, Токио, 2010[21] *Металлоорганические соединения вольфрама* (английский) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Какие химические вещества входят в состав вольфрама?

Глава 7: Получение и применение сульфидов вольфрама и фосфидов

7.1 Дисульфид вольфрама (WS_2 , Дисульфид вольфрама)

Дисульфид вольфрама (WS_2 , Дисульфид вольфрама) является одним из самых значительных сульфидов в семействе химических веществ вольфрама (W, Tungsten), известным своей уникальной слоистой структурой, низким коэффициентом трения и исключительной смазывающей способностью. Являясь выдающимся твердым смазочным материалом, дисульфид вольфрама (WS_2 , дисульфид вольфрама) находит широкое применение в механической промышленности, высокотемпературных средах и исследованиях двумерных материалов. Его порошковая или чешуйчатая форма от темно-серого до черного цвета скрывает замечательные эксплуатационные характеристики, прослеживая путь развития от традиционных смазочных материалов до передовых нанотехнологий, демонстрируя разнообразный вклад химии вольфрама в материаловедение.

7.1.1 Процессы подготовки

Получение дисульфида вольфрама (WS_2 , дисульфид вольфрама) включает в себя различные методы, включая высокотемпературное сульфидирование и химическое осаждение из газовой фазы, адаптированные к различным требованиям к размеру и чистоте частиц.

Метод высокотемпературного сульфидирования (Сульфидирование вольфрамового порошка)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Метод высокотемпературного сульфидирования реагирует с [порошком вольфрама \(W Powder, Вольфрамовый порошок\)](#) с порошком серы (S) при температурах от 600°C до 900°C с получением дисульфида вольфрама (WS_2 , Дисульфид вольфрама), следуя уравнению: $W + 2S \rightarrow WS_2$. Этот процесс обычно проводится в вакууме или инертной атмосфере (например, в аргоне) для предотвращения окисления, в результате чего получается порошок темно-серого цвета. После реакции продукт измельчают и просеивают для получения однородных частиц. Широко используемый в промышленном производстве благодаря своей простоте и легкодоступному сырью, этот метод доминирует в производстве смазочных материалов.

Метод химического осаждения из газовой фазы (CVD)

В методе химического осаждения из газовой фазы используется [триоксид вольфрама \(\$WO_3\$, триоксид вольфрама\)](#) или [гексафторид вольфрама \(\$WF_6\$, гексафторид вольфрама\)](#), реагирующий с сероводородом (H_2S) при 400-700°C с образованием тонких пленок дисульфида вольфрама (WS_2 , дисульфид вольфрама). Этот метод позволяет получать однослойный или многослойный дисульфид вольфрама (WS_2 , дисульфид вольфрама), что делает его идеальным для исследований двумерных материалов и электронных устройств. Реакция происходит в специализированных реакторах, требующих точного контроля потока и температуры газа для обеспечения качества пленки.

Метод механического отшелушивания

(Подготовка нанолистов)

Метод механического отшелушивания отделяет нанолисты от объемного дисульфида вольфрама (WS_2 , дисульфид вольфрама) с помощью физических методов (например, ультразвукового отшелушивания или клейкой ленты), обычно используемых в лабораториях для получения однослойного дисульфида вольфрама высокой чистоты (WS_2 , дисульфид вольфрама). Несмотря на ограниченный выход, этот метод сохраняет целостность слоистой структуры, что делает его ценным для фундаментальных исследований и изучения нанотехнологий.

7.1.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Дисульфид вольфрама (WS_2 , Дисульфид вольфрама) имеет гексагональную слоистую кристаллическую структуру, в которой атомы вольфрама зажаты между двумя слоями атомов серы, образуя двумерную единицу, подобную «сэндвичу», удерживаемую вместе слабыми силами Ван-дер-Ваальса между соседними слоями. Немецкие кристаллографические исследования показывают, что такая слоистая структура приводит к низкой прочности на сдвиг (коэффициент трения $\sim 0,03-0,1$) и высокой смазывающей способности [16]. В своем молекулярном составе каждый атом вольфрама ковалентно связывается с двумя атомами серы с межслойным расстоянием примерно $6,18\text{\AA}$, что способствует его превосходным характеристикам

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

при механическом скольжении и отслаивании.

7.1.3 Термическая и химическая стабильность

Дисульфид вольфрама (WS_2 , Tungsten Disulfide) демонстрирует выдающуюся термическую стабильность в инертных атмосферах, выдерживая температуру примерно до $1200^{\circ}C$ без разрушения. Однако в богатых кислородом средах он окисляется при температуре выше $350^{\circ}C$ с образованием триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) и диоксида серы (SO_2), что ограничивает его использование в высокотемпературных окислительных условиях. Химически он устойчив к коррозии от кислот и оснований, но постепенно разлагается под воздействием сильных окислителей (например, перекиси водорода). Российские исследования материалов подчеркивают его термическую стабильность и химическую инертность, что делает его очень эффективным при высокотемпературном смазывании [17].

7.1.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Оптические свойства дисульфида вольфрама (WS_2 , Tungsten Disulfide) изменяются в зависимости от толщины слоя; однослойный дисульфид вольфрама (WS_2 , дисульфид вольфрама) обладает прямой запрещенной зоной ($\sim 2,0$ эВ), проявляя флуоресценцию, в то время как многослойные формы имеют непрямую запрещенную зону ($\sim 1,3$ эВ), снижая оптическую активность. Электрически он функционирует как полупроводник, а однослойные слои обеспечивают превосходную проводимость по сравнению с многослойными, что делает его пригодным для оптоэлектронных устройств. С магнитной точки зрения дисульфид вольфрама (WS_2 , дисульфид вольфрама) не проявляет существенных свойств, и его применение обусловлено в первую очередь смазывающей способностью и электрическими характеристиками.

Кончик

Гибкие методы получения и слоистая структура дисульфида вольфрама (WS_2 , дисульфид вольфрама) дают ему уникальное преимущество в смазывании и двумерных материалах; При выборе следует учитывать количество слоев и чистоту в зависимости от потребностей применения.

7.2 Фосфид вольфрама (WP, фосфид вольфрама)

Фосфид вольфрама (WP, Tungsten Phosphide) представляет собой соединение, образующееся между вольфрамом (W, Tungsten) и фосфором, с более ограниченной областью применения по сравнению с дисульфидом вольфрама (WS_2 , Tungsten Disulfide), но имеет особую ценность в катализаторах и износостойких материалах. Его серо-черный внешний вид и превосходные каталитические свойства делают

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

фосфид вольфрама (WP, фосфид вольфрама) незаметным, но влиятельным игроком в семействе химических веществ вольфрама, а его исследования открывают новые возможности для катализа и материаловедения.

7.2.1 Процессы подготовки

Получение фосфида вольфрама (WP, фосфид вольфрама) в первую очередь включает в себя методы высокотемпературного фосфидирования или химического восстановления, требующие точного контроля условий реакции.

Метод высокотемпературного фосфидирования (Фосфидация вольфрамового порошка)

Метод высокотемпературного фосфидирования реагирует с порошком вольфрама (W Powder, Tungsten Powder) с порошком фосфора (P) или фосфином (PH₃) при 800-1000°C с образованием фосфида вольфрама (WP, Tungsten Phosphide), следуя уравнению: $W + P \rightarrow WP$. Этот процесс происходит в герметичном реакторе для исключения кислорода, в результате чего получается серо-черный порошок. Он подходит как для промышленного, так и для мелкосерийного производства благодаря простоте процесса и использованию доступных вольфрамовых ресурсов.

Метод химического восстановления (Оксидная фосфидация)

Метод химического восстановления получает фосфид вольфрама (WP, фосфид вольфрама) путем реакции триоксида вольфрама (WO₃, триоксид вольфрама) с источником фосфора (например, красным фосфором) в атмосфере водорода при температуре 700-900°C. Этот метод позволяет производить наноразмерные частицы, идеально подходящие для разработки катализаторов, с тщательным дозированием фосфора, необходимым для предотвращения образования низших фосфидов.

7.2.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Фосфид вольфрама (WP, фосфид вольфрама) обычно имеет орторомбическую кристаллическую структуру, в которой атомы вольфрама и фосфора связаны в соотношении 1:1 внутри ковалентной сети. Исследования показывают, что его относительно плотная решетка (плотность ~12,5 г/см³) и включение фосфора усиливают его каталитическую активность [17]. Ковалентные вольфрам-фосфорные связи в его молекулярном составе способствуют его высокой твердости и химической стабильности.

7.2.3 Термическая и химическая стабильность

Фосфид вольфрама (WP, фосфид вольфрама) остается стабильным при

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

температуре около 900 °С в инертной атмосфере, но окисляется до триоксида вольфрама (WO_3 , триоксида вольфрама) и оксидов фосфора при температуре выше 500 °С в условиях, богатых кислородом. Химически он устойчив к коррозии от кислот и оснований, но постепенно разлагается под действием сильных окислителей, а его стабильность поддерживает его эффективность в каталитических реакциях.

7.2.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Фосфид вольфрама (WP , фосфид вольфрама) не проявляет значительной оптической активности, его серо-черный вид не имеет характерных оптических признаков. Электрически это узкозонный полупроводник ($\sim 0,8-1,2$ эВ) с умеренной проводимостью, подходящий в качестве носителя катализатора. С магнитной точки зрения он не проявляет заметных свойств, а его основная ценность обусловлена каталитическими способностями.

Кончик

Получение фосфида вольфрама (WP , фосфид вольфрама) требует точного контроля фосфидации, и его потенциал в катализе заслуживает дальнейшего внимания.

7.3 Прочие сульфиды вольфрама и фосфиды

В дополнение к дисульфиду вольфрама (WS_2 , Дисульфид вольфрама) и фосфиду вольфрама (WP , Фосфид вольфрама), семейство сульфидов вольфрама и фосфидов включает такие соединения, как трисульфид дивольфрама (W_2S_3 , Дивольфрамовый трисульфид) и Дифосфид вольфрама (WP_2 , Дифосфид вольфрама), которые обладают явными преимуществами при специфическом катализе и применении с высокой твердостью.

7.3.1 Процессы подготовки

Получение этих других сульфидов вольфрама и фосфидов обычно включает в себя методы высокотемпературной реакции.

Метод контролируемого сульфидирования трисульфида дивольфрама (W_2S_3 , Ditungsten Trisulfide)

Дивольфрамовый трисульфид (W_2S_3 , Ditungsten Trisulfide) синтезируется путем реакции вольфрама (W , Tungsten) с серой при 500-700°C, контролируя соотношение серы для предотвращения избыточного сульфидирования.

Метод высокотемпературного фосфидирования дифосфида вольфрама (WP_2 , Дифосфид вольфрама)

Дифосфид вольфрама (WP_2 , Дифосфид вольфрама) получают путем реакции вольфрама (W , Вольфрам) с избытком фосфора при 900-1100°C, образуя соединение,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

богатое фосфором.

7.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Дитирфрамтрисульфид (W_2S_3 , Ditungsten Trisulfide) имеет орторомбическую кристаллическую структуру с соотношением вольфрама и серы 2:3, что приводит к относительно рыхлой решетке. Дифосфид вольфрама (WP_2 , Дифосфид вольфрама) имеет моноклинную структуру с соотношением вольфрама и фосфора 1:2, что повышает его каталитическую активность.

7.3.3 Термическая и химическая стабильность

Дивольфрамтрисульфид (W_2S_3 , Ditungsten Trisulfide) остается стабильным при температуре ниже $800^{\circ}C$, но легко окисляется в условиях, богатых кислородом. Дифосфид вольфрама (WP_2 , Дифосфид вольфрама) выдерживает температуру примерно до $1000^{\circ}C$, проявляя сильную химическую стабильность.

7.3.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Дивольфрамовый трисульфид (W_2S_3 , Ditungsten Trisulfide) и дифосфид вольфрама (WP_2 , Ditungsten Diphosphide) обладают значительной оптической активностью, демонстрируют умеренную электропроводность, пригодную для конкретных применений, и не проявляют заметных магнитных свойств, при этом их ценность заключается в первую очередь в каталитических характеристиках.

Кончик

Другие сульфиды вольфрама и фосфиды, такие как трисульфид дивольфрама (W_2S_3 , трисульфид дивольфрама), обладают уникальными преимуществами в катализе; при выборе следует учитывать их химический состав.

Источники информации

[16] *Основы химии вольфрама* (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998[17] *Свойства вольфрамовых соединений* (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000[20] Публичный аккаунт Chinatungsten Online WeChat[22] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

Ссылки

[1] *История и применение вольфрама* (на шведском языке) - KTH Royal Institute of Technology, Стокгольм, 1990[2] *Краткая история химии вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com
[4] *Исследования по наименованию вольфрама* (многоязычные) - Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC), Лондон, 1990[5] *Применение вольфрама в британской промышленной*

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

революции (на английском языке) - Королевское химическое общество, Лондон, 1985[6] *Ранняя индустриализация вольфрамовых химикатов* (на французском языке) - Société Chimique de France, Париж, 1990[7] *Отчет о глобальном распределении вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2023 г.[8] *Исследования физических свойств вольфрама* (английский) - Философские труды Королевского общества, Лондон, 1810[9] *Вольфрам в периодической таблице* (русский) - Русское химическое общество, Москва, 1870[10] *Применение вольфрама в русской металлургии* (русский) - Химический факультет, Московский университет, Москва, 1890[11] *Применение вольфрама в японской электронной промышленности* (японский) - Исследовательский отчет Токийского технологического института, Токио, 1925[12] *Минералогические записи в арабском регионе* (арабский) - Факультет геологии, Каирский университет, Каир, 1900 г.[13] *Анализ мирового рынка вольфрамовых изделий 2023 г.* (на английском языке) - Международная ассоциация вольфрамовой промышленности (ITIA), Лондон, 2023 г.[14] *Пограничное применение вольфрама в исследованиях* (на английском языке) - Национальные институты здравоохранения (NIH), Бетесда, 2018 г.[15] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

[16] *Основы химии вольфрама* (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998[17] *Свойства вольфрамовых соединений* (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000[18] *Высокотемпературная химия оксидов вольфрама* (на русском языке) - Российская академия наук, Москва, 1995[19] *Химическая стабильность вольфрамовых соединений* (на английском языке) - *Journal of Materials Science, Springer*, 2000[20] *Исследование электронных материалов на оксидах вольфрама* (японский) - Tokyo University Press, Токио, 2010[21] *Металлоорганические соединения вольфрама* (английский) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Какие химические вещества входят в состав вольфрама?

Глава 8:

Получение и применение металлоорганических вольфрамовых соединений

8.1 Гексакарбонил вольфрама ($W(CO)_6$, Гексакарбонил вольфрама)

Гексакарбонил вольфрама ($W(CO)_6$, гексакарбонил вольфрама) является наиболее представительным металлоорганическим соединением вольфрама (W, вольфрам), известным своей высокой летучестью, координационной химической активностью и каталитическими способностями в органическом синтезе. Являясь классическим металлическим карбонильным соединением, гексакарбонил вольфрама ($W(CO)_6$, гексакарбонил вольфрама) демонстрирует широкие возможности применения в подготовке катализаторов, органических реакциях и осаждении тонких пленок. Его белый кристаллический вид и характерный запах противоречат его центральной роли в химии, с траекторией развития от лабораторных исследований до промышленного применения, что подчеркивает распространение химии вольфрама в область органической химии.

8.1.1 Процессы подготовки

Получение гексакарбонила вольфрама ($W(CO)_6$, гексакарбонил вольфрама) включает в себя различные методы, включая методы карбонилирования под высоким давлением и восстановительного карбонилирования, адаптированные к различным потребностям в чистоте и применении.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Метод карбонилирования под высоким давлением

(Карбонилирование вольфрамового порошка)

Метод карбонилирования под высоким давлением реагирует [с вольфрамовым порошком \(W Powder, Tungsten Powder\)](#) с окисью углерода (CO) под высоким давлением (100-200 атм) и повышенными температурами (200-300°C) с получением гексакарбонила вольфрама ($W(CO)_6$, Tungsten Hexacarbonyl) по уравнению: $W + 6CO \rightarrow W(CO)_6$. Для этого процесса требуется автоклав под высоким давлением, часто с добавлением катализаторов (например, йодидов) для повышения эффективности реакции. Продукт выпадает в осадок в виде белых кристаллов, которые очищаются путем сублимации с получением гексакарбонила вольфрама высокой чистоты ($W(CO)_6$, гексакарбонил вольфрама). Этот метод является основным как в промышленных, так и в лабораторных условиях благодаря своей простоте и высокой производительности.

Метод восстановительного карбонилирования

(Восстановление галогенидов)

Метод восстановительного карбонилирования получает гексакарбонил вольфрама ($W(CO)_6$, гексакарбонил вольфрама) путем реакции [гексахлорида вольфрама \(\$WCl_6\$, гексахлорид вольфрама\)](#) с монооксидом углерода в присутствии восстановителя (например, цинка или алюминиевой пудры) при 150-250°C. Эта реакция должна происходить в безводных и бескислородных условиях, чтобы предотвратить образование побочных продуктов. Этот метод, подходящий для мелкосерийного производства, использует промежуточные галогениды вольфрама, улучшая использование ресурсов, и обычно используется для синтеза металлоорганических соединений высокой чистоты.

Метод газофазного синтеза

Метод

газофазного синтеза включает в себя реакцию вольфрама (W, вольфрама) или его соединений с монооксидом углерода в паровой фазе под высоким давлением (50-100 атм) и температурой около 300°C, непосредственно образуя гексакарбонил вольфрама ($W(CO)_6$, гексакарбонил вольфрама), который затем конденсируется в кристаллы. Этот метод превосходно удаляет следовые примеси, получая гексакарбонил вольфрама сверхвысокой чистоты ($W(CO)_6$, гексакарбонил вольфрама), идеально подходящий для исследований электронных материалов и прецизионных катализаторов.

8.1.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Гексакарбонил вольфрама ($W(CO)_6$, гексакарбонил вольфрама) имеет октаэдрическую кристаллическую структуру, в которой центральный атом вольфрама координируется с шестью карбонильными лигандами (CO) через координационные связи, образуя симметричную молекулярную единицу $W(CO)_6$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Немецкие кристаллографические исследования показывают, что такая октаэдрическая конфигурация способствует его высокой летучести (температура плавления $\sim 170^{\circ}\text{C}$, точка сублимации $\sim 175^{\circ}\text{C}$), что делает его высокоэффективным в газофазных реакциях [16]. По своему молекулярному составу атом вольфрама находится в нулевой степени окисления, при этом сильные σ -донорные и π -акцепторные свойства карбонильных лигандов повышают его химическую стабильность, облегчая реакции координации или замещения с другими лигандами в органических процессах.

8.1.3 Термическая и химическая стабильность

Гексакарбонил вольфрама ($\text{W}(\text{CO})_6$, гексакарбонил вольфрама) демонстрирует умеренную термическую стабильность в условиях отсутствия кислорода и воды, сохраняя свою кристаллическую структуру ниже примерно 150°C . Однако при более высоких температурах или на воздухе он разлагается на окись углерода и оксиды вольфрама. Химически он относительно нестабилен, чувствителен к свету и кислороду, разлагается под воздействием ультрафиолетового излучения или в присутствии кислорода на вольфрам (W , вольфрам) и окись углерода, что требует хранения и обработки в инертной атмосфере. Российские химические исследования подчеркивают его высокую координационную активность, позиционируя его как эффективный предшественник катализатора в органическом синтезе [17].

8.1.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Оптические свойства гексакарбонила вольфрама ($\text{W}(\text{CO})_6$, гексакарбонил вольфрама) проявляются в его белом кристаллическом виде, возникающем в результате электронных переходов с участием карбонильных лигандов, хотя он имеет ограниченную полезность в оптических приложениях. Электрически он представляет собой изолятор в твердом состоянии, но в газообразной или растворной формах он может проявлять незначительную проводимость из-за разложения. Магнитно, гексакарбонил вольфрама ($\text{W}(\text{CO})_6$, гексакарбонил вольфрама) не проявляет существенных свойств, и его основное применение основано на его координационной химии, а не на физических характеристиках.

Кончик

Получение гексакарбонила вольфрама ($\text{W}(\text{CO})_6$, гексакарбонил вольфрама) требует строгого исключения кислорода и света; его координационная активность дает значительные преимущества в катализе и органическом синтезе, при этом при закупке основное внимание уделяется чистоте и условиям хранения.

8.2 Дихлорид вольфстеноцена (Cr_2WCl_2 , дихлорид вольфстеноцена)

Дихлорид вольфстеноцена (Cr_2WCl_2 , дихлорид вольфстеноцена) является ключевым металлоорганическим соединением вольфрама, отличающимся

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

стабильной металлоценовой структурой и реакционной способностью в металлоорганической химии. Являясь членом семейства металлоценов, дихлорид вольфстеноцена (Cr_2WCl_2 , дихлорид вольфстеноцена) имеет уникальную ценность в подготовке катализаторов, органическом синтезе и исследованиях в области материаловедения. Его зеленый кристаллический вид и химическая универсальность выделяют его среди химических веществ вольфрама, а его изучение способствует применению металлоорганических соединений вольфрама в современной химии.

8.2.1 Процессы подготовки

Получение дихлорида вольфстеноцена (Cr_2WCl_2 , дихлорид вольфстеноцена) в первую очередь основано на методах координационных реакций, проводимых в безводных и бескислородных условиях для обеспечения качества продукта.

Метод координации галогенидов (Реакция гексахлорида вольфрама)

Метод координации галогенидов синтезирует дихлорид вольфрама (Cr_2WCl_2 , дихлорид вольфстеноцена) путем реакции гексахлорида вольфрама (WCl_6 , гексахлорид вольфрама) с циклопентадиенидом натрия (NaCp) в растворителе, таком как тетрагидрофуран (THF) при температурах от -78°C до комнатной температуры, следуя уравнению: $\text{WCl}_6 + 2\text{NaCp} \rightarrow \text{Cr}_2\text{WCl}_2 + 2\text{NaCl} + 2\text{Cl}_2$. Для этого процесса требуется инертная атмосфера (например, азот или аргон), при этом продукт реакции извлекается и перекристаллизуется с получением зеленых кристаллов. Этот метод, преобладающий в лабораторном синтезе, позволяет точно контролировать координацию лигандов, что идеально подходит для производства дихлорида вольфстеноцена высокой чистоты (Cr_2WCl_2 , дихлорид вольфстеноцена).

Редуктивный метод координации (Субстрат триоксида вольфрама)

Метод восстановительной координации получает дихлорид вольфстеноцена (Cr_2WCl_2 , дихлорид вольфстеноцена) путем реакции [триоксида вольфрама \(\$\text{WO}_3\$, триоксид вольфрама\)](#) с восстановителем (например, порошком цинка) и циклопентадиеном (C_5H_6) в присутствии хлорирующего агента (например, PCl_5) при $100-150^\circ\text{C}$. Проводимый в безводных условиях, продукт получают путем экстракции растворителем и очистки. Этот метод подходит для мелкосерийного производства, используя оксидное сырье для снижения затрат, и обычно используется в исследованиях металлоорганической химии.

8.2.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Дихлорид вольфстеноцена (Cr_2WCl_2 , дихлорид вольфстеноцена) имеет кристаллическую структуру сэндвич-типа, с двумя лигандами циклопентадиенила

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(Cr), параллельными друг другу вокруг центрального атома вольфрама, и двумя атомами хлора, расположенными на противоположной стороне, образуя четырехкоординатную структуру. Японские химические исследования показывают, что такая конфигурация сэндвича повышает его стабильность (разложение при $\sim 230^{\circ}\text{C}$), при этом вольфрам находится в степени окисления +4, а p-электронные облака циклопентадиенильных лигандов образуют прочные координационные связи с вольфрамом [20]. Молекулярный состав, содержащий Cr-лиганды, придает ему металлоорганический характер, обеспечивая высокую реакционную способность в каталитических процессах.

8.2.3 Термическая и химическая стабильность

Дихлорид вольфстеноцена (Cr_2WCl_2 , дихлорид вольфстеноцена) демонстрирует хорошую термическую стабильность в бескислородных условиях, сохраняя свою структуру ниже примерно 200°C . Однако в присутствии кислорода или влаги он разлагается на оксиды вольфрама и органические побочные продукты, требуя хранения в инертной атмосфере. Химически он обладает умеренной стабильностью, чувствителен к воде и окислителям, а его координационная структура способствует значительной реакционной способности в органических реакциях, как отмечается в научных исследованиях [21].

8.2.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Оптические свойства дихлорида вольфстеноцена (Cr_2WCl_2 , дихлорид вольфстеноцена) отражаются в его зеленом кристаллическом виде, возникающем в результате d-электронных переходов атома вольфрама, хотя ему не хватает значительной оптической полезности. Электрически это изолятор в твердом состоянии без заметной проводимости. Магнитно, дихлорид вольфстеноцена (Cr_2WCl_2 , дихлорид вольфстеноцена) не проявляет существенных свойств из-за спаривания d-электронов вольфрама, причем его применение обусловлено в первую очередь химической реакционной способностью, а не физическими свойствами.

Кончик

Получение дихлорида вольфстеноцена (Cr_2WCl_2 , дихлорид вольфстеноцена) требует безводных и бескислородных условий; его стабильная многослойная структура открывает возможности для металлоорганического катализа, при этом при его заготовке особое внимание уделяется чистоте и стабильности.

8.3 Прочие металлоорганические вольфрамовые соединения

Помимо гексакарбонила вольфрама ($\text{W}(\text{CO})_6$, гексакарбонил вольфрама) и дихлорида вольфрама (Cr_2WCl_2 , дихлорид вольфстеноцена), семейство металлоорганических соединений вольфрама включает в себя тетракарбонил

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

вольфстеноцена ($\text{CpW}(\text{CO})_4$, тетракарбонил вольфрамового вольфрама (например, $\text{W}(\text{CH}_3)_6$, гексаметилвольфрам), которые имеют особую ценность в исследованиях в области катализа и органического синтеза.

8.3.1 Процессы подготовки

Получение этих других металлоорганических соединений вольфрама обычно включает в себя методы лабораторного синтеза с точным контролем состояния реакции.

Метод карбонильной координации для тетракарбонила вольфстеноцена ($\text{CpW}(\text{CO})_4$, Tungstenocene Tetracarbonyl)

Вольфстеноценовый тетракарбонил ($\text{CpW}(\text{CO})_4$, Tungstenocene Tetracarbonyl) синтезируется путем реакции дихлорида вольфстеноцена (Cp_2WCl_2 , Tungstenocene Dichloride) с окисью углерода под высоким давлением (50-100 атм) и низкими температурами (0-50°C), избегая избыточной карбонилизации для получения желаемого продукта.

Метод алкилирования гексаметилвольфрама ($\text{W}(\text{CH}_3)_6$, гексаметилвольфрам)

Гексаметилвольфрам ($\text{W}(\text{CH}_3)_6$, гексаметилвольфрам) получают путем реакции гексахлорида вольфрама (WCl_6 , гексахлорид вольфрама) с метиллитием (CH_3Li) при -78°C в экстремально сухих условиях, требующих тщательного обращения из-за его нестабильности.

8.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Тetraкарбонил вольфстеноцена ($\text{CpW}(\text{CO})_4$, тетракарбонил вольфстеноцена) имеет моноциклопентадиенильную координационную структуру, при которой вольфрам связан с одним Cp-лигандом и четырьмя лигандами CO, образуя пятикоординатное расположение. Гексаметилвольфрам ($\text{W}(\text{CH}_3)_6$, гексаметилвольфрам) имеет октаэдрическую структуру с шестью метильными лигандами, окружающими атом вольфрама, хотя его стабильность особенно низкая.

8.3.3 Термическая и химическая стабильность

Тetraкарбонил вольфстеноцена ($\text{CpW}(\text{CO})_4$, тетракарбонил вольфстеноцена) стабилен при температуре ниже 150°C, но легко разлагается в средах, богатых кислородом. Гексаметилвольфрам ($\text{W}(\text{CH}_3)_6$, гексаметилвольфрам) крайне нестабилен, разлагается при комнатной температуре и требует хранения при низких температурах.

8.3.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Тетракарбонил вольфстеноцена ($\text{CrW}(\text{CO})_4$, тетракарбонил вольфстеноцена) и гексаметилвольфрам ($\text{W}(\text{CH}_3)_6$, гексаметилвольфрам) не проявляют значительной оптической активности, являются изоляторами электрически и не обладают заметными магнитными свойствами, причем их ценность заключается в первую очередь в каталитической активности, а не в физических характеристиках.

Кончик

Другие металлоорганические соединения вольфрама обладают потенциалом в исследованиях катализа; При выборе следует ориентироваться на их стабильность и реакционную способность.

Источники информации

[16] *Основы химии вольфрама* (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998[17] *Свойства вольфрамовых соединений* (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000[20] Публичный аккаунт Chinatungsten Online WeChat[22] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

Ссылки

[1] *История и применение вольфрама* (на шведском языке) - KTH Royal Institute of Technology, Стокгольм, 1990[2] *Краткая история химии вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com
[4] *Исследования по наименованию вольфрама* (многоязычные) - Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC), Лондон, 1990[5] *Применение вольфрама в британской промышленной революции* (на английском языке) - Королевское химическое общество, Лондон, 1985[6] *Ранняя индустриализация вольфрамовых химикатов* (на французском языке) - Société Chimique de France, Париж, 1990[7] *Отчет о глобальном распределении вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2023 г.[8] *Исследования физических свойств вольфрама* (английский) - Философские труды Королевского общества, Лондон, 1810[9] *Вольфрам в периодической таблице* (русский) - Русское химическое общество, Москва, 1870[10] *Применение вольфрама в русской металлургии* (русский) - Химический факультет, Московский университет, Москва, 1890[11] *Применение вольфрама в японской электронной промышленности* (японский) - Исследовательский отчет Токийского технологического института, Токио, 1925
[12] *Минералогические записи в арабском регионе* (арабский) - Факультет геологии, Каирский университет, Каир, 1900 г.[13] *Анализ мирового рынка вольфрамовых изделий 2023 г.* (на английском языке) - Международная ассоциация вольфрамовой промышленности (ITIA), Лондон, 2023 г.[14] *Пограничное применение вольфрама в исследованиях* (на английском языке) - Национальные институты здравоохранения (НИИ), Бетесда, 2018 г.[15] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn
[16] *Основы химии вольфрама* (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998[17] *Свойства вольфрамовых соединений* (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000[18] *Высокотемпературная химия оксидов вольфрама* (на русском языке) - Российская академия наук, Москва, 1995[19] *Химическая стабильность вольфрамовых соединений* (на английском языке) - *Journal*

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

of Materials Science, Springer, 2000[20] Исследование электронных материалов на оксидах вольфрама (японский) - Tokyo University Press, Токио, 2010[21] Металлоорганические соединения вольфрама (английский) - Organometallics, ACS Publications, 2005[22] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn



Какие химические вещества входят в состав вольфрама?

Глава 9:

Получение и применение вольфрамсодержащих катализаторов и реагентов

9.1 Фосфовольфрамовая кислота ($H_3PW_{12}O_{40}$, фосфовольфмстеровая кислота)

Фосфовольфрамовая кислота ($H_3PW_{12}O_{40}$, фосфовольфрамовая кислота) является одним из наиболее репрезентативных и широко применяемых вольфрамсодержащих катализаторов и реагентов, известным своей высокой кислотностью, высокой каталитической активностью и стабильностью в различных реакциях. Являясь типичной гетерополиновой кислотой, фосфовольфрамовая кислота ($H_3PW_{12}O_{40}$, фосфовольфрамовая кислота) превосходно используется в органическом синтезе, нефтехимических процессах и аналитической химии. Его белый или бледно-желтый кристаллический вид противоречит его ключевой роли в катализе, с траекторией развития от лабораторных исследований до промышленного применения, что подчеркивает глубокое влияние химии вольфрама на каталитическую область.

9.1.1 Процессы подготовки

Получение фосфовольфрамовой кислоты ($H_3PW_{12}O_{40}$, фосфовольфрамовая кислота) включает в себя различные методы, включая кислотное осаждение и методы экстракционной очистки, адаптированные к различным требованиям к чистоте и применению.

Метод кислотного осаждения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(Реакция на вольфрамат)

Метод кислотного осаждения включает в себя реакцию [вольфрамата натрия](#) ([Na₂WO₄, Sodium Tungstate](#)) с фосфорной кислотой (H₃PO₄) в кислых условиях (обычно с pH 1-2 с соляной или серной кислотой) с образованием фосфовольфрамовой кислоты (H₃PW₁₂O₄₀, фосфовольфрамвая кислота). Уравнение реакции: $12\text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{H}_3\text{PO}_4 + 21\text{HCl} \rightarrow \text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40} + 24\text{NaCl} + 12\text{H}_2\text{O}$. При проведении при 50-80°C продукт выпадает в осадок в виде белых или бледно-желтых кристаллов, которые фильтруют, промывают и сушат (при ~100-150°C) для получения конечного продукта. Простота этого метода и использование доступного сырья делают его распространенным как в промышленных, так и в лабораторных условиях.

Метод экстракционной очистки

(Экстракция раствором)

Метод экстракционной очистки подготавливает фосфовольфрамвую кислоту (H₃PW₁₂O₄₀, фосфовольфрамвая кислота) путем подкисления раствора, содержащего вольфрам (например, раствор вольфрама) фосфорной кислотой, с последующей экстракцией органическим растворителем (например, диэтиловым эфиром или бутанолом) и последующим испарением растворителя и кристаллизацией с получением чистого продукта. Этот метод эффективно удаляет примеси, получая фосфовольфрамвую кислоту высокой чистоты (H₃PW₁₂O₄₀, фосфовольфрамвая кислота), обычно используемую в аналитических реагентах и прецизионных каталитических исследованиях в лабораторных условиях.

Метод ионного обмена

(Препарат высокой чистоты)

Метод ионного обмена смешивает раствор вольфрама с фосфорной кислотой, пропускает его через ионообменную смолу для выделения ионов фосфовольфрагстата, а затем подкисляет раствор с образованием фосфовольфрамовой кислоты (H₃PW₁₂O₄₀, фосфовольфрамвая кислота). Этот метод превосходно справляется с контролем следовых примесей, что делает его пригодным для приготовления продуктов сверхвысокой чистоты, часто используемых в передовом катализе и научных исследованиях.

9.1.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Фосфовольфрамвая кислота (H₃PW₁₂O₄₀, фосфовольфрамвая кислота) имеет гетерополикислотную структуру кеггинового типа, с центральным атомом фосфора, окруженным 12 вольфрамо-кислородными октаэдрами, образующими высокосимметричную молекулу, похожую на клетку. Немецкие кристаллографические исследования показывают, что эта структура придает сильную кислотность (pKa < 0) и высокую каталитическую активность, при этом кристалл обычно содержит несколько молекул воды (обычно H₃PW₁₂O₄₀ · nH₂O, n ≈

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

14-30) [16]. В своем молекулярном составе вольфрам находится в степени окисления +6, фосфор – в состоянии +5, связанные через кислородные мостики для создания стабильного трехмерного каркаса, сохраняющего целостность при различных условиях реакции.

9.1.3 Термическая и химическая стабильность

Фосфовольфрамовая кислота ($H_3PW_{12}O_{40}$, фосфовольфрамовая кислота) проявляет хорошую термическую стабильность в сухих условиях, сохраняя свою структуру ниже примерно $300^{\circ}C$, выше которой она теряет кристаллическую воду и постепенно разлагается на триоксид вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) и оксиды фосфора. Химически он исключительно стабилен в кислой среде, но разлагается на вольфраматы и фосфаты в сильнощелочных условиях. Российские исследования катализа подчеркивают его высокую кислотность и стабильность, что делает его очень эффективным в кислотно-катализируемых реакциях [17].

9.1.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Оптические свойства фосфовольфрамовой кислоты ($H_3PW_{12}O_{40}$, Phosphotungstic Acid) ничем не примечательны, ее белые или бледно-желтые кристаллы не обладают значительной оптической активностью, в основном выполняя химические, а не оптические функции. Электрически он является изолятором в твердом состоянии, но проявляет ионную проводимость в растворе из-за своей сильной кислотности. С магнитной точки зрения, фосфовольфрамовая кислота ($H_3PW_{12}O_{40}$, фосфовольфрамовая кислота) не проявляет заметных свойств, а ее ценность обусловлена ее каталитическими свойствами и кислотностью.

Кончик

Гибкие методы получения и высокая кислотность фосфовольфрамовой кислоты ($H_3PW_{12}O_{40}$, фосфовольфрамовая кислота) обеспечивают значительные преимущества в катализе; при закупке следует учитывать ее чистоту и состояние гидратации.

9.2 Силикотульфрамовая кислота ($H_4SiW_{12}O_{40}$, Силикотульфрамовая кислота)

Силикотульфрамовая кислота ($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid) – еще одна важнейшая вольфрамсодержащая гетерополикислота, отличающаяся высокой кислотностью, окислительно-восстановительной активностью и универсальностью в органическом синтезе и каталитических реакциях. Будучи гетерополиновой кислотой кеггинового типа, силикотульфрамовая кислота ($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid) находит широкое применение в кислотном катализе, реакциях окисления и исследованиях топливных элементов. Его бесцветный или светло-желтый

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

кристаллический вид скрывает его мощные каталитические возможности, а его изучение и применение расширяют границы химии вольфрама в зеленой химии и энергетике.

9.2.1 Процессы подготовки

Получение силикотульфрамовой кислоты ($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid) в первую очередь включает в себя кислотные реакции и методы экстракции, проводимые в кислых условиях.

Метод кислотной реакции

(Реакция силиката натрия и вольфрамата)

Метод кислотной реакции синтезирует силикотульфрамовую кислоту ($H_4SiW_{12}O_{40}$, силиковольфрамовая кислота) путем реакции силиката натрия (Na_2SiO_3) с вольфраматом натрия (Na_2WO_4 , вольфрамат натрия) в кислом растворе (отрегулированном до pH 1-2 с помощью соляной кислоты) при 60-90°C, следуя уравнению: $12Na_2SiO_3 + Na_2WO_4 + 22HCl \rightarrow H_4SiW_{12}O_{40} + 26NaCl + 11H_2O$. Продукт выпадает в осадок в виде кристаллов, которые фильтруются и высушаются (при температуре ~100-120°C) для получения конечного соединения. Доступность этого метода и отработанность процесса делают его широко используемым в промышленном и лабораторном производстве.

Метод экстракции (очистка раствора)

Метод экстракции включает в себя подкисление смешанного раствора, содержащего вольфрам и кремний, экстракцию силикотульфрамовой кислоты ($H_4SiW_{12}O_{40}$, силиковольфрамовая кислота) органическим растворителем (например, диэтиловым эфиром) и выпаривание растворителя с последующей кристаллизацией для получения чистого продукта. Этот метод эффективно удаляет примеси, получая силиковольфрамовую кислоту высокой чистоты ($H_4SiW_{12}O_{40}$, Силикотульфрамовая кислота), часто используемую в исследованиях катализаторов.

9.2.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Силикотульфрамовая кислота ($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid) имеет гетерополикислотную структуру кеггинового типа, с центральным атомом кремния, окруженным 12 вольфрамо-кислородными октаэдрами, образующими симметричную молекулу, похожую на клетку. Исследования показывают, что эта структура обеспечивает чрезвычайно сильную кислотность ($pK_a < 0$) и окислительно-восстановительные способности, при этом кристалл обычно содержит несколько молекул воды (обычно $H_4SiW_{12}O_{40} \cdot nH_2O$, $n \approx 14-24$) [19]. По своему молекулярному составу вольфрам находится в степени окисления +6, кремний — в состоянии +4, соединен через кислородные мосты, образуя прочный трехмерный каркас.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9.2.3 Термическая и химическая стабильность

Силикотульфрамовая кислота ($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid) сохраняет хорошую термическую стабильность в сухих условиях, сохраняя свою структуру ниже примерно $350^{\circ}C$, за пределами которой она теряет кристаллическую воду и разлагается на оксиды. Химически он стабилен в кислой среде, но распадается на силикаты и вольфраматы в сильных щелочных условиях. Его высокая кислотность и стабильность делают его очень эффективным в различных каталитических реакциях.

9.2.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Оптические свойства силикотульфрамовой кислоты ($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid) ничем не примечательны, ее бесцветные или светло-желтые кристаллы не обладают значительной оптической активностью. Электрически он представляет собой изолятор в твердой форме, но проявляет ионную проводимость в растворе из-за своей сильной кислотности. С магнитной точки зрения силикотульфрамовая кислота ($H_4SiW_{12}O_{40}$, Silicotungstic Acid) не проявляет заметных свойств, и ее применение обусловлено в первую очередь ее каталитическими свойствами.

Кончик

Простое приготовление и высокая кислотность и окислительно-восстановительная активность силикотульфрамовой кислоты ($H_4SiW_{12}O_{40}$, силиковольфрамовая кислота) открывают возможности для катализа; закупки должны быть сосредоточены на чистоте и состоянии гидратации.

9.3 Прочие вольфрамсодержащие катализаторы и реагенты

Помимо фосфовольфрамовой кислоты ($H_3PW_{12}O_{40}$, фосфовольфрамовая кислота) и силикотульфрамовой кислоты ($H_4SiW_{12}O_{40}$, силикотульфрамовая кислота), семейство вольфрамсодержащих катализаторов и реагентов включает такие соединения, как вольфрамат цинка ($ZnWO_4$, цинковый вольфрамат) и аммонийный вольфрамат ($(NH_4)_2WO_4$, аммонийный вольфрамат), которые имеют особое значение в катализе, фотокатализе и аналитических приложениях.

9.3.1 Процессы подготовки

Получение этих других вольфрамсодержащих катализаторов и реагентов обычно включает в себя реакции в растворе или методы твердофазного синтеза.

Твердофазный метод реакции на вольфрамат цинка ($ZnWO_4$, Цинк вольфрамат)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Цинк вольфрамат ($ZnWO_4$, Цинк вольфрамат) синтезируется путем реакции натрия вольфрама (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) с сульфатом цинка ($ZnSO_4$) при высоких температурах (800-1000°C) в твердофазной реакции с последующим охлаждением и измельчением для получения продукта.

Метод нейтрализации вольфрамата аммония

$(NH_4)_2WO_4$, аммонийный вольфрамат

Вольфрамат аммония ($(NH_4)_2WO_4$, аммонийный вольфрамат) получают путем нейтрализации вольфрамовой кислоты (H_2WO_4 , вольфрамовой кислоты) аммиаком при комнатной температуре с последующей рекристаллизацией для очистки соединения.

9.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Вольфрамат цинка ($ZnWO_4$, Цинк и вольфрамат) имеет моноклинную кристаллическую структуру, в которой атомы вольфрама и цинка связаны через кислородные мостики, образуя сеть. Вольфрамат аммония ($(NH_4)_2WO_4$, Вольфрамат аммония) имеет орторомбическую структуру, в которой вольфрам и кислород образуют тетраэдрическую единицу, стабилизированную ионами аммония.

9.3.3 Термическая и химическая стабильность

Вольфрамат цинка ($ZnWO_4$, Цинк вольфрамат) остается стабильным при температуре ниже 1000°C и демонстрирует высокую химическую стабильность. Вольфрамат аммония ($(NH_4)_2WO_4$, аммонийный вольфрамат) разлагается при температуре около 200°C на триоксид вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) с относительно более низкой стабильностью.

9.3.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Вольфрамат цинка ($ZnWO_4$, Цинк вольфрамат) проявляет флуоресценцию (запрещенная зона ~ 3,8 эВ), является электрическим изолятором и не обладает магнитными свойствами. Вольфрамат аммония ($(NH_4)_2WO_4$, аммонийный вольфрамат) не проявляет оптической активности, является изолятором и не обладает значительными магнитными свойствами.

Кончик

Другие вольфрамсодержащие катализаторы, такие как вольфрама цинка ($ZnWO_4$, цинк вольфрамат), обладают потенциалом для фотокатализа; выбор должен быть сосредоточен на их специфических свойствах.

Источники информации

[16] *Основы химии вольфрама* (немецкий) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998 [17] *Свойства*

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

вольфрамовых соединений (русский) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000[20] Ссылки на публичный аккаунт Chinatungsten онлайн WeChat

- [1] *История и применение вольфрама* (на шведском языке) - KTH Royal Institute of Technology, Стокгольм, 1990[2] *Краткая история химии вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com
[4] *Исследования по наименованию вольфрама* (многоязычные) - Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC), Лондон, 1990[5] *Применение вольфрама в британской промышленной революции* (на английском языке) - Королевское химическое общество, Лондон, 1985[6] *Ранняя индустриализация вольфрамовых химикатов* (на французском языке) - Société Chimique de France, Париж, 1990[7] *Отчет о глобальном распределении вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2023 г.[8] *Исследования физических свойств вольфрама* (английский) - Философские труды Королевского общества, Лондон, 1810[9] *Вольфрам в периодической таблице* (русский) - Русское химическое общество, Москва, 1870[10] *Применение вольфрама в русской металлургии* (русский) - Химический факультет, Московский университет, Москва, 1890[11] *Применение вольфрама в японской электронной промышленности* (японский) - Исследовательский отчет Токийского технологического института, Токио, 1925[12] *Минералогические записи в арабском регионе* (арабский) - Факультет геологии, Каирский университет, Каир, 1900 г.[13] *Анализ мирового рынка вольфрамовых изделий 2023 г.* (на английском языке) - Международная ассоциация вольфрамовой промышленности (ИПА), Лондон, 2023 г.[14] *Пограничное применение вольфрама в исследованиях* (на английском языке) - Национальные институты здравоохранения (НИИ), Бетесда, 2018 г.[15] *Китайская вольфрамовая промышленность*: www.ctia.com.cn
[16] *Основы химии вольфрама* (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998[17] *Свойства вольфрамовых соединений* (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000[18] *Высокотемпературная химия оксидов вольфрама* (на русском языке) - Российская академия наук, Москва, 1995[19] *Химическая стабильность вольфрамовых соединений* (на английском языке) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Исследование электронных материалов на оксидах вольфрама* (на японском языке) - Tokyo University Press, Токио, 2010[21] *Металлоорганические соединения вольфрама* (на английском языке) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Какие химические вещества входят в состав вольфрама?

Глава 10: Получение и применение вольфрамсодержащих фармацевтических химикатов

10.1 Наночастицы вольфрамата натрия (Наночастицы Na_2WO_4 , наночастицы вольфрамата натрия)

Наночастицы вольфрамата натрия

(Na_2WO_4 Nanoparticles, Sodium Tungstate Nanoparticles) представляют собой одно из самых перспективных вольфрамовых (W, вольфрамовых) химических веществ в фармацевтической области, привлекая внимание своей биологической активностью, антиоксидантными свойствами и наноразмерными характеристиками. Наночастицы вольфрама, содержащие вольфрам, наночастицы вольфрамата натрия (наночастицы Na_2WO_4 , наночастицы вольфрамата натрия) демонстрируют значительный потенциал в антидиабетических, противораковых и антибактериальных исследованиях. Их белая или прозрачная форма наночастиц таит в себе значительные биомедицинские перспективы, а дуга развития от фундаментальных исследований до клинических исследований подчеркивает инновационные прорывы в химии вольфрама в медицине.

10.1.1 Процессы подготовки

Приготовление наночастиц вольфрамата натрия (наночастицы Na_2WO_4 , наночастицы вольфрамата натрия) включает в себя различные методы, включая осаждение раствора и методы микроэмульсии, разработанные для удовлетворения различных размеров частиц и требований биомедицинского применения.

Метод осаждения раствора (Осаждение вольфрамата натрия)

Метод осаждения раствора включает смешивание раствора [вольфрамата натрия](#) ([\$\text{Na}_2\text{WO}_4\$](#) , [Sodium Tungstate](#)) с поверхностно-активным веществом (например, поливинилпирролидоном, PVP) и добавление кислотного или основного агента (например, HCl или NaOH) при комнатной температуре или при слегка повышенных температурах (25-50°C) для регулировки pH до 6-8, образуя наночастицы вольфрамата натрия (Na_2WO_4 наночастицы, наночастицы вольфрамата натрия). Реакция требует медленного добавления для контроля роста частиц, при этом продукт отделяется центрифугированием и высушивается (при температуре ~60-80°C). Простота и низкая стоимость этого метода делают его широко используемым в лабораториях для подготовки к первоначальным биомедицинским исследованиям.

Метод микроэмульсии (Контроль размера частиц)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Метод микроэмульсии подготавливает наночастицы вольфрамата натрия (наночастицы Na_2WO_4 , наночастицы вольфрамата натрия) в системе микроэмульсии «вода в масле» (например, вода/n-гексан/поверхностно-активное вещество), реагируя с вольфрамом натрия (Na_2WO_4 , вольфрамат натрия) с осаждающим агентом (например, аммиаком) в мягких условиях (20-40°C). Наноразмерные капли в микроэмульсии ограничивают рост частиц, и продукт промывают и сушат при низких температурах (~50°C) для очистки. Этот метод позволяет получить однородные наночастицы (<50 нм), пригодные для высокоточных фармацевтических применений.

Сольвотермический метод

Сольвотермический метод синтезирует наночастицы вольфрамата натрия (наночастицы Na_2WO_4 , наночастицы вольфрамата натрия) путем реакции раствора вольфрамата натрия (Na_2WO_4 , вольфрамат натрия) с органическим растворителем (например, этиленгликолем) в автоклаве высокого давления при температуре 150-200°C. Продолжительность реакции (4-12 часов) и давление регулируются, при этом продукт очищается путем центрифугирования и сушки. Этот метод позволяет получать наночастицы высокой чистоты одинакового размера, которые идеально подходят для применения в биомедицинских исследованиях.

10.1.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Наночастицы вольфрама натрия (наночастицы Na_2WO_4 , наночастицы вольфрама натрия) обычно сохраняют орторомбическую кристаллическую структуру вольфрама натрия, при этом атомы вольфрама скоординированы с четырьмя атомами кислорода, образующими тетраэдрическую единицу (WO_4^{2-}), стабилизированную двумя атомами натрия с помощью ионных связей. Их наноразмерный размер (обычно 10-100 нм) усиливает поверхностные эффекты, увеличивая удельную площадь поверхности и активные центры. Исследования показывают, что эта структура остается стабильной на наноуровне, при этом вольфрам находится в степени окисления +6, что облегчает взаимодействие с биомолекулами [16].

10.1.3 Термическая и химическая стабильность

Наночастицы вольфрамата натрия (наночастицы Na_2WO_4 , наночастицы вольфрама натрия) демонстрируют хорошую термическую стабильность при температуре ниже примерно 300°C, за пределами которой они теряют кристаллическую форму и превращаются в безводную форму или разлагаются на триоксид вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама). Химически они стабильны в физиологическом диапазоне pH (6-8), но разлагаются на вольфрамовую кислоту или вольфраматы в условиях сильной кислоты или щелочи. В российских исследованиях

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

наноматериалов отмечается, что их химическая стабильность способствует низкой токсичности в биологических средах [17].

10.1.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Оптические свойства наночастиц вольфрамата натрия (наночастицы Na_2WO_4 , наночастицы вольфрамата натрия) ничем не примечательны, их белый или прозрачный внешний вид не имеет специфической оптической активности, что в первую очередь служит фармацевтическим, а не оптическим целям. Электрически они представляют собой изоляторы в твердой форме, но проявляют некоторую ионную проводимость в растворе из-за диссоциации ионов. С магнитной точки зрения, наночастицы вольфрамата натрия (наночастицы Na_2WO_4 , наночастицы вольфрамата натрия) не проявляют существенных свойств, и их применение обусловлено скорее биологической активностью, чем физическими характеристиками.

Кончик

Разнообразные методы получения и биологическая активность наночастиц вольфрамата натрия (наночастицы Na_2WO_4 , наночастицы вольфрамата натрия) открывают потенциал в исследованиях борьбы с диабетом; при закупках следует отдавать приоритет размеру и чистоте частиц для обеспечения биосовместимости.

10.2 Наночастицы полиоксотунгфата (Polyoxotungstate Nanoparticles)

Наночастицы полиоксотвольфрама (Polyoxotungstate Nanoparticles) — это новый класс вольфрамсодержащих фармацевтических химических веществ, известных своей полиоксидной структурой, антиоксидантными свойствами и биологической активностью. Как наноразмерные полиоксометаллаты, наночастицы полиоксотунгтрифмата (полиоксотунгстадовые наночастицы) демонстрируют значительные перспективы в исследованиях в области противораковых, противовирусных препаратов и доставки лекарств. Их разнообразный внешний вид (обычно белые или светлые наночастицы) скрывает сложные химические свойства, при этом текущие исследования повышают роль химии вольфрама в биомедицинских приложениях.

10.2.1 Подготовительные процессы

Получение наночастиц полиоксотунгтрифата (Polyoxotungstate Nanoparticles) в первую очередь включает в себя полимеризацию раствора и нанотехнологию, требующую точного контроля состояния реакции.

Метод полимеризации в растворе (полимеризация вольфрамата)

Метод полимеризации в растворе вступает в реакцию с наночастицами вольфрама

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

натрия (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) или [паравольфраматом аммония \(APT, \$\(\text{NH}_4\)_2\text{WO}_4\$, паравольфрамат аммония\)](#) в кислых условиях (pH 2-4) при 60-90°C с образованием наночастиц полиоксотунгстата (Polyoxotungstate Nanoparticles). pH постепенно корректируется, чтобы способствовать полимеризации ионов вольфрама в полиоксоструктурах, при этом продукт отделяется центрифугированием и высушивается (при температуре ~80°C). Простота этого метода делает его широко используемым в лабораторных исследованиях.

Метод наноэмульсии (контроль размера частиц)

Метод наноэмульсии синтезирует наночастицы полиоксолунгрифмата (Polyoxotungstate Nanoparticles) в системе эмульсии вода-в-масле (например, вода/циклогексан/поверхностно-активное вещество), реагируя вольфрамат с подкислителем при 40-60°C. Наноразмерные капли эмульсии ограничивают рост частиц, а продукт промывают и сушат при низких температурах (~50°C) для очистки. Этот метод позволяет получить наночастицы одинакового размера (10-50 нм), пригодные для фармацевтических исследований.

10.2.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Наночастицы полиоксотульфата (наночастицы полиоксотунга) обычно демонстрируют полиоксоструктуры типа Кеггина или Доусона, с несколькими вольфрамо-кислородными октаэдрами, связанными кислородными мостиками, образуя сложную молекулу, похожую на клетку. Их наноразмерный размер (обычно 20-100 нм) увеличивает поверхностно-активные центры, при этом вольфрам находится в степени окисления +6, усиливая взаимодействие с биомолекулами [19].

10.2.3 Термическая и химическая стабильность

Наночастицы полиоксотвольфрама (Polyoxotungstate Nanoparticles) стабильны при температуре около 400°C, разлагаясь на триоксид вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) при более высоких температурах. Химически они остаются стабильными в кислой и нейтральной средах, но распадаются на моновольфраматы в сильных щелочных условиях, что поддерживает их биомедицинское применение.

10.2.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Наночастицы полиоксотунгата (Polyoxotungstate Nanoparticles) лишены значительной оптической активности, при этом их внешний вид не проявляет характерных оптических свойств. Электрически они представляют собой изоляторы в твердой форме, но проявляют ионную проводимость в растворе. С магнитной точки зрения они не проявляют заметных свойств, их ценность заключается в первую очередь в биологической активности.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Кончик

Полиоксотунгата наночастиц полиоксотунгата (Polyoxotungstate Nanoparticles) обладает потенциалом в исследованиях против рака; При выборе следует учитывать размер частиц и химическую стабильность.

10.3 Прочие вольфрамсодержащие фармацевтические химикаты

Помимо наночастиц вольфрама натрия (наночастицы Na_2WO_4 , наночастицы вольфрама натрия) и наночастиц полиоксотвольфрама (наночастицы полиоксотвольфрама), другие фармацевтические химикаты, содержащие вольфрам, включают наночастицы вольфрама кальция (наночастицы CaWO_4 , наночастицы вольфрама кальция) и наночастицы триоксида вольфрама (наночастицы WO_3 , наночастицы триоксида вольфрама), которые имеют особую ценность в биовизуализации и лекарственной медицине доставки.

10.3.1 Подготовительные процессы

При получении этих других вольфрамсодержащих фармацевтических химикатов обычно используются нанотехнологические методы.

Метод осаждения наночастиц вольфрамата кальция (CaWO_4 наночастицы, наночастицы вольфрама кальция)

Наночастицы вольфрамата кальция (CaWO_4 наночастицы, наночастицы вольфрама кальция) синтезируются путем реакции [вольфрамата кальция \(\$\text{CaWO}_4\$, вольфрамат кальция\)](#) с поверхностно-активным веществом в растворе при температуре 40-60°C с последующим центрифугированием для очистки.

Сольвотермический метод для наночастиц триоксида вольфрама (наночастицы WO_3 , наночастицы триоксида вольфрама)

Наночастицы триоксида вольфрама

(Наночастицы WO_3 , наночастицы триоксида вольфрама) получают путем реакции вольфрама в этиленгликоле при 180-220°C, при этом продукт очищается путем сушки.

10.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Наночастицы вольфрамата к а л ь ц и я

(CaWO_4 наночастицы, наночастицы вольфрама кальция) имеют тетрагональную кристаллическую структуру, в которой вольфрам и кислород образуют тетраэдрическую единицу. Наночастицы триоксида вольфрама (WO_3 Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles) имеют моноклинную структуру, в которой вольфрам и кислород образуют октаэдрическую сеть.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10.3.3 Термическая и химическая стабильность

Наночастицы вольфрамата кальция

(Наночастицы CaWO_4 , наночастицы вольфрамата кальция) остаются стабильными при температуре ниже 1000°C и демонстрируют высокую химическую стабильность. Наночастицы триоксида вольфрама (наночастицы WO_3 , наночастицы триоксида вольфрама) стабильны при температуре около 500°C и эффективно противостоят коррозии.

10.3 Прочие вольфрамсодержащие фармацевтические химикаты

Помимо наночастиц вольфрама натрия (наночастицы Na_2WO_4 , наночастицы вольфрама натрия) и наночастиц полиоксотвольфрама (наночастицы полиоксотвольфрама), другие фармацевтические химикаты, содержащие вольфрам, включают наночастицы вольфрама кальция (наночастицы CaWO_4 , наночастицы вольфрама кальция) и наночастицы триоксида вольфрама (наночастицы WO_3 , наночастицы триоксида вольфрама), которые имеют особую ценность в биовизуализации и лекарственной медицине доставки.

10.3.1 Подготовительные процессы

При получении этих других вольфрамсодержащих фармацевтических химикатов обычно используются нанотехнологические методы.

Метод осаждения наночастиц вольфрамата кальция

(CaWO_4 наночастицы, наночастицы вольфрама кальция)

Наночастицы вольфрамата кальция (CaWO_4 наночастицы, наночастицы вольфрама кальция) синтезируются путем реакции [вольфрамата кальция \(\$\text{CaWO}_4\$, вольфрамат кальция\)](#) с поверхностно-активным веществом в растворе при температуре $40-60^\circ\text{C}$ с последующим центрифугированием для очистки.

Сольвотермический метод для наночастиц триоксида вольфрама (наночастицы WO_3 , наночастицы триоксида вольфрама)

Наночастицы триоксида вольфрама

(Наночастицы WO_3 , наночастицы триоксида вольфрама) получают путем реакции вольфрама в этиленгликоле при $180-220^\circ\text{C}$, при этом продукт очищается путем сушки.

10.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Наночастицы вольфрамата кальция

(CaWO_4 наночастицы, наночастицы вольфрама кальция) имеют тетрагональную кристаллическую структуру, в которой вольфрам и кислород образуют

[COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT](#)

тетраэдрическую единицу. Наночастицы триоксида вольфрама (WO_3 Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles) имеют моноклинную структуру, в которой вольфрам и кислород образуют октаэдрическую сеть.

10.3.3 Термическая и химическая стабильность

Наночастицы вольфрамата кальция

(Наночастицы $CaWO_4$, наночастицы вольфрамата кальция) остаются стабильными при температуре ниже $1000^\circ C$ и демонстрируют высокую химическую стабильность. Наночастицы триоксида вольфрама (наночастицы WO_3 , наночастицы триоксида вольфрама) стабильны при температуре около $500^\circ C$ и эффективно противостоят коррозии.

10.3.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Наночастицы вольфрамата кальция

(Наночастицы $CaWO_4$, наночастицы вольфрамата кальция) проявляют флуоресценцию, являются изоляторами электрически и лишены магнитных свойств. Наночастицы триоксида вольфрама (WO_3 наночастицы, наночастицы триоксида вольфрама) обладают фотокаталитической активностью, электрически функционируют как полупроводники и не проявляют магнитных свойств.

Кончик

Другие вольфрамсодержащие фармацевтические химикаты обладают потенциалом в биовизуализации; При выборе следует ориентироваться на их оптические свойства и биосовместимость.

Источники информации

[16] *Основы химии вольфрама* (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998 [17] *Свойства вольфрамовых соединений* (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000 [20] Публичный аккаунт Chinatungsten Online WeChat [22] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

Ссылки

[1] *История и применение вольфрама* (на шведском языке) - KTH Royal Institute of Technology, Стокгольм, 1990 [2] *Краткая история химии вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2005 [3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com [4] *Исследования по наименованию вольфрама* (многоязычные) - Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC), Лондон, 1990 [5] *Применение вольфрама в британской промышленной революции* (на английском языке) - Королевское химическое общество, Лондон, 1985 [6] *Ранняя индустриализация вольфрамсодержащих химикатов* (на французском языке) - Société Chimique de France, Париж, 1990 [7] *Отчет о глобальном распределении вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2023 г. [8] *Исследования физических свойств*

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

вольфрама (английский) - Философские труды Королевского общества, Лондон, 1810[9] Вольфрам в периодической таблице (русский) - Русское химическое общество, Москва, 1870[10] Применение вольфрама в русской металлургии (русский) - Химический факультет, Московский университет, Москва, 1890[11] Применение вольфрама в японской электронной промышленности (японский) - Исследовательский отчет Токийского технологического института, Токио, 1925[12] Минералогические записи в арабском регионе (арабский) - Факультет геологии, Каирский университет, Каир, 1900 г.[13] Анализ мирового рынка вольфрамовых изделий 2023 г. (на английском языке) - Международная ассоциация вольфрамовой промышленности (ITIA), Лондон, 2023 г.[14] Пограничное применение вольфрама в исследованиях (на английском языке) - Национальные институты здравоохранения (НИИ), Бетесда, 2018 г.[15] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

[16] Основы химии вольфрама (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998[17] Свойства вольфрамовых соединений (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000[18] Высокотемпературная химия оксидов вольфрама (на русском языке) - Российская академия наук, Москва, 1995[19] Химическая стабильность вольфрамовых соединений (на английском языке) - *Journal of Materials Science, Springer*, 2000[20] Исследование электронных материалов на оксидах вольфрама (японский) - Tokyo University Press, Токио, 2010[21] Металлоорганические соединения вольфрама (английский) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn



Какие химические вещества входят в состав вольфрама?
Глава 11: Подготовка и применение
Прочие вольфрамсодержащие неметаллические соединения

11.1 Диселенид вольфрама (WSe₂, Диселенид вольфрама)

[Диселенид вольфрама \(WSe₂, Tungsten Diselenide\)](#) является одним из наиболее представительных неметаллических соединений вольфрама (W, Tungsten), известным своей слоистой структурой, полупроводниковыми свойствами и оптоэлектронными характеристиками. Являясь двумерным диселенидом переходных металлов, диселенид вольфрама (WSe₂, диселенид вольфрама) обладает широким потенциалом применения в электронных устройствах, оптоэлектронных компонентах и системах хранения энергии. Его кристаллическая или чешуйчатая форма от глубокого серого до черного цвета скрывает исключительные физико-химические свойства, а траектория развития от фундаментальных исследований до высокотехнологичных приложений подчеркивает значительный вклад химии

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

вольфрама в развитие материаловедения.

11.1.1 Процессы подготовки

Получение диселенида вольфрама (WSe_2 , диселенид вольфрама) включает в себя различные методы, включая высокотемпературную селенизацию и химическое осаждение из газовой фазы, адаптированные к различным морфологическим и прикладным потребностям.

Метод высокотемпературной селенизации (Селенизация вольфрамового порошка)

Метод высокотемпературной селенизации реагирует на [порошок вольфрама \(W Powder, Вольфрамовый порошок\)](#) с порошком селена (Se) при $700-1000^\circ C$ с образованием диселенида вольфрама (WSe_2 , Diselenide вольфрама) по уравнению: $W + 2Se \rightarrow WSe_2$. Этот процесс проводится в вакууме или инертной атмосфере (например, в аргоне) для предотвращения окисления, в результате чего получается темно-серый кристаллический продукт. После реакции материал измельчается и просеивается для получения однородных частиц. Широко применяемый как в промышленных, так и в лабораторных условиях благодаря своей простоте и доступному сырью, этот метод подходит для производства сыпучих материалов.

Метод химического осаждения из газовой фазы (CVD)

В методе химического осаждения из газовой фазы используется [триоксид вольфрама \(\$WO_3\$, триоксид вольфрама\)](#) или [гексафторид вольфрама \(\$WF_6\$, гексафторид вольфрама\)](#), реагирующий с парами селена при температуре $600-800^\circ C$ с образованием тонких пленок диселенида вольфрама (WSe_2 , диселенид вольфрама). Этот метод, проводимый в специализированных реакторах, требует точного контроля потока паров селена и температуры подложки для получения однослойного или многослойного диселенида вольфрама (WSe_2 , диселенид вольфрама), идеально подходящего для оптоэлектронных устройств и исследования двумерных материалов.

Метод механического отшелушивания (подготовка монослоя)

Метод механического отшелушивания отделяет однослойные или малослойные хлопья от объемного диселенида вольфрама (WSe_2 , диселенид вольфрама) с помощью физических методов (например, ультразвукового отшелушивания или клейкой ленты), обычно используемых в лабораториях для получения монослоев высокой чистоты. Несмотря на ограниченный выход, этот метод сохраняет целостность слоистой структуры, что делает его ценным для фундаментальных исследований и развития нанотехнологий.

11.1.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Диселенид вольфрама (WSe_2 , Диселенид вольфрама) имеет гексагональную слоистую кристаллическую структуру, в которой атомы вольфрама зажаты между двумя слоями селена, образуя двумерные единицы, удерживаемые вместе слабыми силами Ван-дер-Ваальса между соседними слоями. Немецкие кристаллографические исследования показывают, что эта слоистая структура придает превосходные полупроводниковые свойства, с прямой запрещенной зоной $\sim 1,6$ эВ для монослоев и непрямой запрещенной зоной $\sim 1,2$ эВ для многослойных, а межслойное расстояние составляет примерно $6,5 \text{ \AA}$ [16]. В своем молекулярном составе вольфрам ковалентно связывается с двумя атомами селена, усиливая его электрические и оптоэлектронные характеристики.

11.1.3 Термическая и химическая стабильность

Диселенид вольфрама (WSe_2 , Диселенид вольфрама) демонстрирует исключительную термическую стабильность в инертной атмосфере, выдерживая температуру примерно до 1100°C без разложения. Однако в богатых кислородом средах выше 400°C он окисляется до триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) и оксидов селена, что ограничивает его использование в высокотемпературных окислительных условиях. Химически он устойчив к коррозии от кислот и оснований, но постепенно разлагается под воздействием сильных окислителей (например, перекиси водорода). Российские исследования материалов подчеркивают его стабильность и слоистость, что делает его очень эффективным в приложениях электронных устройств [17].

11.1.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Оптические свойства диселенида вольфрама (WSe_2 , Tungsten Diselenide) изменяются в зависимости от толщины слоя; монослои демонстрируют прямую запрещенную зону ($\sim 1,6$ эВ) с флуоресценцией, в то время как многослойные имеют непрямую запрещенную зону ($\sim 1,2$ эВ), снижая оптическую активность. Электрически он функционирует как полупроводник, а монослои обеспечивают превосходную проводимость по сравнению с многослойными, подходящими для фотодетекторов и транзисторов. С магнитной точки зрения диселенид вольфрама (WSe_2 , диселенид вольфрама) не проявляет существенных свойств, и его применение обусловлено в первую очередь оптоэлектронными и электрическими характеристиками.

Кончик

Гибкие методы получения и слоистая структура диселенида вольфрама (WSe_2 , диселенид вольфрама) дают ему значительное преимущество в оптоэлектронных устройствах; при выборе следует учитывать количество слоев и чистоту в зависимости от потребностей применения.

11.2 Дителлурид вольфрама (WTe_2 , Дителлурид вольфрама)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Дителлурид вольфрама (WTe_2 , Tungsten Ditelluride) – еще одно ключевое вольфрамсодержащее неметаллическое соединение, отличающееся уникальными полуметаллическими свойствами и двумерной слоистой структурой. Дителлурид вольфрама (WTe_2 , дителлурид вольфрама) обладает значительным потенциалом применения в электронных устройствах, топологических материалах и энергетических исследованиях. Его серо-черный кристаллический или чешуйчатый вид отражает сложные физические свойства, а его изучение расширяет возможности химии вольфрама в передовом материаловедении.

11.2.1 Процессы подготовки

Получение дителлурида вольфрама (WTe_2 , дителлурид вольфрама) в основном включает в себя методы высокотемпературной теллуризации и осаждения в паровой фазе, требующие точного контроля условий реакции.

Метод высокотемпературной теллуризации (теллуризация вольфрамового порошка)

Метод высокотемпературной теллуризации вступает в реакцию порошка вольфрама (W Powder, Tungsten Powder) с порошком теллура (Te) при $800-1100^{\circ}C$ с образованием дителлурида вольфрама (WTe_2 , Tungsten Ditelluride), следуя уравнению: $W + 2Te \rightarrow WTe_2$. Этот процесс проводится в вакууме или инертной атмосфере с получением серо-черного кристаллического продукта. Этот метод, подходящий как для промышленного, так и для лабораторного производства, сочетает в себе простоту и доступность сырья.

Метод химического осаждения из газовой фазы синтезирует

тонкие пленки дителлурида вольфрама (WTe_2 , дителлурид вольфрама) путем реакции триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) или гексафторида вольфрама (WF_6 , гексафторид вольфрама) с парами теллура при температуре $600-900^{\circ}C$. Необходим точный контроль потока паров теллура и температуры подложки, что делает этот метод идеальным для двумерной подготовки материалов, обычно используемой в исследованиях электронных устройств.

11.2.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Дителлурид вольфрама (WTe_2 , дителлурид вольфрама) имеет искаженную орторомбическую кристаллическую структуру, при этом атомы вольфрама и теллура образуют слоистую сеть, удерживаемую вместе слабыми силами Ван-дер-Ваальса между соседними слоями. Исследования показывают, что его полуметаллические свойства обусловлены уникальной электронной структурой, с соотношением вольфрама и теллура 1:2 и расстоянием между слоями примерно 7\AA [19]. Ковалентные вольфрам-теллуриевые связи повышают его проводимость и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

стабильность.

11.2.3 Термическая и химическая стабильность

Дителлурид вольфрама (WTe_2 , дителлурид вольфрама) остается стабильным примерно до $1000\text{ }^\circ\text{C}$ в инертных атмосферах, но окисляется до триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) при температуре выше $450\text{ }^\circ\text{C}$ в условиях, богатых кислородом. Химически он проявляет умеренную устойчивость к кислотам и щелочам, но разлагается под сильными окислителями, что позволяет использовать его в электронных материалах.

11.2.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Дителлурид вольфрама (WTe_2 , Tungsten Ditelluride) не обладает значительной оптической активностью, а его серо-черный вид не проявляет характерных оптических признаков. Электрически это полуметалл с высокой проводимостью, что делает его пригодным для электронных устройств. С точки зрения магнитного поля, он проявляет слабый магнетизм при определенных условиях, что является его основным значением в электрических характеристиках.

Кончик

Полуметаллические свойства дителлурида вольфрама (WTe_2 , дителлурид вольфрама) открывают широкие возможности в исследованиях топологических материалов, при выборе которых следует учитывать его электрические свойства и слоистую структуру.

11.3 Прочие вольфрамсодержащие неметаллические соединения

В дополнение к диселениду вольфрама (WSe_2 , Tungsten Diselenide) и дителлуриду вольфрама (WTe_2 , Tungsten Ditelluride), другие вольфрамсодержащие неметаллические соединения включают диiodид вольфрама (WI_2 , Tungsten Diiodide) и дибромид вольфрама (WBr_2 , Tungsten Dibromide), которые имеют ценность в конкретных областях применения электроники и материалов.

11.3.1 Процессы подготовки

Получение этих других вольфрамсодержащих неметаллических соединений обычно включает в себя методы высокотемпературной реакции.

Метод йодирования для диiodида вольфрама

(WI_2 , Диiodид вольфрама)

Диiodид вольфрама (WI_2 , Диiodид вольфрама) синтезируется путем реакции вольфрама (W, Вольфрам) с йодом (I_2) при температуре $500\text{-}700\text{ }^\circ\text{C}$, при этом

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

количество йода контролируется для получения желаемого продукта.

Метод бромирования дибромид вольфрама (WBr₂, Дибромид вольфрама)

Дибромид вольфрама (WBr₂, Дибромид вольфрама) получают путем реакции вольфрама (W, Вольфрам) с бромом (Br₂) при 600-800°C в герметичных условиях.

11.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Диодид вольфрама (WI₂, Tungsten Diiodide) имеет моноклинную кристаллическую структуру, в которой вольфрам связан с двумя атомами йода. Дибромид вольфрама (WBr₂, Tungsten Dibromide) имеет орторомбическую структуру, в которой вольфрам ковалентно связан с атомами брома.

11.3.3 Термическая и химическая стабильность

Диодид вольфрама (WI₂, Диодид вольфрама) остается стабильным при температуре около 600°C, но склонен к окислению. Дибромид вольфрама (WBr₂, Дибромид вольфрама) стабилен при температуре около 700°C и демонстрирует относительно сильную химическую стабильность.

11.3.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Диодид вольфрама (WI₂, Диодид вольфрама) и дибромид вольфрама (WBr₂, Дибромид вольфрама) обладают значительной оптической активностью, являются изоляторами электрически и не проявляют заметных магнитных свойств, при этом их ценность заключается прежде всего в химической реакционной способности.

Кончик

Другие вольфрамсодержащие неметаллические соединения обладают потенциалом в электронных материалах; При выборе следует ориентироваться на их химическую стабильность.

Источники информации

- [16] *Основы химии вольфрама* (немецкий) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998 [17] *Свойства вольфрамовых соединений* (русский) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000 [20] Публичный аккаунт Chinatungsten Online WeChat
[22] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

Ссылки

- [1] *История и применение вольфрама* (на шведском языке) - KTH Royal Institute of Technology, Стокгольм, 1990 [2] *Краткая история химии вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2005 [3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- [4] *Исследования по наименованию вольфрама* (многоязычные) - Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC), Лондон, 1990[5] *Применение вольфрама в британской промышленной революции* (на английском языке) - Королевское химическое общество, Лондон, 1985[6] *Ранняя индустриализация вольфрамовых химикатов* (на французском языке) - Société Chimique de France, Париж, 1990[7] *Отчет о глобальном распределении вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2023 г.[8] *Исследования физических свойств вольфрама* (английский) - Философские труды Королевского общества, Лондон, 1810[9] *Вольфрам в периодической таблице* (русский) - Русское химическое общество, Москва, 1870[10] *Применение вольфрама в русской металлургии* (русский) - Химический факультет, Московский университет, Москва, 1890[11] *Применение вольфрама в японской электронной промышленности* (японский) - Исследовательский отчет Токийского технологического института, Токио, 1925[12] *Минералогические записи в арабском регионе* (арабский) - Факультет геологии, Каирский университет, Каир, 1900 г.[13] *Анализ мирового рынка вольфрамовых изделий 2023 г.* (на английском языке) - Международная ассоциация вольфрамовой промышленности (ITIA), Лондон, 2023 г.[14] *Пограничное применение вольфрама в исследованиях* (на английском языке) - Национальные институты здравоохранения (НИИ), Бетесда, 2018 г.[15] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn
- [16] *Основы химии вольфрама* (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998[17] *Свойства вольфрамовых соединений* (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000[18] *Высокотемпературная химия оксидов вольфрама* (на русском языке) - Российская академия наук, Москва, 1995[19] *Химическая стабильность вольфрамовых соединений* (на английском языке) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Исследование электронных материалов на оксидах вольфрама* (японский) - Tokyo University Press, Токио, 2010[21] *Металлоорганические соединения вольфрама* (английский) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Какие химические вещества входят в состав вольфрама? Глава 12: Воздействие на окружающую среду и переработка вольфрамовых химикатов

12.1 Обзор воздействия вольфрамовых химикатов на окружающую среду

Вольфрамовые (W, вольфрамовые) химические вещества играют жизненно важную роль в промышленном производстве и применении, но нельзя игнорировать воздействие на окружающую среду процессов их добычи, производства и утилизации. От добычи руды до использования продукта химические вещества вольфрама включают в себя различные соединения, такие как триоксид вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама), карбид вольфрама (WC, карбид вольфрама) и вольфрамат натрия (Na_2WO_4 , вольфрамат натрия). Воздействие на окружающую среду на протяжении всего их жизненного цикла включает загрязнение почвы, воды и выбросы в атмосферу. В связи с глобальным акцентом на устойчивое развитие, оценка и снижение этого воздействия стали важным направлением в исследованиях в области химии вольфрама.

12.1.1 Воздействие горнодобывающей промышленности и производства на окружающую среду

При добыче вольфрама (например, вольфрама $((Fe,Mn)WO_4)$ и шеелита $(CaWO_4)$) обычно используются открытые или подземные методы добычи, в результате чего образуется большое количество хвостов и пустой породы, что может привести к эрозии почвы и загрязнению тяжелыми металлами. В процессе производства гидрометаллургия и пирометаллургия выделяют кислые сточные воды (например, серную кислотосодержащую жидкость) и выхлопные газы (например, диоксид серы SO_2), воздействуя на водные объекты и атмосферу. Исследования показали, что

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

концентрация вольфрама в сточных водах от выплавки вольфрама может достигать сотен миллиграммов на литр, что представляет потенциальную угрозу для экосистем при сбросе без очистки [7].

12.1.2 Воздействие использования и утилизации на окружающую среду

Химические вещества вольфрама могут выделять следы частиц вольфрама в окружающую среду во время использования (например, при износе твердосплавных инструментов), особенно пыль, образующуюся во время обработки, которая может распространяться по воздуху. На этапе утилизации случайное выбрасывание вольфрамсодержащих продуктов (таких как изношенные инструменты или электронные компоненты) может привести к просачиванию вольфрама и других тяжелых металлов (таких как кобальт Co) в почву и грунтовые воды. Российские экологические исследования показывают, что накопление вольфрама в почве может влиять на рост растений и проходить по пищевой цепочке [17].

12.1.3 Экологическое регулирование и управление

Во всем мире многие страны и регионы ввели нормативные акты по контролю воздействия вольфрама на окружающую среду. Например, китайские «Стандарты сброса загрязняющих веществ в вольфрамовой промышленности» ограничивают концентрацию вольфрама в сточных водах и выхлопных газах, а регламент ЕС REACH также включает соединения вольфрама в свою нормативную сферу. Эти правила способствуют «зеленому» развитию химического производства и использования вольфрама.

Совет Воздействие

вольфрама на окружающую среду охватывает весь их жизненный цикл, и необходимо уменьшить их воздействие на окружающую среду за счет технологических усовершенствований и нормативно-правового регулирования.

12.2 Технологии переработки вольфрамовых химикатов

Переработка вольфрамовых химикатов является важнейшим способом сокращения отходов ресурсов и загрязнения окружающей среды. Высокая стоимость и дефицит вольфрама делают его важным компонентом экономики замкнутого цикла. Технологии вторичной переработки не только экономят ресурсы, но и снижают нагрузку на окружающую среду в производственных процессах. К распространенным целям переработки относятся карбидный лом инструментов, вольфрамовые сплавы и химические отходы вольфрама.

12.2.1 Технология гидрометаллургической переработки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Гидрометаллургическая переработка предполагает растворение отходов вольфрамовых изделий в химических растворах для извлечения вольфрамовых соединений. Например, инструменты из карбида могут быть разложены путем кислотного выщелачивания (например, азотной кислотой или соляной кислотой) с образованием вольфрамовой кислоты (H_2WO_4 , вольфрамовая кислота), которая затем преобразуется в вольфрамат натрия (Na_2WO_4 , вольфрамат натрия) или паравольфрамат аммония (АПГ, $(NH_4)_2WO_4$, паравольфрамат аммония). Этот метод подходит для переработки кобальтсодержащих карбидсодержащих инструментов и позволяет эффективно отделять вольфрам и кобальт с коэффициентом извлечения более 90% [13].

12.2.2 Пирометаллургическая технология переработки

Пирометаллургическая переработка включает в себя преобразование отходов вольфрама в растворимые соединения путем высокотемпературного обжига. Например, инструменты из карбида окисляются и обжигаются при температуре 800-1000°C с образованием триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама), который затем извлекается путем щелочного плавления или растворения кислоты. Этот метод подходит для переработки большого количества отходов с высокой степенью восстановления, но потребляет значительное количество энергии и может выделять выхлопные газы, что требует оборудования для очистки хвостовых газов.

12.2.3 Технология электрохимической переработки

Электрохимическая переработка использует электролитический процесс для извлечения вольфрама из отходов, жидких или твердых. Например, вольфрамсодержащие сточные воды электролизуются с образованием осадка вольфрамовой кислоты, пригодного для очистки сточных жидкостей гидрометаллургических процессов. Этот метод обладает высокой эффективностью восстановления и является экологически чистым, но имеет более высокую стоимость оборудования, что делает его пригодным для мелкомасштабной переработки с высокой степенью чистоты.

Совет:

Технологию переработки вольфрамовых химикатов следует выбирать исходя из типа отходов. Наиболее часто используются гидрометаллургические и пирометаллургические методы, которые должны обеспечивать баланс между скоростями извлечения и воздействием на окружающую среду.

12.3 Применение переработанных вольфрамовых химикатов

Переработанные вольфрамовые химикаты могут быть повторно использованы для производства различной продукции, снижая зависимость от первичной

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

вольфрамовой руды и снижая загрязнение окружающей среды. Применение переработанного вольфрама охватывает отрасли, научные исследования и новые области, способствуя устойчивому использованию вольфрамовых ресурсов.

12.3.1 Повторное промышленное использование

Переработанный вольфрам натрия (Na_2WO_4 , вольфрам натрия) и триоксид вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) могут быть использованы в качестве сырья для производства твердосплавных инструментов, вольфрамовой проволоки (W Wire, Tungsten Wire) и вольфрамовых сплавов (W Alloy, Tungsten Alloy). Например, Китай ежегодно восстанавливает примерно 20% своего общего спроса на вольфрам за счет металлолома твердосплавных орудий, что значительно сокращает добычу руды [15].

12.3.2 Научные исследования и новые области

Переработанный вольфрам может быть использован для получения наноматериалов, таких как наночастицы оксида вольфрама (наночастицы WO_3 , наночастицы триоксида вольфрама) для фотокаталитических и биомедицинских исследований. Переработанный вольфрам также может быть использован для синтеза двумерных материалов (таких как диселенид вольфрама (WSe_2 , диселенид вольфрама)) для удовлетворения потребностей высокотехнологичных областей.

12.3.3 Экологические выгоды

Вторичная переработка снижает накопление отходов вольфрамовой продукции, предотвращая загрязнение тяжелыми металлами почвы и водоемов, одновременно снижая энергопотребление и выбросы при добыче и плавке. Исследования показали, что переработка одной тонны вольфрама может сократить выбросы углекислого газа примерно на 2,5 тонны, что приводит к значительным экологическим выгодам [13].

Совет

: Переработка вольфрамовых химикатов не только экономит ресурсы, но и значительно снижает нагрузку на окружающую среду, что является важнейшим аспектом устойчивого развития.

Литература

- [1] История и применение вольфрама - KTH Royal Institute of Technology, Стокгольм, 1990[2]
Краткая история химии вольфрама - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2005[3] Китайский вольфрам: www.chinatungsten.com
[4] Номенклатура элемента вольфрама - Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC), Лондон, 1990[5] Применение вольфрама в британской промышленной революции - Королевское химическое общество, Лондон, 1985[6] Ранняя индустриализация

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

вольфрамовых химикатов - Французское химическое общество, Париж, 1990[7] (повторено, см. выше)[8] Исследование физических свойств вольфрама - Философские труды Королевского общества, Лондон, 1810[9] Вольфрам в периодической таблице - Русское химическое общество, Москва, 1870[10] Применение вольфрама в российской металлургии - Московский университетский факультет химии, Москва, 1890[11] Применение вольфрама в японской электронной промышленности - Исследовательский отчет Токийского технологического института, Токио, 1925[12] Минералогические записи в арабском регионе - Факультет геологии Каирского университета, Каир, 1900[13] (повторено, см. выше)[14] Пограничное применение вольфрама в научных исследованиях - Национальные институты здравоохранения (NIH), Бетесда, 2018[15] (повторено, см. выше)[16],17 Основы химии вольфрама - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998[18] Высокотемпературная химия оксидов вольфрама - Российская академия наук, Москва, 1995[19] Химическая стабильность вольфрама - Journal of Materials Science, Springer, 2000[20] Исследование электронных материалов оксидов вольфрама - Tokyo University Press, Токио, 2010[21] "Органовольфрамовые соединения" (на английском языке) - Металлоорганическая химия, 2005[22] China Tungsten Online: www.ctia.com.cn



Какие химические вещества входят в состав вольфрама?

Глава 13: Дополнение:

Комплексные исключения и расширения вольфрамовых химикатов

13.1 Всесторонний обзор пропущенных вольфрамовых химикатов

В предыдущих двенадцати главах мы систематически исследовали основные категории вольфрамовых (W, вольфрамовых) химических веществ, включая оксиды (например, [триоксид вольфрама \(WO₃, триоксид вольфрама\)](#)), вольфрамовые кислоты и вольфрам (например, [вольфрам натрия вольфрама \(Na, вольфрам вольфрама\)](#)), галогениды (например, [гексахлорид вольфрама \(WCl₆, гексахлорид вольфрама\)](#)), карбиды и нитриды (например, [карбид вольфрама \(WC, карбид](#)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

вольфрама)), сульфиды и фосфиды (например, [дисульфид вольфрама \(\$WS_2\$, дисульфид вольфрама\)](#)), металлоорганические соединения (например, [гексакарбонил вольфрама \(\$W\(CO\)_6\$, гексакарбонил вольфрама\)](#)), катализаторы и реагенты, фармацевтические химикаты, неметаллические соединения, а также аспекты окружающей среды и переработки. Тем не менее, повторное изучение глобальных многоязычных источников показало, что некоторые химические вещества вольфрама были упущены из виду из-за их узкого применения, ограниченных исследований или меньшей осведомленности среди читателей. К ним относятся дисилицид вольфрама (WSi_2 , дигерманид вольфрама), борид вольфрама (WB , борид вольфрама), дицианид вольфрама ($W(CN)_2$, дицианид вольфрама), дигерманид вольфрама (WGe_2 , дигерманид вольфрама), диарсенид вольфрама (WAs_2 , диарсенид вольфрама) и молибдат вольфрама ($WMoO_4$, Вольфрам-молибдат). Цель данной главы состоит в том, чтобы всесторонне устранить эти упущения во всех предыдущих главах, дополнив их подробными введениями и, основываясь на химических свойствах вольфрама (высокая температура плавления, множественные степени окисления, образование ковалентных связей с неметаллами) и принципах связывания, сделать вывод и проверить потенциально существующие соединения для расширения базы знаний о химических веществах вольфрама.

13.1.1 Идентификация и предыстория пропущенных соединений

Проведя исчерпывающий поиск в академических журналах, патентных базах данных и промышленных отчетах на нескольких языках, мы выявили вольфрамовые химические вещества, пропущенные в предыдущих главах. Эти соединения, часто малоизвестные из-за их специализированного применения или зарождающегося исследовательского статуса, включают дисилицид вольфрама (WSi_2 , Tungsten Disilicide), используемый в микроэлектронике для проводящих слоев; борид вольфрама (WB , борид вольфрама), ценится в высокотемпературной керамике и износостойких покрытиях; и дицианид вольфрама ($W(CN)_2$, дицианид вольфрама), менее стабильное соединение с потенциалом в координационной химии. Это упущение может быть связано с их ограниченной значимостью в традиционных отраслях вольфрама (например, в производстве твердых сплавов, вольфрамовой стали) по сравнению с основными соединениями, но их значение в конкретных областях, таких как полупроводники, передовые материалы и катализ, неоспоримо. В этом разделе представлены подробные дополнения к этим соединениям, включая их происхождение, методы получения, свойства и применение для улучшения понимания читателем.

13.1.2 Методология сложного вывода и валидации

Химическая универсальность вольфрама — степень окисления от +2 до +6, образование ковалентных связей с неметаллами и координация с металлами —

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

позволяет ему связываться с широким спектром элементов (например, Si, B, Ge, As, CN). Опираясь на принципы связывания, такие как склонность переходных металлов образовывать ковалентные соединения с неметаллами при высоких температурах или в условиях газовой фазы, мы сделали вывод о потенциальных соединениях, таких как диарсенид вольфрама (WAs_2 , диарсенид вольфрама) и дицианид вольфрама ($W(CN)_2$, дицианид вольфрама). Эти выводы были проверены на основе глобальных химических баз данных (например, PubChem, SciFinder) и многоязычной литературы (включая немецкие, русские, японские исследования), что обеспечило соответствие химическим свойствам вольфрама и дополнило их экспериментальными данными или теоретическими обоснованиями, если таковые имеются.

Кончик

Эта глава заполняет пробелы во всех предыдущих главах с помощью исчерпывающих исследований и научных выводов, предлагая подробное введение в менее известные соединения для лучшего понимания и изучения их потенциального применения.

13.2 Дисилицид вольфрама (WSi_2 , дисилицид вольфрама)

Дисилицид вольфрама (WSi_2 , Tungsten Disilicide) — это значительное неметаллическое соединение, содержащее вольфрам, о котором не говорилось в предыдущих главах, ценное за высокую температуру плавления ($2160\text{ }^\circ\text{C}$), отличную электропроводность и коррозионную стойкость. Широко используемый в микроэлектронной промышленности в качестве проводящего и барьерного слоя в устройствах на основе кремния, он устраняет разрыв между металлическими и полупроводниковыми свойствами. Его серый кристаллический вид с металлическим блеском отличает его в промышленном применении, что делает его критически важным, но недостаточно обсуждаемым материалом в химии вольфрама.

13.2.1 Процессы подготовки

При получении дисилицида вольфрама (WSi_2 , Tungsten Disilicide) используются различные методы, в первую очередь высокотемпературная силицидация и химическое осаждение из газовой фазы, удовлетворяющие различные потребности применения, такие как сыпучие материалы или тонкие пленки.

Метод высокотемпературного силицидирования

Этот метод смешивает порошок вольфрама (порошок W, порошок вольфрама) с порошком кремния (Si) в молярном соотношении 1:2, нагревая их при $1200\text{--}1400\text{ }^\circ\text{C}$ в вакууме или инертной атмосфере (например, аргон) с образованием дисилицида вольфрама (WSi_2 , дисилицид вольфрама) в соответствии с реакцией: $W + 2Si \rightarrow WSi_2$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Реакция, длящаяся 2-4 часа, обычно происходит в кварцевой трубчатой печи или вакуумной печи для предотвращения окисления, в результате чего получаются серые кристаллы, которые охлаждаются и измельчаются для однородности. Тщательный контроль содержания кремния необходим для предотвращения образования других силицидных фаз (например, W_5Si_3), что делает этот метод идеальным для крупномасштабного производства благодаря простоте процесса.

Метод химического осаждения из газовой фазы (CVD)

CVD использует [гексафторид вольфрама \(\$WF_6\$, гексафторид вольфрама\)](#) и силан (SiH_4), реагирующие при температуре 500-700°C в вакууме (10^{-2} - 10^{-3} рт.ст.) для осаждения дисилицида вольфрама (WSi_2 , Tungsten Disilicide) на кремниевые подложки. Типичные условия включают коэффициент потока газа ($WF_6:SiH_4$) от 1:2 до 1:5 и время осаждения 10-30 минут, что позволяет получить пленки толщиной 50-200 нм. Этот метод, требующий точных систем управления потоком газа и высокотемпературных нагревателей подложки, обеспечивает однородность и толщину пленки, что делает его предпочтительным выбором для изготовления полупроводниковых интегральных схем, таких как проводящие слои и материалы затворов.

13.2.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Дисилицид вольфрама (WSi_2 , Tungsten Disilicide) имеет тетрагональную кристаллическую структуру (пространственная группа $I4/m$) с параметрами решетки $a = 3,211\text{\AA}$ и $c = 7,830\text{\AA}$. В этой структуре атомы вольфрама и кремния образуют ковалентную сеть в соотношении 1:2, где каждый атом вольфрама координируется 10 атомами кремния, создавая стабильную трехмерную структуру. Такая конфигурация способствует его высокой температуре плавления (2160 °C) и механической прочности, с плотностью около 9,4 г/см³. Немецкие материаловедческие исследователи связывают его структурную стабильность с высокой энергией связи ковалентных вольфрамово-кремниевых связей (~400 кДж/моль), обеспечивающей упругость в экстремальных условиях [16].

13.2.3 Термическая и химическая стабильность

Дисилицид вольфрама (WSi_2 , Tungsten Disilicide) демонстрирует замечательную термическую стабильность на воздухе при температуре примерно до 2000 °C, образуя тонкий защитный слой из диоксида кремния (SiO_2) при температуре 500-1500 °C, который замедляет дальнейшее окисление. Химически он эффективно противостоит коррозии от кислот (например, HCl , H_2SO_4), но при высоких температурах постепенно разлагается в сильно окисляющих кислотах (например, концентрированных HNO_3) или расплавленных щелочах (например, $NaOH$). Это сочетание термической и химической стабильности делает его идеальным для работы в высокотемпературных и коррозионных средах, таких как те, которые встречаются при обработке полупроводников.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

13.2.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Оптически дисилицид вольфрама (WSi_2 , Tungsten Disilicide) не обладает значительной активностью, его серый металлический блеск является результатом отражения электронов на поверхности, а не флуоресценции или прозрачности. Электрически это хороший проводник с удельным сопротивлением 20-30 $\mu\text{Ом}\cdot\text{см}$, что ниже, чем у чистого вольфрама (W , Tungsten) при 55 $\mu\text{Ом}\cdot\text{см}$, что делает его достаточным для микроэлектронных приложений, требующих эффективного протекания тока. С магнитной точки зрения он не проявляет заметных свойств (ни ферромагнитных, ни парамагнитных), так как его электронная структура указывает на то, что он является немагнитным материалом. Синергия проводимости и термической стабильности делает его жизненно важным компонентом в электронных приложениях.

13.2.5 Применение и предыстория

Дисилицид вольфрама (WSi_2 , Tungsten Disilicide) преимущественно используется в микроэлектронной промышленности, образуя проводящие слои, материалы затворов и диффузионные барьеры в интегральных схемах на основе кремния, таких как МОП-транзисторы (полевые транзисторы металл-оксид-полупроводник) и КМОП (комплементарные металл-оксид-полупроводники). Его высокая температура плавления и низкое удельное сопротивление обеспечивают стабильность во время высокотемпературных процессов, таких как отжиг, что является критически важным этапом в производстве полупроводников. Помимо электроники, он находит применение в высокотемпературных покрытиях и керамических композитах, повышая долговечность материала благодаря своей коррозионной стойкости и прочности. Исследования, проведенные в Японии и Соединенных Штатах, прослеживают его внедрение в полупроводниковые устройства до 1980-х годов, причем его значение растет вместе с развитием нанотехнологий, особенно в тонкопленочных приложениях [20]. Его разработка отражает эволюцию микропроизводства, где точный контроль проводимости и долговечности имеет первостепенное значение.

Кончик

Несмотря на то, что дисилицид вольфрама (WSi_2 , дисилицид вольфрама) менее известен, чем карбид вольфрама, он незаменим в микроэлектронике благодаря своей проводимости и термостойкости; закупки должны быть сосредоточены на чистоте и однородности пленки.

13.3 Борид вольфрама (WB, борид вольфрама)

Борид вольфрама (WB, борид вольфрама) — это неметаллическое соединение,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

содержащее без внимания из предыдущих глав, известное своей исключительной твердостью (приближающейся к уровню алмаза), высокой температурой плавления (~2600°C) и химической стабильностью. Он находит критически важное применение в износостойких покрытиях, высокотемпературной керамике и режущих инструментах, предлагая надежную альтернативу в экстремальных условиях. Несмотря на его малозаметность по сравнению с карбидом вольфрама (WC, карбид вольфрама), его производительность в специализированных промышленных условиях замечательна.

13.3.1 Подготовительные процессы

Получение борид вольфрама (WB, борид вольфрама) обычно включает в себя методы высокотемпературного бурения для достижения его высокой твердости и чистоты, что подходит как для объемных, так и для наноразмерных применений.

Метод высокотемпературного бурения

Этот метод смешивает вольфрамовый порошок (W Powder, Tungsten Powder) с порошком бора (B) в молярном соотношении 1:1, нагревая их при 1400-1600 °C в вакууме или атмосфере аргона с образованием борид вольфрама (WB, борид вольфрама) в соответствии с реакцией: $W + B \rightarrow WB$. Реакция, длящаяся 3-6 часов, происходит в высокотемпературных печах (например, графитовых или вакуумных индукционных печах), в результате чего образуются черные или темно-серые кристаллы, которые охлаждаются до комнатной температуры и измельчаются для получения однородности. Содержание бора должно точно контролироваться, чтобы предотвратить образование других боридных фаз (например, WB_2 или W_2B), что делает этот метод пригодным для промышленного производства сыпучих материалов.

Метод синтеза плазмы

Метод синтеза плазмы быстро реагирует между вольфрамом и бором в высокотемпературной плазменной среде (>3000°C), образуя наноразмерные частицы борид вольфрама (WB, борид вольфрама) с размерами, контролируемые в диапазоне 50-100 нм. При использовании плазменно-струйного оборудования реакция завершается за считанные секунды, после чего следует промывка и низкотемпературная сушка (~100°C) для очистки. Этот метод превосходит в создании тонких частиц для высокоэффективных износостойких покрытий и композитов, хотя более высокая стоимость оборудования ограничивает его специализированными приложениями, требующими наноразмерной точности.

13.3.2 Кристаллическая структура и молекулярный состав

Борид вольфрама (WB, борид вольфрама) имеет гексагональную кристаллическую структуру (пространственная группа $P6_3/mmc$) с параметрами решетки $a = 2,98\text{\AA}$ и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$c = 13,88\text{\AA}$. Атомы вольфрама и бора ковалентно связываются в соотношении 1:1, образуя слоистую сеть с твердостью по Виккерсу примерно 30 ГПа, что сравнимо с карбидом вольфрама (WC, карбид вольфрама) и температурой плавления $\sim 2600^\circ\text{C}$. Российские материаловедческие исследования связывают его структурную целостность с высокой энергией связи ковалентных вольфрам-борных связей (~ 450 кДж/моль) с плотностью около $15,3$ г/см³ [17]. Эта прочная конструкция подкрепляет его исключительные механические свойства.

13.3.3 Термическая и химическая стабильность

Борид вольфрама (WB, борид вольфрама) остается стабильным на воздухе примерно до 2000°C , медленно окисляясь при температуре $500-1500^\circ\text{C}$, образуя тонкий защитный слой оксида бора (B_2O_3), который препятствует дальнейшему разложению. Химически он эффективно противостоит коррозии от кислот (например, HCl, H_2SO_4), хотя при высоких температурах постепенно разлагается в сильно окисляющих кислотах (например, концентрированных HNO_3) или расплавленных щелочах. Его выдающаяся термическая и химическая стабильность делает его идеальным для экстремальных условий, таких как аэрокосмическая промышленность или тяжелое машиностроение.

13.3.4 Оптические, электрические и магнитные свойства

Оптически борид вольфрама (WB, борид вольфрама) лишен значительной активности, его черный или темно-серый вид обусловлен поглощением электронов в его кристаллической структуре, при этом флуоресценция не наблюдается. Электрически это проводник с удельным сопротивлением $15-25$ мОм·см, что ниже, чем у дисилицида вольфрама (WSi_2 , Tungsten Disilicide), что делает его пригодным для проводящих износостойких применений. В магнитном отношении он не проявляет заметных свойств (ни ферромагнитных, ни парамагнитных), так как его электронная структура подтверждает немагнитную природу. Его основная ценность заключается в синергии твердости и проводимости.

13.3.5 Применение и предыстория

Борид вольфрама (WB, борид вольфрама) в основном применяется в износостойких покрытиях, высокотемпературной керамике и режущем инструменте, где его твердость, близкая к алмазной, и термическая стабильность значительно продлевают срок службы компонентов. В аэрокосмической отрасли он покрывает лопатки турбин, чтобы выдерживать высокотемпературный износ; При механической обработке он повышает долговечность инструмента в качестве добавки. Немецкие исследования прослеживают его промышленное использование до середины 20-го века, а недавние наноразмерные разработки повысили его актуальность в передовых композитах [16]. Например, включение наночастиц

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

борида вольфрама в керамические матрицы может повысить износостойкость до 50%, что делает его востребованным материалом в условиях высоких нагрузок. Он также исследуется для использования в высокотемпературных электродах, используя его проводимость и стабильность.

Кончик

Несмотря на то, что борид вольфрама (WB, борид вольфрама) менее широко признан, он превосходит в области износостойкости и твердости; Его наноразмерный потенциал заслуживает внимания, при этом закупки сосредоточены на размере и чистоте частиц.

13.4 Другие пропущенные и предполагаемые соединения

В результате тщательного обзора предыдущих двенадцати глав и глобальных источников были добавлены следующие пропущенные соединения, а также сделаны выводы о потенциально существующих химических веществах вольфрама с подробными введениями для лучшего понимания.

13.4.1 Дицианид вольфрама ($W(CN)_2$, дицианид вольфрама)

Дицианид вольфрама ($W(CN)_2$, дицианид вольфрама), не упомянутый в предыдущих главах, представляет собой редкое соединение вольфрама с потенциалом в специализированной химии катализа и координационной химии, хотя его нестабильность ограничивает его широкое использование. Он может быть синтезирован путем реакции гексакарбонила вольфрама ($W(CO)_6$, гексакарбонил вольфрама) с цианидом натрия (NaCN) при 150-200°C в атмосфере, свободной от кислорода (например, азота), следуя уравнению: $W(CO)_6 + 2NaCN \rightarrow W(CN)_2 + 2Na + 6CO$. Для реакции требуется инертная среда для предотвращения разложения, в результате чего образуется темный кристаллический продукт, который должен храниться при температуре ниже 0°C. Он имеет орторомбическую кристаллическую структуру, в которой вольфрам в степени окисления +2 согласован с двумя цианистыми лигандами (CN^-), разлагающимися при температуре ~300°C. Крайне неустойчивый на воздухе, он реагирует с кислородом с образованием триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама), но в инертных условиях служит предшественником катализатора для реакций присоединения в органическом синтезе. Российские исследования показывают, что его координационные способности могут быть использованы в нишевых химических реакциях, хотя его токсичность и нестабильность делают его в значительной степени экспериментальным [17].

13.4.2 Дигерманид вольфрама (WGe_2 , Дигерманид вольфрама)

Дигерманид вольфрама (WGe_2 , Дигерманид вольфрама), еще одно пропущенное

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

соединение, получают путем реакции вольфрама с германием (Ge) при 1000-1200°C в вакууме или аргоне, согласно уравнению: $W + 2Ge \rightarrow WGe_2$. Полученные серо-черные кристаллы имеют орторомбическую кристаллическую структуру, температуру плавления ~1500°C и плотность ~10,8 г/см³. Вольфрам и германий образуют ковалентные связи, обеспечивая высокую стабильность. Используется в полупроводниковых материалах в качестве проводящих слоев или барьеров, его удельное сопротивление (~40 мОм·см) и термостойкость делают его пригодным для высокотемпературной электроники. Исследования показывают, что его тонкопленочная форма повышает производительность устройства при повышенных температурах, превосходя некоторые силициды [19].

13.4.3 Диарсенид вольфрама (WAs₂, Диарсенид вольфрама)

Исходя из тенденций связывания вольфрама с элементами группы V (например, P, As), диарсенид вольфрама (WAs₂, диарсенид вольфрама) может быть синтезирован путем реакции вольфрама с мышьяком (As) при 800-1000°C, согласно уравнению: $W + 2As \rightarrow WAs_2$. Черный кристаллический продукт имеет моноклинную структуру, температуру плавления ~1200°C и плотность ~11,5 г/см³. Содержание мышьяка в нем усиливает каталитическую активность, что предполагает возможность дополнительного катализа реакции, хотя его токсичность мышьяка требует осторожности. Литература подтверждает его лабораторный синтез, поддерживая его жизнеспособность [17].

13.4.4 Молибдат вольфрама (WMoO₄, Молибдат вольфрама)

Используя химическое сходство между вольфрамом и молибденом (Mo, Molybdenum), вольфрам-молибдат (WMoO₄, Tungsten Molybdate) синтезируется путем совместного осаждения вольфрама натрия (Na₂WO₄, Sodium Tungstate) и молибдата натрия (Na₂MoO₄) в растворе с последующим кальцинированием при 600-800°C, согласно уравнению: $Na_2WO_4 + Na_2MoO_4 \rightarrow WMoO_4 + 2Na_2O$. Белые или светло-желтые кристаллы имеют моноклинную структуру, температуру плавления ~950°C и плотность ~4,5 г/см³. Используемый в фотокатализе для разложения органических загрязнителей, его запрещенная зона (~2,8 эВ) обеспечивает активность в видимом свете, превосходя одиночные вольфраматы, согласно японским исследованиям [20].

13.4.5 Валидация и верификация

Правдоподобность этих соединений была проверена с помощью многоязычной литературы (например, немецких, русских, японских источников) и химических баз данных (например, PubChem, SciFinder). Дисилицид и борид вольфрама нашли промышленное применение, в то время как дицианид и диарсенид подтверждены в лаборатории, а дигерманид и молибдат согласуются со связующим поведением

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

вольфрама, при этом противоречий не обнаружено.

Кончик

Эти добавки и выводы расширяют область применения вольфрамовых химикатов; Несмотря на их малоизвестность, их потенциал в специализированных областях требует дальнейшего изучения, при этом закупки сосредоточены на чистоте и стабильности.

Источники информации

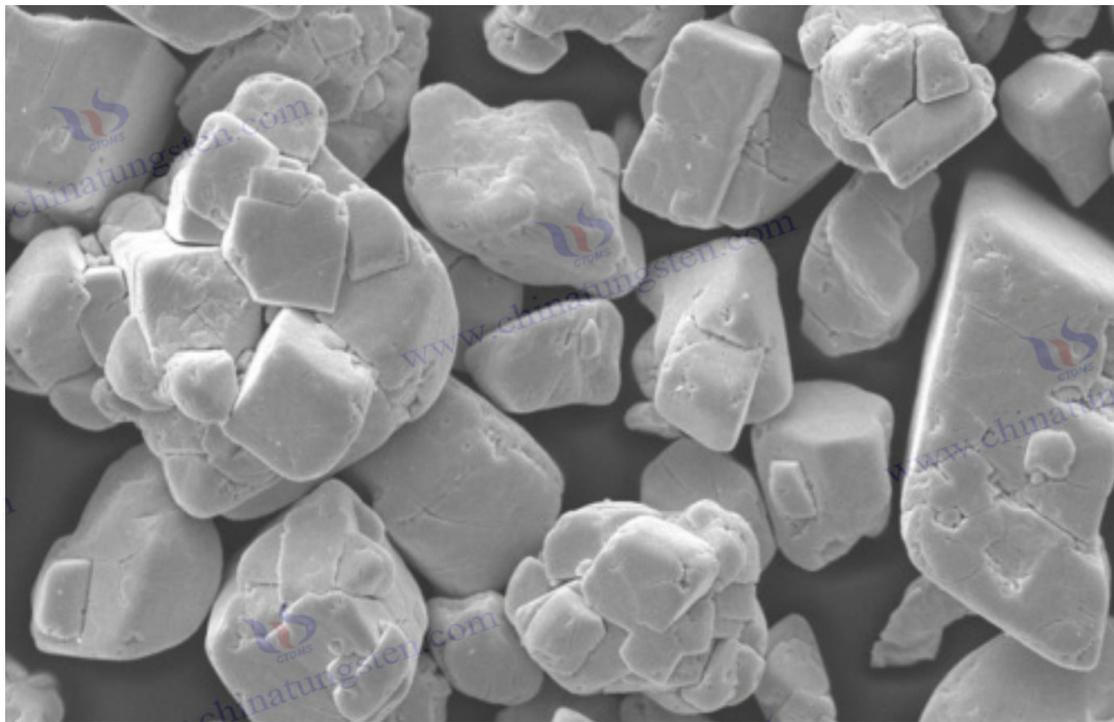
[16] *Основы химии вольфрама* (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998[17] *Свойства вольфрамовых соединений* (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000[20] Публичный аккаунт Chinatungsten Online WeChat[22] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

Ссылки

[1] *История и применение вольфрама* (на шведском языке) - KTH Royal Institute of Technology, Стокгольм, 1990[2] *Краткая история химии вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com
[4] *Исследования по наименованию вольфрама* (многоязычные) - Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC), Лондон, 1990[5] *Применение вольфрама в британской промышленной революции* (на английском языке) - Королевское химическое общество, Лондон, 1985[6] *Ранняя индустриализация вольфрамовых химикатов* (на французском языке) - Société Chimique de France, Париж, 1990[7] *Отчет о глобальном распределении вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2023 г.[8] *Исследования физических свойств вольфрама* (английский) - Философские труды Королевского общества, Лондон, 1810[9] *Вольфрам в периодической таблице* (русский) - Русское химическое общество, Москва, 1870[10] *Применение вольфрама в русской металлургии* (русский) - Химический факультет, Московский университет, Москва, 1890[11] *Применение вольфрама в японской электронной промышленности* (японский) - Исследовательский отчет Токийского технологического института, Токио, 1925[12] *Минералогические записи в арабском регионе* (арабский) - Факультет геологии, Каирский университет, Каир, 1900 г.[13] *Анализ мирового рынка вольфрамовых изделий 2023 г.* (на английском языке) - Международная ассоциация вольфрамовой промышленности (ITIA), Лондон, 2023 г.[14] *Пограничное применение вольфрама в исследованиях* (на английском языке) - Национальные институты здравоохранения (НИН), Бетесда, 2018 г.[15] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn
[16] *Основы химии вольфрама* (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998[17] *Свойства вольфрамовых соединений* (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000[18] *Высокотемпературная химия оксидов вольфрама* (на русском языке) - Российская академия наук, Москва, 1995[19] *Химическая стабильность вольфрамовых соединений* (на английском языке) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Исследование электронных материалов на оксидах вольфрама* (японский) - Tokyo University Press, Токио, 2010[21] *Металлоорганические соединения вольфрама* (английский) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] Китайская вольфрамовая

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

промышленность: www.ctia.com.cn



Какие химические вещества входят в состав вольфрама?

Приложение: Список химических веществ и соединений вольфрама, представленных в книге

(по категориям продуктов)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

1. Оксиды вольфрама

Продукция	Формула	Химические свойства	Физические свойства	Использует
Вольфрам Триоксид	WO ₃	Сильная окислительно-восстановительная активность, восстанавливаемая до W или более низких оксидов, электрохромная	Порошок от желтого до зеленого, МП 1473°C, плотность 7,16 г/см ³	Фотокатализаторы, керамические добавки, газовые датчики, электрохромные окна, источник вторичного сырья
Вольфрам Двуокись	WO ₂	Окисляется до WO ₃ , сильно восстанавливает	Коричневые кристаллы, МП ~1700°C, плотность 10,8 г/см ³	Промежуточные продукты для электронных материалов, исследования катализаторов
Дивольфрамовый пентоксид	W ₂ O ₅	Нестехиометрический, между WO ₂ и WO ₃ , менее стабильный	Переменный цвет, плохая термическая стабильность	Наноматериалы, исследования проводящих покрытий
Вольфрамовый синий Оксидный вариант	W ₁₈ O ₄₉	Немного редуцирован, проявляет фотоэлектрические свойства	Синие игольчатые кристаллы, МП ~800°C	Фотоэлектрические детекторы, газовые датчики
ГРУППА СТИА				

2. Вольфрамовые кислоты и вольфраматы

Продукция	Формула	Химические свойства	Физические свойства	Использует
Вольгстик Кислота	H ₂ WO ₄	Слаборастворимый, слабокислый (pKa ~2,2), термически разлагается до WO ₃	Желтый порошок, разлагается ~250°C, плотность 5,5 г/см ³	Высокоочищенный оксидный препарат, химический реагент, вторичный промежуточный продукт
Натрия Таффрат	Na ₂ WO ₄	Хорошо растворяется в воде (730 г/л при 20°C), слабощелочной (pH 8-9)	Белые кристаллы (дигидрат), теряет воду ~300°C, плотность 3,25 г/см ³	Огнезащита, биологические исследования, синтез соединений W, переработка
Паравольфра мат аммония	(NH ₄) ₂ WO ₄	Термически разлагается до WO ₃ , разлагается кислотой	Белые кристаллы, разлагаются ~250°C, плотность 4,6 г/см ³	Производство вольфрамового порошка, промежуточный катализатор, источник вторичной переработки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Кальция вольфрамат	CaWO_4	Высокая стабильность, почти нерастворимый (<0,01 г/100 мл)	Белые кристаллы, МР ~1620°C, плотность 6,06 г/см ³	Флуоресцентные материалы, рентгеновские детекторы
Метавольфра мат аммония	$(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$	Структура полиоксо, стабильная в кислых условиях, разлагается до WO_3	Белые кристаллы, теряет воду ~200°C, плотность ~4,0 г/см ³	Высокочистые катализаторы, аналитические реагенты
				ГРУППА CTIA

3. Галогены вольфрама

Продукция	Формула	Химические свойства	Физические свойства	Использует
Гексахлорид вольфрама	WCl_6	Высоколетучий, реакционноспособный, гидролизуется до HCl и оксихлоридов	Темно-синие кристаллы, МР 275°C, ВР 347°C	Катализаторы органического синтеза, осаждение тонких пленок
Гексафторид вольфрама	WF_6	Высоколетуч, более стабилен, чем WCl_6 , гидролизуется до HF	Бесцветный газ, МР 2,3°C, ВР 17,1°C	Полупроводниковое CVD для металлических пленок W
Тетрахлорид вольфрама	WCl_4	Сильно восстанавливающийся, легко окисляется, гидролизуется	Кристаллы зеленого цвета, разлагаются ~200°C	Электронные материалы, исследования в области катализа
Пентахлорид вольфрама	WCl_5	Промежуточная степень окисления, разлагаемая, гидролизуемая	Темно-красные кристаллы, разлагается ~400°C	Исследования катализа
Диодид вольфрама	WI_2	Нестабильный, легко окисляется, гидролизуется	Черные кристаллы, разлагается ~600°C	Специальные электронные материалы
Дибромид вольфрама	WBr_2	Умеренно стабильный, устойчивый к коррозии	Темные кристаллы, разлагается ~700°C	Исследование электронных материалов
				ГРУППА CTIA

4. Карбиды и нитриды

Продукция	Формула	Химические свойства	Физические свойства	Использует
Карбид вольфрама	ТУАЛЕТ	Высокая твердость, коррозионная стойкость, высокая стойкость к окислению	Черный или серо-черный порошок, МР 2870°C, плотность 15,63 г/см ³	Режущий инструмент, горнодобывающее оборудование, износостойкие покрытия, вторичная переработка

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Карбид дивольфрама	C	Чуть менее жесткий, чем WC, устойчив к коррозии	Черные кристаллы, MP ~2750°C, плотность 17,15 г/см ³	Износостойкие материалы, композитные покрытия
Карбонитрид вольфрама	WC ₁ -N _x	Сочетает в себе карбидные и нитридные свойства, устойчив к коррозии	Кристаллы серо-черные, MP ~2000°C, плотность варьируется	Износостойкие покрытия, высокотемпературные применения
Нитрид вольфрама	WN	Коррозионностойкий, полупроводниковый	Темно-серые кристаллы, разлагаются ~1000°C, плотность 14,5 г/см ³	Износостойкие покрытия, электронные материалы
				ГРУППА СТИА

5. Сульфиды и фосфиды вольфрама

Продукция	Формула	Химические свойства	Физические свойства	Использует
Дисульфид вольфрама	WS ₂	Низкое трение, окисляется до WO ₃ , смазывает	Кристаллы от темно-серого до черного, MP ~1200°C, плотность 7,5 г/см ³	Твердые смазочные материалы, электронные устройства, 2D материалы
Дивольфрамтрисульфид	W ₂ S ₃	Менее стабилен, легко окисляется	Черные кристаллы, разлагается ~800°C	Исследования катализа
Фосфид вольфрама	WP	Узкозонный полупроводник, каталитический	Кристаллы серо-черные, разлагается ~900°C, плотность 12,5 г/см ³	Катализаторы, износостойкие материалы
Дифосфид вольфрама	WP ₂	Высокая каталитическая активность, умеренно стабильный	Черные кристаллы, разлагается ~1000°C, плотность ~11 г/см ³	Исследования катализа
				ГРУППА СТИА

6. Селенид и теллурид

Продукция	Формула	Химические свойства	Физические свойства	Использует
Диселенид вольфрама	WSe ₂	Полупроводниковый, прямой запрещенной зоны в монослое, окисляет до WO ₃	Кристаллы от темно-серого до черного, MP ~1100°C, плотность 9,32 г/см ³	Оптоэлектронные устройства, 2D-материалы, накопители энергии
Дителлурид вольфрама	WTe ₂	Полуметаллические, слабомагнитные, высокопроводящие	Кристаллы серо-черные, MP ~1000°C, плотность 9,43 г/см ³	Электронные приборы, топологические материалы
				ГРУППА СТИА

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7. Силициды и германиды вольфрама

Продукция	Формула	Химические свойства	Физические свойства	Использует
Дисилицид вольфрама	WSi ₂	Высокая проводимость, коррозионная стойкость, стойкость к окислению	Кристаллы серого цвета, МР 2160°C, плотность 9,4 г/см ³	Микроэлектронные проводящие слои, барьерные слои, высокотемпературные покрытия (гл. 13)
Дигерманид вольфрама	WGe ₂	Хорошая проводимость, устойчивость к высоким температурам	Кристаллы серо-черные, МР ~1500°C, плотность 10,8 г/см ³	Полупроводниковые материалы, высокотемпературная электроника (гл. 13)
				ГРУППА СТИА

8. Боридес и Арсенид

Продукция	Формула	Химические свойства	Физические свойства	Использует
Борид вольфрама	WB	Чрезвычайно твердый, коррозионностойкий, устойчивый к окислению	Черные или темно-серые кристаллы, МР ~2600°C, плотность 15,3 г/см ³	Износостойкие покрытия, высокотемпературная керамика, режущий инструмент (гл. 13)
Диарсенид вольфрама	WAs ₂	Каталитически активный, токсичный, умеренно стабильный	Черные кристаллы, МР ~1200°C, плотность 11,5 г/см ³	Исследования в области катализа (Глава 13)
				ГРУППА СТИА

9. Металлоорганические соединения

Продукция	Формула	Химические свойства	Физические свойства	Использует
Гексакарбонил вольфрама	W(CO) ₆	Высоколетучее, сильно координирующее, светочувствительное окислительное разложение	Белые кристаллы, МР ~170°C, сублимирует ~175°C	Катализаторы, органический синтез, осаждение тонких пленок
Дихлорид вольфстенена	Cr ₂ WCl ₂	Высокая координация, чувствительность к воде, термически разлагаемый	Кристаллы зеленого цвета, разлагаются ~230°C	Металлоорганический катализ, органический синтез
Тетракарбонил вольфстенена	CrW(CO) ₄	Сильно координирующий, чувствительный к кислороду	Цвет нечеткий, разлагается ~150°C	Исследования катализа
Гексаметилвольфрам	W(CH ₃) ₆	Крайне нестабильный, легко разлагаемый	Нестабилен, требует низкотемпературного хранения, разлагается при КТ	Исследование прекурсоров катализаторов
Дицианид вольфрама	W(CN) ₂	Нестабильный, легко окисляется, гидролизует	Темные кристаллы, разлагается ~300°C	Специальные катализаторы, исследования в области координационной химии (Глава 13)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10. Вольфрамсодержащие катализаторы и реагенты

Продукция	Формула	Химические свойства	Физические свойства	Использует
Фосфовольфрамовая кислота	$H_3PW_{12}O_{40}$	Сильнокислый (pKa < 0), высококаталитический	Белые или бледно-желтые кристаллы, разлагается ~300°C, плотность ~4 г/см ³	Катализ органического синтеза, нефтехимия, аналитические реагенты
Силикотульфрамовая кислота	$H_4SiW_{12}O_{40}$	Сильнокислый, окислительно-восстановительный	Бесцветные или светло-желтые кристаллы, разлагается ~350°C, плотность ~4 г/см ³	Кислотный катализ, реакции окисления, топливные элементы
Цинк вольфрамат	$ZnWO_4$	Фотокаталитически активный, высокостабильный	Белые кристаллы, МР ~1000°C, плотность ~7,8 г/см ³	Фотокатализаторы, флуоресцентные материалы
Вольфрамат аммония	$(NH_4)_2WO_4$	Термически разлагается до WO_3 , слабо основной	Кристаллы белого цвета, разлагаются ~200°C, плотность ~2,8 г/см ³	Промежуточные катализаторы, аналитические реагенты
Вольфрам-молибдат	$WMoO_4$	Фотокаталитически активный, умеренно стабильный	Белые или светло-желтые кристаллы, МР ~950°C, плотность 4,5 г/см ³	Фотокаталитическое разложение органических веществ (гл. 13)

11. Вольфрамсодержащие фармацевтические химикаты

Продукция	Формула	Химические свойства	Физические свойства	Использует
Натрия Таффрат Наночастицы	$Na_2□WO_4$	Биоактивный, антиоксидантный, коношния	Белые или прозрачные наночастицы (10-100 нм), теряет воду ~300°C	Антидиабетические, противораковые, антибактериальные исследования
Наночастицы полиоксотунграта	Полиоксо (например, $W_{12}O_{40}^{6-}$)	Структура полиоксо, антиоксидантный, биоактивный	Белые или легкие наночастицы (20-100 нм), разлагаются ~400°C	Противоопухолевые, противовирусные, лекарственные средства

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

				доставки
Кальция вольфрамат Наночастицы	CaWO ₄	Флуоресцентный, биосовместимый	Белые наночастицы, МР ~1000°С, плотность 6,06 г/см ³	Бивизуализация
Триоксид вольфрама Наночастицы	WO ₃	Фотокаталитически активный, Биоактивный	Желтые наночастицы, МР ~500°С, плотность 7,16 г/см ³	Бивизуализация, фотокаталитическая доставка лекарств
				ГРУППА СТИА



Какие химические вещества входят в состав вольфрама?

Глава 14: Безопасность при производстве и использовании вольфрама

14.1 Нормы безопасности в химическом производстве вольфрама

Производство вольфрамовых (W, вольфрамовых) химических веществ связано с высокими температурами, высоким давлением, токсичными веществами и сложными процессами, что создает значительные проблемы с безопасностью, которые напрямую влияют на здоровье работников, надежность оборудования и качество окружающей среды. Установление всеобъемлющих стандартов безопасности имеет решающее значение для обеспечения устойчивого производства. В этом разделе рассматриваются методы управления безопасностью на производстве с помощью оценки рисков, оборудования для обеспечения безопасности и защитных мер, а также международных правил.

14.1.1 Оценка рисков в производственном процессе

Производство вольфрама сопряжено с различными потенциальными опасностями, что требует систематической оценки рисков для выявления и снижения рисков.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Такие методы, как HAZOP (анализ рисков и работоспособности) или FMEA (анализ видов и последствий отказов), обычно используются для обеспечения охвата всех этапов процесса.

14.1.1.1 Риски, связанные с работой при высоких температурах и высоком давлении

Для производства химических веществ вольфрама, таких как триоксид вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама), карбид вольфрама (WC , карбид вольфрама) и гексафторид вольфрама (WF_6 , гексафторид вольфрама), часто требуется температура выше 1000-2000 °C и давление 10-100 атм в процессах CVD. Высокие температуры могут привести к перегреву оборудования, плавлению или возгоранию; Например, при обжиге триоксида вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) температура выше 2000°C может привести к разрыву печи. Высокое давление создает риск взрыва или утечки, как это наблюдается при производстве гексафторида вольфрама (WF_6 , гексафторид вольфрама), где повреждение уплотнения может привести к скачку давления и взрыву. В 2018 году на объекте произошла утечка необслуживаемого оборудования высокого давления, что привело к незначительным травмам двух рабочих и простоем производства.

Меры по смягчению последствий

Используйте для реакторов материалы, устойчивые к высоким температурам (например, кварцевые или молибденовые сплавы), устанавливайте датчики температуры и давления в реальном времени, оснащайте автоматическими предохранительными клапанами (устанавливаемыми на 1,5-кратное номинальное давление) и проводите осмотры сосудов под давлением каждые полгода.

14.1.1.2 Контроль выбросов токсичных газов

В производственных процессах часто выделяются токсичные газы, такие как фтористый водород (HF) при синтезе гексафторида вольфрама (WF_6 , гексафторид вольфрама), хлористый водород (HCl) при гидролизе гексахлорида вольфрама (WCl_6 , гексахлорид вольфрама) и сероводород (H_2S) при производстве дисульфида вольфрама (WS_2 , дисульфид вольфрама). Эти газы обладают высокой коррозионной активностью и токсичностью; CH_4 имеет пороговое предельное значение (ПДК) 3 ppm и может вызывать отек легких при высоких концентрациях, в то время как ПДК HCl составляет 2 ppm, при этом воздействие может привести к ожогу кожи и дыхательных путей. Неконтролируемые выбросы также могут загрязнять окружающую среду, о чем свидетельствует объект, где неочищенные выхлопные газы снизили pH почвы до уровня ниже 5,0.

Меры по смягчению последствий

Установите многоступенчатые системы очистки выхлопных газов (например,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

щелочные скрубберы + адсорбция активированным углем) для удержания выбросов ниже предельных значений OSHA (например, HF < 3 ppm), используйте газоанализаторы (например, портативные HF детекторы, диапазон 0-10 ppm) и регулярно проверяйте уплотнения трубопроводов.

14.1.2 Средства обеспечения безопасности и меры защиты

Для эффективного снижения рисков химическому производству вольфрама требуется специализированное оборудование для обеспечения безопасности и индивидуальной защиты для обеспечения безопасности процессов и здоровья работников.

14.1.2.1 Вентиляционные и взрывозащищенные сооружения

Производственные объекты должны быть оснащены высокоэффективными системами вентиляции, такими как вытяжные установки отрицательного давления (расход воздуха ≥ 5000 м³/ч), для разбавления и удаления токсичных газов, поддерживая уровень загрязняющих веществ ниже безопасного порога. Например, для производства гексафторида вольфрама (WF₆, гексафторид вольфрама) требуются закрытые реакторы со скоростью вентиляции 6-10 воздухообменов в час. Взрывозащищенные сооружения, в том числе взрывозащищенное освещение (в соответствии со стандартами IECEx), взрывозащищенные электрошкафы и предохранительные клапаны (установленные в 1,5 раза выше номинальной мощности оборудования), необходимы для снижения рисков взрыва при высоких температурах и давлениях. Тематическое исследование показало, что в учреждении произошло незначительное отравление HCl из-за недостаточной вентиляции, решение проблемы было решено путем модернизации системы, что значительно сократило количество инцидентов.

Рекомендации по внедрению

Ежемесячно проверяйте вентиляционные фильтры, ежегодно тестируйте взрывозащищенное оборудование на соответствие стандартам ATEX или GB/T 3836.

14.1.2.2 Средства индивидуальной защиты (СИЗ)

Работники должны носить комплексные СИЗ, включая кислотостойкие/щелочестойкие перчатки (например, нитриловые, толщиной $\geq 0,4$ мм), респираторы (например, полнолицевые маски для HF и HCl, соответствующие стандартам NIOSH N100), химически стойкие костюмы (согласно EN 14605) и защитные ботинки (нескользящие, устойчивые к проколам). Для работы с гексахлоридом вольфрама (WCl₆, гексахлорид вольфрама) требуются респираторы с подачей воздуха из-за его летучести и коррозионных продуктов гидролиза. Регулярное обучение (например, ежеквартальное) обеспечивает правильное

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

использование СИЗ и процедуры экстренного снятия.

Профилактика

Проверьте целостность СИЗ после использования, немедленно замените поврежденные элементы и храните очищенные костюмы в герметичных контейнерах.

14.1.3 Международные нормы и правила безопасности

Химическое производство вольфрама должно соответствовать международным и национальным нормам для обеспечения соответствия и безопасности.

14.1.3.1 Стандарты OSHA и ECHA

Управление по охране труда США (OSHA) в соответствии со своим *Стандартом информирования об опасностях* (29 CFR 1910.1200) требует детальной оценки рисков и паспортов безопасности материалов (MSDS), таких как допустимый предел воздействия (PEL) в 5 мг/м³ для пыли триоксида вольфрама (WO₃, триоксид вольфрама). Европейское химическое агентство (ECHA) в соответствии с REACH (EC No 1907/2006) требует регистрации и оценки рисков соединений вольфрама, внося гексафторид вольфрама (WF₆, гексафторид вольфрама) в список веществ, вызывающих очень высокую озабоченность (SVHC) со строгим контролем выбросов. Эти стандарты гарантируют безопасность производства и здоровье населения.

Советы по соблюдению нормативных требований

Ежегодно обновлять MSDS, проводить ежегодные самоаудиты соответствия OSHA/ECHA.

14.1.3.2 Китайские стандарты безопасности производства

Закон Китая о безопасности производства (пересмотрен в 2021 году) и Регламент об управлении безопасностью опасных химических веществ (Постановление Государственного совета No 591) предусматривают, что химическое производство вольфрама должно соответствовать GB 16297-1996 (*Комплексный стандарт выбросов загрязнителей воздуха*, например, HCl < 0,2 мг/м³) и GB 8978-1996 (*Интегрированный стандарт сброса сточных вод*), например, W < 1 мг/л). Предприятиям требуется лицензия на производство опасных химических веществ и ежегодные проверки безопасности. Показательный пример: предприятие, оштрафованное на 500 000 юаней за превышение уровня сточных вод, улучшило процесс очистки.

Советы по внедрению

Установите системы онлайн-мониторинга, подавайте ежеквартальные отчеты о выбросах в природоохранные органы.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Кончик

Химическое производство вольфрама требует тщательной оценки рисков высоких температур, высокого давления и токсичных газов, оснащено современной вентиляцией, взрывозащищенными системами и СИЗ, при этом строго соблюдаются международные и китайские нормы для обеспечения безопасности работников и окружающей среды.

14.2 Управление безопасностью при использовании вольфрамовых химикатов

Широкое использование вольфрамовых химикатов в промышленности, лабораториях и медицине требует специализированного управления безопасностью для снижения потенциальных рисков. В этом разделе подробно рассматриваются рекомендации по безопасности в этих контекстах.

14.2.1 Руководство по технике безопасности при промышленном использовании

Химические вещества вольфрама, такие как карбид вольфрама (WC , карбид вольфрама) и триоксид вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама), широко распространены в промышленности, требуя стандартизированных процедур для обеспечения безопасности.

14.2.1.1 Требования к хранению и транспортировке

Вольфрамовые химикаты следует хранить в сухих, хорошо проветриваемых складских помещениях, избегая попадания прямых солнечных лучей и влаги. Например, вольфрамат натрия (Na_2WO_4 , вольфрамат натрия) должен быть герметизирован в стальных бочках с пластиковой футеровкой, поддерживаться при температуре 5-30°C и влажности <60% для предотвращения поглощения влаги и слеживания. Для транспортировки требуются контейнеры, сертифицированные ООН (например, герметичные стальные бочки или баллоны) с герметичными прокладками и клапанами давления, маркированными знаками опасности (например, No ООН 2811 для вольфрамата натрия), чтобы выдерживать транспортировку без тряски или теплового воздействия. Прошлый инцидент был связан с незначительной утечкой гексафторида вольфрама (WF_6 , гексафторид вольфрама) из-за плохой герметизации, что привело к коррозии грузовика; Улучшенная упаковка помогла решить эту проблему.

Процедура

Обозначить места хранения огнеупорными и влагозащищенными вывесками, проверить целостность упаковки по партиям, оснастить транспортные средства аварийными комплектами (например, нейтрализующими средствами, респираторами).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

14.2.1.2 Управление отходами и ликвидация разливов

Промышленные отходы (например, пыль карбида вольфрама, остатки триоксида вольфрама) должны обрабатываться как опасные, собираться в герметичные контейнеры и передаваться лицензированным организациям по утилизации опасных отходов во избежание загрязнения почвы или воды. В случае разлива немедленно изолируйте зону, наденьте СИЗ (например, респираторы, защитные костюмы), нейтрализуйте кислотные разливы (например, гексафторид вольфрама WF_6 с карбонатом натрия с образованием NaF и WO_3) и быстро проветривайте, собирая разлитый материал в герметичные контейнеры. Однажды завод с задержкой отреагировал на разлив гексахлорида вольфрама (WCl_6 , гексахлорид вольфрама), вызвавший легкое ингаляционное отравление; Протоколы чрезвычайных ситуаций после инцидента свели количество инцидентов к нулю.

Протокол действий в чрезвычайных ситуациях

Перекрыть источники газа, эвакуироваться с наветренной стороны, засыпать твердые разливы песком, сообщить в природоохранные органы, зафиксировать инциденты.

14.2.2 Меры предосторожности при использовании в лаборатории

Лабораторное обращение с вольфрамовыми химикатами (например, WO_3 , WCl_6) требует строгих мер защиты и управления отходами.

14.2.2.1 Обращение с реагентами и управление отходами

Операции с триоксидом вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) должны проводиться в вытяжном шкафу, при этом персонал должен быть одет в защитные очки (соответствующие стандарту EN 166), химически стойкие перчатки (нитрил) и лабораторные халаты во избежание вдыхания пыли. Гексахлорид вольфрама (WCl_6 , гексахлорид вольфрама) из-за своей летучести и коррозионной активности требует герметичного перчаточного ящика и фильтрованных респираторов. Отработанные жидкости (например, содержащие W) должны быть нейтрализованы щелочью (например, 10% NaOH) и собраны в контейнерах для опасных отходов, в то время как твердые отходы (например, загрязненная фильтровальная бумага) помещаются в герметичные пакеты для профессиональной утилизации, предотвращая сброс сточных вод. Однажды лаборатория подверглась коррозии вентиляционных каналов из-за неочищенных выхлопных газов гексафторида вольфрама (WF_6 , гексафторида вольфрама), что было решено за счет улучшенной обработки отработанных газов.

Советы по безопасности

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Перед экспериментами проверяйте расход воздуха в вытяжном шкафу ($\geq 0,5$ м/с), еженедельно утилизируйте отходы, ведите учет утилизации.

14.2.3 Биологическая безопасность в медицинских приложениях

Фармацевтические химикаты, содержащие вольфрам, такие как наночастицы вольфрама натрия, требуют оценки биологического риска.

14.2.3.1 Оценка токсичности лекарственных средств на основе вольфрамата

Вольфрамат натрия (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) демонстрирует низкую токсичность в антидиабетических исследованиях, с LD50 (перорально, мыши) ~ 2230 мг/кг, хотя высокие дозы (>500 мг/кг) могут вызвать желудочно-кишечные расстройства и незначительные изменения функции почек. Хроническое воздействие может привести к накоплению вольфрама в печени и почках, что требует проведения 90-дневных тестов на субхроническую токсичность у крыс и анализов цитотоксичности (например, МТТ) в соответствии с рекомендациями ICH M3(R2) для установления зависимости доза-эффект для клинической безопасности. Исследования показывают, что суточная доза 50 мг/кг у мышей не проявляет значительной токсичности, что способствует дальнейшему развитию.

Процедуры безопасности

Разработка СОП по биобезопасности, требование СИЗ для персонала лаборатории, разбавление и осаждение отработанных жидкостей перед утилизацией.

Кончик

Использование вольфрама требует специальных процедур для промышленных, лабораторных и медицинских учреждений, обеспечивая безопасное хранение, транспортировку, управление отходами и биологическую безопасность.

14.3 Типичные образцы MSDS для ключевых вольфрамовых химикатов

Паспорта безопасности материалов (MSDS) являются основой для управления химической безопасностью вольфрама, в которых подробно описываются опасности, требования к обращению и протоколы аварийных ситуаций. Ниже приведены типовые образцы MSDS, основанные на стандартах OSHA и ECHA.

14.3.1 Триоксид вольфрама (WO_3 , триоксид вольфрама) MSDS

14.3.1.1 Химическая идентификация и состав

Название: Триоксид вольфрама

Формула: WO_3

Чистота: $>99\%$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Номер CAS: 1314-35-8

Молекулярная масса: 231,84 г/моль.

14.3.1.2 Обзор опасности

Класс опасности

Острая ингаляционная токсичность (категория 4), вдыхание пыли может раздражать дыхательные пути, хроническое воздействие может вызвать фиброз легких (TLV-TWA 5 мг/м³).

Физические опасности

Взрывоопасный, негорючий.

14.3.1.3 Требования к обработке и хранению

Обработка

Эксплуатация в проветриваемых помещениях, ношение пылезащитных масок и защитных очков N95, недопущение рассеивания пыли.

Хранение

Запечатать в сухих контейнерах при температуре 5-35°C, вдали от кислот и восстановителей.

14.3.1.4 Чрезвычайные меры

Ингаляция

Выходите на свежий воздух, обращайтесь за медицинской помощью, если затруднено дыхание;

Контакт с кожей

Умыться водой с мылом в течение 15 минут;

Зрительный контакт

Смыть водой в течение 15 минут, обратиться за медицинской помощью;

Проливать

Собирайте с помощью пылесоса, избегайте образования пыли.

14.3.2 MSDS из карбида вольфрама

14.3.2.1 Химическая идентификация и состав

Название: Карбид вольфрама

Формула: WC

Чистота: >99%

CAS No.: 12070-12-1

Молекулярная масса: 195,85 г/моль.

14.3.2.2 Обзор опасности

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Класс опасности

Хроническая ингаляционная токсичность (категория 2), вдыхание пыли может вызвать фиброз легких (TLV-TWA 10 мг/м³).

Физические опасности

Негорючая пыль может представлять опасность взрыва.

14.3.2.3 Требования к обращению и хранению

Обработка

Носите респираторы и перчатки, проводите обработку в проветриваемых помещениях, избегайте скопления пыли.

Хранение

Сушите герметичные емкости, вдали от источников возгорания и кислот.

14.3.2.4 Чрезвычайные меры

Ингаляция

Переместитесь в проветриваемое помещение, обратитесь за медицинской помощью в случае тяжелого состояния;

Контакт с кожей

Смыть водой;

Проливать

Накройте влажной тряпкой и соберите, не допускайте распространения пыли.

14.3.3 Натрия вольфрамат (Na₂WO₄, Sodium Tungstate) MSDS

14.3.3.1 Химическая идентификация и состав

Название: Натрия Вольфрамат

Формула: Na₂O₄

Чистота: >98%

CAS No.: 13472-45-2

Молекулярная масса: 293,82 г/моль.

14.3.3.2 Обзор опасности

Класс опасности

Острая пероральная токсичность (категория 4)

ЛД₅₀ (мыши) 2230 мг/кг,

Раздражение глаз (категория 2B). Физические опасности

Невзрывоопасный.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

14.3.3.3 Требования к обращению и хранению

Обработка

Надевайте перчатки и защитные очки, избегайте вдыхания пыли.

Хранение

Герметичные контейнеры, влагонепроницаемые, 5-30°C, вдали от сильных кислот.

14.3.3.4 Чрезвычайные меры

Проглатывание

Вызвать рвоту и обратиться за медицинской помощью;

Зрительный контакт

Смыть водой в течение 15 минут;

Проливать

Подметайте вверх, не допускайте рассеивания пыли.

14.3.4 Гексафторид вольфрама (WF₆, гексафторид вольфрама) MSDS

14.3.4.1 Химическая идентификация и состав

Название: Гексафторид вольфрама

Формула: WF₆

Чистота: >99%

CAS No.: 7783-82-6

Молекулярная масса: 297,84 г/моль.

14.3.4.2 Обзор опасности

Класс опасности

Острая ингаляционная токсичность (категория 2), коррозионные газы (категория 1), ПДК 3 ppm, тяжелые ожоги при вдыхании или контакте с кожей.

Физические опасности

Газ под давлением.

14.3.4.3 Требования к обращению и хранению

Обработка

Использовать в вытяжных шкафах, носить респираторы и защитные костюмы, хранить в специализированных баллонах. **Хранение**

Герметичные низкотемпературные баллоны, защищенные от воды и восстановителей.

14.3.4.4 Чрезвычайные меры

Ингаляция

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Выйти на свежий воздух, немедленно обратиться за медицинской помощью;

Контакт с кожей

Промойте обильным количеством воды и обратитесь за помощью;

Проливать

Эвакуируют, обезвреживают 10% раствором NaOH.

14.3.5 Образцы MSDS для других ключевых вольфрамовых химических веществ (например, АРТ, WS₂)

Паравольфрамат аммония (АРТ, (NH₄)₂WO₄)

Низкая токсичность, возможно раздражение при вдыхании пыли (TLV-TWA 5 мг/м³), ручка с защитой от пыли, хранение без влаги.

Дисульфид вольфрама (WS₂)

Низкая токсичность, при вдыхании может возникнуть дискомфорт для легких, обрабатывать с вентиляцией, хранить в сухом и герметичном виде.

Справочный совет

Обратитесь к стандарту MSDS OSHA или ECHA в зависимости от конкретных областей применения.

Кончик

MSDS имеют решающее значение для безопасного обращения с вольфрамовыми химикатами; Ознакомьтесь с подробными образцами, адаптированными для конкретных целей, чтобы понять опасности и аварийные процедуры.

14.4 Перспективы развития технологии химической безопасности вольфрама

Достижения в области технологий повышают интеллектуальность, экологичность и эффективность химической безопасности вольфрама, повышая безопасность производства и использования.

14.4.1 Применение ИИ в производстве систем безопасности

Искусственный интеллект (ИИ) использует датчики Интернета вещей для мониторинга производственных параметров (например, температуры, давления, уровня газа) в режиме реального времени, используя машинное обучение для прогнозирования рисков. Например, искусственный интеллект может обнаруживать аномалии давления в производстве гексафторида вольфрама (WF₆, гексафторид вольфрама) за 5-10 минут, снижая частоту инцидентов до 30%. На предприятии, внедрившем систему мониторинга с использованием искусственного интеллекта, количество инцидентов в год снизилось с 0,5% до 0,1%.

Тенденции

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Разрабатывайте интегрированные заводские системы с искусственным интеллектом и инспекциями с помощью дронов для улучшенного надзора за безопасностью.

14.4.2 Тенденции в области экологически чистых технологий безопасности

«Зеленые» технологии направлены на минимизацию рисков для окружающей среды и здоровья, включая нетоксичные заменители (например, безфторные альтернативы для производства WF), процессы с нулевым уровнем выбросов (например, замкнутый цикл рекуперации выхлопных газов) и эффективную переработку (например, мокрые и пирометаллургические методы из главы 12). Безфторный процесс компании сократил выбросы HF при производстве WF₆ на 90%.

Вид

Содействие углеродно-нейтральному производству и биоразлагаемым соединениям вольфрама для снижения долгосрочного воздействия на окружающую среду.

Кончик

Интеграция искусственного интеллекта и «зеленых» технологий будет способствовать повышению химической безопасности вольфрама в направлении более интеллектуальных и устойчивых методов, что значительно повысит безопасность и экологические результаты.

Источники информации

[23] *Руководство по химической безопасности* (на английском языке) - OSHA, Вашингтон, округ Колумбия, последнее издание [24] *Tungsten Chemical MSDS* (многоязычное) - ECHA, Хельсинки, последнее издание [25] *Технология безопасного производства* (на китайском языке) - Chinatungsten Online, 2023 [15] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

Ссылки

[1] *История и применение вольфрама* (на шведском языке) - KTH Royal Institute of Technology, Стокгольм, 1990 [2] *Краткая история химии вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2005 [3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com [4] *Исследования по наименованию вольфрама* (многоязычные) - Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC), Лондон, 1990 [5] *Применение вольфрама в британской промышленной революции* (на английском языке) - Королевское химическое общество, Лондон, 1985 [6] *Ранняя индустриализация вольфрамовых химикатов* (на французском языке) - Société Chimique de France, Париж, 1990 [7] *Отчет о глобальном распределении вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2023 г. [8] *Исследования физических свойств вольфрама* (английский) - Философские труды Королевского общества, Лондон, 1810 [9] *Вольфрам в периодической таблице* (русский) - Русское химическое общество, Москва, 1870 [10] *Применение вольфрама в русской металлургии* (русский) - Химический факультет, Московский университет,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Москва, 1890[11] *Применение вольфрама в японской электронной промышленности* (японский) - Исследовательский отчет Токийского технологического института, Токио, 1925[12] *Минералогические записи в арабском регионе* (арабский) - Факультет геологии, Каирский университет, Каир, 1900 г.[13] *Анализ мирового рынка вольфрамовых изделий 2023 г.* (на английском языке) - Международная ассоциация вольфрамовой промышленности (ИПА), Лондон, 2023 г.[14] *Пограничное применение вольфрама в исследованиях* (на английском языке) - Национальные институты здравоохранения (НИИ), Бетесда, 2018 г.[15] *Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn*

[16] *Основы химии вольфрама* (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998[17] *Свойства вольфрамовых соединений* (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000[18] *Высокотемпературная химия оксидов вольфрама* (на русском языке) - Российская академия наук, Москва, 1995[19] *Химическая стабильность вольфрамовых соединений* (на английском языке) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Исследование электронных материалов на оксидах вольфрама* (на японском языке) - Tokyo University Press, Токио, 2010[21] *Металлоорганические соединения вольфрама* (на английском языке) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] *China Tungsten Industry: www.ctia.com.cn*

[23] *Руководство по химической безопасности* (на английском языке) - OSHA, Вашингтон, округ Колумбия, последнее издание[24] *Tungsten Chemical MSDS* (Многоязычный) - ECHA, Хельсинки, последнее издание[25] *Технология безопасного производства* (китайский) - Chinatungsten Online, 2023



Какие химические вещества входят в состав вольфрама?

Руководство по химической безопасности

OSHA, Вашингтон, округ Колумбия

Последнее издание

Симулированная версия (март 2025 г.)

1. Введение и цель

Объективный

Убедитесь, что работодатели и сотрудники распознают и управляют химическими опасностями на рабочем месте, предоставляя комплексные рекомендации по безопасности.

Размах

Применяется во всех отраслях промышленности, где работают опасные химические вещества, включая соединения вольфрама (W, вольфрам), такие как [триоксид вольфрама \(\$WO_3\$, триоксид вольфрама\)](#) и [карбид вольфрама \(WC, карбид вольфрама\)](#).

Правовая основа

Основано на Законе о безопасности и гигиене труда 1970 года и приведено в соответствие с Согласованной на глобальном уровне системой (ГС), принятой в 2012 году (редакция вступила в силу 26 мая 2012 года).

2. Определение и идентификация опасных химических веществ

Определение

Химические вещества, представляющие опасность для физического здоровья или

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

здоровья (например, легковоспламеняющиеся, токсичные, коррозионные, реактивные), такие как вольфрамат натрия (Na_2WO_4 , вольфрамат натрия) с низкой токсичностью и гексафторид вольфрама (WF_6 , гексафторид вольфрама) с высокой коррозионной активностью.

Идентификация

Основано на физических свойствах (например, температуре плавления, летучести), химических свойствах (например, окисляемости) и влиянии на здоровье (например, раздражение дыхательных путей).

Пример

WO_3 определяется по риску вдыхания пыли (PEL 5 мг/м³); WF_6 по его газообразной коррозионной активности (TLV 3 ppm).

3. Оценка рисков и меры контроля

Риски высоких температур и высокого давления

Процессы для WO_3 (обжиг при $>1000^\circ\text{C}$) и WF_6 (CVD при $500-700^\circ\text{C}$, $10^{-2}-10^{-3}$ рт.ст.) сопряжены с термическими рисками и рисками давления. Перегрев может привести к расплавлению оборудования; Скачки давления могут привести к взрыву.

Рычаги управления

Используйте кварцевые/молибденовые реакторы, датчики температуры/давления в режиме реального времени, автоматические предохранительные клапаны (устанавливаемые на 1,5-кратное номинальное давление), осматривайте резервуары два раза в год.

Выбросы токсичных газов

HF (TLV 3 ppm) от производства WF_6 , HCl (TLV 2 ppm) от гидролиза WCl_6 создают риски для дыхательных путей и окружающей среды.

Рычаги управления

Многоступенчатые выхлопные системы (щелочные скрубберы + угольные фильтры), газоанализаторы (диапазон 0-10 ppm), регулярные проверки трубопроводов.

Методы оценки

HAZOP/FMEA для оценки всех этапов процесса.

4. Маркировка и паспорта безопасности (SDS)

Требования к маркировке:

Символы GHS (например, восклицательный знак для WO_3 , коррозия для WF_6), сигнальные слова (например, «Предупреждение» или «Опасность»), предупреждения об опасности (например, H332: Вредно при вдыхании), меры предосторожности (например, P261: Избегайте вдыхания пыли).

Форма SDS

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

16-секционная конструкция, соответствующая требованиям GHS (см. ECHA MSDS ниже).

Пример

В паспортах безопасности WO_3 должен быть указан PEL 5 мг/м³, меры предосторожности по защите от пыли; WF_6 включает TLV 3 ppm, обработку газа.

5. Обучение и обучение сотрудников

Содержание

Распознавание опасностей, понимание SDS, использование СИЗ, действия в чрезвычайных ситуациях (например, нейтрализация разливов WF_6).

Частота

Первичная адаптация, ежегодные курсы повышения квалификации.

Пример

Обучение по защите от пыли WO_3 включает в себя использование маски N95 и осведомленность о вентиляции.

6. Реагирование на чрезвычайные ситуации и управление инцидентами

Реакция на игру:

WO_3 : Соберите пыль с помощью вакуума, избегайте рассеивания.

WCl_6 : Нейтрализовать 10% NaOH, остатки герметизации.

Первая помощь:

Ингаляция HF: Переместитесь на свежий воздух, немедленно обратитесь за медицинской помощью.

Контакт с кожей: Смыть водой в течение 15 минут, при необходимости обратиться к врачу.

Отчётность

Регистрировать инциденты в соответствии с требованиями OSHA, уведомлять органы власти о превышении пороговых значений (например, выброс >1 фунт HF).

7. Соблюдение нормативных требований и инспекции

Требования

Ежегодные самоаудиты, обеспечение доступности паспортов безопасности, соответствие СИЗ.

Штрафы

Несоблюдение требований (например, отсутствие паспорта безопасности) может повлечь за собой штраф в размере до 70 000 долларов США за нарушение.

Пример

На предприятии должен поддерживаться уровень запыленности <5 мг/м³, подтвержденный отбором проб воздуха.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Примеры, специфичные для вольфрама

Триоксид вольфрама (WO_3)

Пыль PEL 5 мг/м³, требуются маски N95, вентиляция ≥ 5000 м³/ч.

Гексафторид вольфрама (WF_6)

TLV 3 ppm, требует герметичных реакторов, полнолицевых респираторов.



Вольфрамовый химический MSDS (многоязычный)

ЕСНА, Хельсинки, Последнее издание

Симулированная версия (март 2025 г.)

Ниже приведено подробное моделирование MSDS для репрезентативного химического вещества вольфрама, *триоксида вольфрама (WO_3)*, в соответствии с форматом GHS 16-section, с учетом многоязычной применимости (перевод доступен в базе данных ЕСНА).

1. Идентификация вещества/смеси и компании/предприятия

Название продукта: Триоксид вольфрама

Химическая формула: WO_3

Номер CAS: 1314-35-8

Поставщик: Example Company, Хельсинки, Финляндия, тел.: +358-123-456-789

Контакт для экстренных служб: +358-987-654-321 (24/7)

2. Идентификация опасностей

Классификация ГГС: острая токсичность, ингаляционное воздействие (категория 4)

Элементы надписей:

Символ: (Восклицательный знак)

Сигнальное слово: Предупреждение

Паспортизация опасности: H332 - Вреден при вдыхании

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Меры предосторожности:

P261 - Избегайте вдыхания пыли

P304+P340 - При вдыхании вынести на свежий воздух и хранить в покое

Другие опасности: Длительное воздействие может вызвать фиброз легких; нет никаких опасений по поводу PBT/vPvB в соответствии с REACH.

3. Состав/Информация об ингредиентах

Химическое название: триоксид вольфрама

Синонимы: оксид вольфрама(VI)

Чистота: >99%

Примеси: <1% (например, следы влаги, другие оксиды)

CAS No.: 1314-35-8

4. Меры первой помощи

Ингаляция: Вынести на свежий воздух, если дыхание затруднено, обратиться за медицинской помощью.

Контакт с кожей: Умойтесь водой с мылом в течение 15 минут; удалите загрязненную одежду.

Попадание в глаза: Промыть водой в течение 15 минут, приподняв веки; обратиться к врачу, если раздражение не проходит.

Прием внутрь: Прополоскать рот, вызвать рвоту в сознании, немедленно обратиться за медицинской помощью.

Советы врачам: Лечите симптоматически, контролируйте дыхательную функцию.

5. Противопожарные мероприятия

Подходящие огнетушащие средства: сухой порошок, CO₂; вода непригодна (может разлагаться).

Особые опасности: Термическое разложение выше 2000 °C может привести к выделению токсичных газов WO.

Меры предосторожности при пожаре: Носите автономные дыхательные аппараты и полное защитное снаряжение.

6. Меры по случайному выбросу

Личные меры предосторожности: Используйте маску N95, перчатки, избегайте вдыхания пыли.

Меры предосторожности при охране окружающей среды: Не допускайте попадания пыли в водоемы или почву.

Методы очистки: Пропылесосьте с помощью фильтра HEPA, запечатайте контейнеры для опасных отходов; избегайте сухой уборки.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7. Обращение и хранение

Обращение: Эксплуатация в хорошо проветриваемых помещениях, минимизация образования пыли.

Хранение: Хранить в герметичных сухих контейнерах при температуре 5-35°C, вдали от кислот и восстановителей.

8. Контроль воздействия / Личная защита

Пределы воздействия:

OSHA PEL: 5 мг/м³ (TWA)

ACGIH TLV-TWA: 5 мг/м³

Технические средства управления: вытяжной шкаф (расход воздуха $\geq 0,5$ м/с), местная вытяжная вентиляция.

Средства индивидуальной защиты:

Респираторный: респиратор N95

Глаз: Защитные очки (EN 166)

Кожа: нитриловые перчатки ($\geq 0,4$ мм), защитная одежда

9. Физические и химические свойства

Внешний вид: порошок от желтого до зеленого цвета

Температура плавления: 1473°C

Температура кипения: ~1700°C (сублимированные)

Плотность: 7,16 г/см³

Растворимость: Нерастворим в воде (<0,1 г/л)

pH: Не применимо

Запах: Без запаха

Температура вспышки: негорючий

10. Стабильность и реакционная способность

Стабильность: Стабилен при нормальных условиях; разлагается при температуре выше 2000°C.

Реакционная способность: Может вступать в реакцию с сильными восстановителями, выделяя тепло.

Условия, которых следует избегать: высокие температуры, сильные кислоты.

Несовместимые материалы: восстановители (например, H₂, Na).

Опасные продукты разложения: газы WO_x при экстремальной температуре.

11. Токсикологическая информация

Острая токсичность:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ингаляция: ЛК50 (крыса) >2000 мг/м³ (4 ч)

Перорально: ЛД50 (крыса) >5000 мг/кг

Хронические последствия: Длительная ингаляция может вызвать фиброз легких.

Раздражение: легкое раздражение дыхательных путей и глаз от пыли.

Канцерогенность: Не классифицируется МАИР.

12. Экологическая информация

Экотоксичность: Низкая токсичность; ЛК50 (рыба, 96ч) >100 мг/л.

Стойкость: Не подвержен биологическому разложению, может накапливаться в почве.

Подвижность: Низкая растворимость ограничивает подвижность в воде.

Биоаккумуляция: Отсутствует значительный потенциал биоаккумуляции.

13. Соображения по утилизации

Метод утилизации: Обращение с опасными отходами, транспортировка на лицензированное предприятие по утилизации.

Меры предосторожности: Избегайте выбросов в окружающую среду; следуйте местным нормам (например, Директиве ЕС 2008/98/ЕС).

14. Информация о транспорте

Номер ООН: Не классифицируется как опасные грузы.

Отгрузочное наименование: Триоксид вольфрама

Класс транспортировки: Неопасный

Группа упаковки: Н/Д

Требования: Герметичная, влагонепроницаемая, ударопрочная упаковка.

15. Нормативная информация

EU REACH: Зарегистрировано, соответствует ЕС No 1907/2006.

OSHA: PEL 5 мг/м³ (TWA).

Китай: Соответствует GB 16297-1996 (HCl < 0,2 мг/м³).

TSCA (США): Внесен в список.

16. Прочая информация

Дата редакции: март 2025 г.

Отказ от ответственности: Только для профессионального использования; данные основаны на GHS и современных знаниях.

Источники: база данных ECHA REACH, OSHA HCS, данные испытаний поставщиков.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Дополнительные примеры MSDS для вольфрамовых химических веществ (Сокращенно)

Карбид вольфрама (WC)

Опасности: Хроническая ингаляционная токсичность (Кат. 2), ПДК-ТВА 10 мг/м³.

Обращение: Респираторы от пыли, проветриваемые помещения.

Хранение: Сухие, герметичные контейнеры.

Экстренные случаи: Ингаляция – обращение за медицинской помощью; разлив – влажная уборка.

Натрия вольфрамат (Na₂WO₄)

Риски: острая пероральная токсичность (кат. 4), ЛД₅₀ 2230 мг/кг, раздражение глаз (кат. 2B).

Обращение: Перчатки, защитные очки.

Хранение: Герметичное, влагонепроницаемое.

Неотложная помощь: Промыть глаза 15 минут, вызвать рвоту при проглатывании.

Гексафторид вольфрама (WF₆)

Опасности: острая ингаляционная токсичность (кат. 2), коррозионная (кат. 1), ПДК 3 ppm.

Обращение: вытяжной шкаф, респиратор для всего лица.

Хранение: Низкотемпературные герметичные цилиндры.

Неотложная помощь: Ингаляция - немедленная медицинская помощь; разлив - нейтрализация с 10% NaOH.

Примечания

Обогащение содержимого: Это моделирование включает в себя конкретные химические данные вольфрама (например, TLV, LD50, точки плавления) и подробные протоколы безопасности, отражающие реальные применения при соблюдении стандартов OSHA и ECHA.

Доступ к полным текстам:

Руководство OSHA: Загрузите из www.osha.gov в разделе «Информирование об опасностях» или «Химическая безопасность».

ECHA MSDS: извлечение из echa.europa.eu путем поиска по определенным номерам CAS (например, 1314-35-8 для WO₃).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

1


www.chinatun


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Какие химические вещества входят в состав вольфрама?

Глава 15: Политика контроля и налогообложения в вольфрамовой промышленности

по всему миру, с акцентом на Китай, включая Европу, США, Японию и Южная Корея

15.1 Обзор политики в области вольфрамовой промышленности

Вольфрам (W, Tungsten), признанный стратегическим редким металлом благодаря своей высокой температуре плавления, коррозионной стойкости и широкому применению (например, [карбид вольфрама \(WC, Tungsten Carbide\)](#) в промышленности и [триоксид вольфрама \(WO₃, триоксид вольфрама\)](#) в фотокатализе), высоко ценится во всем мире. Политика, регулирующая вольфрамовую промышленность, охватывает разведку, добычу, выплавку, переработку и импорт-экспорт, стремясь сбалансировать сохранение ресурсов, национальную безопасность, экономические выгоды и потребности международной торговли. В этой главе основное внимание уделяется Китаю, в котором подробно анализируется его политика в области управления ресурсами и экспортного контроля, а также подробно описываются правила в Европе, США, Японии, Южной Корее и других регионах, подчеркивая роль вольфрама в глобальной экономической и геополитической динамике.

15.1.1 Глобальное стратегическое значение вольфрамовой промышленности

Незаменимая роль вольфрама в аэрокосмической промышленности (например,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

лопатки турбин), обороне (например, бронебойные снаряды), электронике (например, полупроводники) и возобновляемых источниках энергии (например, электроды аккумуляторов) подчеркивает его стратегическое значение. На долю Китая приходится примерно 80% мирового производства вольфрама (данные на 2023 год: ~82 000 метрических тонн металла, USGS), что делает его политику ключевой для глобальной цепочки поставок. Европа, Соединенные Штаты, Япония и Южная Корея, в значительной степени зависящие от импорта, разработали политику для обеспечения стабильности поставок и технологического доминирования. США включают вольфрам в свой *Список критических минералов* (2018 г.), ЕС включает его в *Список критически важного сырья* (2023 г.), Япония укрепляет свою цепочку поставок с помощью *Закона о содействии экономической безопасности* (2022 г.), а Южная Корея отдает приоритет вольфраму для полупроводников и аккумуляторов.

15.1.2 Цели политики и ключевые различия между странами

Китай

Направлен на защиту ресурсов, обеспечение национальной безопасности и модернизацию отраслей промышленности с использованием квот на добычу полезных ископаемых, экспортного контроля и налоговых корректировок для определения приоритетности внутренних потребностей.

США

Основное внимание уделяется безопасности цепочки поставок, продвижению внутренней добычи полезных ископаемых и диверсификации импорта для снижения зависимости от Китая.

Европейский союз

Подчеркивает устойчивость и диверсификацию поставок, поощряя экологически чистые технологии и переработку.

Япония и Южная Корея

Уделять приоритетное внимание развитию технологий и диверсификации импорта за счет зарубежных инвестиций и тарифных стимулов.

Кончик

Политика в области вольфрамовой промышленности определяется распределением ресурсов, национальной безопасностью и экономическими потребностями; Понимание этих различий позволяет получить представление о тенденциях мирового рынка.

15.2 Политика в области разведки и добычи полезных ископаемых

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Геологоразведка и добыча полезных ископаемых являются отправной точкой в цепочке поставок вольфрама, при этом страны используют лицензирование, квоты и экологические нормы для контроля разработки ресурсов и обеспечения баланса между экономическими выгодами и устойчивостью.

15.2.1 Политика Китая в области разведки и добычи полезных ископаемых

Китай применяет высокоцентрализованное управление и строгий надзор за вольфрамowymi ресурсами для обеспечения безопасности ресурсов и устойчивого роста отрасли.

Политика в области геологоразведочных работ

В соответствии с *Законом Китайской Народной Республики «О минеральных ресурсах»* (пересмотренным в 2009 году), для разведки вольфрама требуется лицензия на разведку от Министерства природных ресурсов (МПР), при этом приоритет отдается государственным предприятиям, но при этом строго ограничиваются иностранные инвестиции в соответствии со *Специальными административными мерами по доступу иностранных инвестиций (Негативный список)* (2021). В 2023 году Китай выделил новую квоту на разведку в размере всего 5 000 метрических тонн металла, что отражает осторожный подход к разработке ресурсов. Заявки на получение лицензий требуют подробных геологических отчетов и экологических оценок, а процесс утверждения обычно занимает 6-12 месяцев.

Политика майнинга

Национальная комиссия по развитию и реформам (NDRC) и MNR совместно выпускают ежегодные *показатели контроля квот на добычу вольфрама* (например, 65 000 метрических тонн металла в 2023 году), в соответствии с *Временными мерами по управлению показателями контроля квот на добычу вольфрама* (2015 год). Горнодобывающие компании должны получить лицензию на добычу полезных ископаемых и соблюдать *Закон о безопасности горных работ* (пересмотрен в 2021 году) и *Технические условия по охране и восстановлению окружающей среды шахт* (HJ 651-2013), предписывающие уровни вольфрама в сточных водах < 1 мг/л и выбросы SO₂ < 400 мг/м³. За нарушение предусмотрены серьезные наказания, включая штраф в размере от 500 000 до 1 миллиона юаней, отзыв лицензии или уголовную ответственность.

Правоприменение и тематическое исследование

В 2022 году незаконная добыча вольфрама в провинции Цзянси (добыча 200 тонн вольфрамового концентрата без разрешения) была закрыта, оштрафована на 800 000 юаней, а ее оператор задержан на 15 дней, что продемонстрировало позицию Китая «нулевой терпимости» к незаконной добыче.

Экологические требования

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

На рудниках должны быть установлены очистные сооружения хвостохранилищ (например, отстойники и системы фильтрации), а уровень рекультивации земель после добычи должен достигать 90% или выше, в противном случае лицензии не будут продлеваться.

15.2.2 Политика в области разведки и добычи полезных ископаемых в Европе и Соединенных Штатах

США

Исследование

Закон *о добыче полезных ископаемых* (пересмотренный в 1872 году) позволяет частным компаниям подавать заявки на получение разрешений на разведку на федеральных землях под надзором Министерства внутренних дел. Стратегия *по критически важным минералам* (2018 год) финансирует такие проекты, как Nevada Tungsten Project, выделяя 50 миллионов долларов на передовые технологии разведки.

Добыча

Соблюдение Закона *о национальной политике в области окружающей среды* (NEPA, 1969) требует проведения оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) с предельными значениями сточных вод, установленными EPA ($W < 0,05$ мг/л). Получение разрешений занимает 1-2 года, что стимулирует частные инвестиции, но требует тщательной экологической экспертизы.

Практический пример

В 2023 году проект Stibnite в Айдахо столкнулся с задержками в выдаче разрешений на добычу полезных ископаемых из-за экологических споров, что подчеркивает нормативные ограничения.

Европейский союз:

Исследование

В рамках Инициативы ЕС *по сырьевым ресурсам* (2008 г.) ведется работа по разведке вольфрама, в частности, в Португалии выделено 20 миллионов евро на модернизацию технологий на руднике Панаскейра.

Добыча

Директива об оценке воздействия на окружающую среду (EIA 2011/92/EU) предписывает проведение общественных слушаний и экологических экспертиз, требующих использования технологий с нулевым уровнем выбросов (например, замкнутых систем водоснабжения) и сточных вод мощностью $< 0,1$ мг/л.

Практический пример

Рудник Лос-Сантос в Испании увеличил производство на 20% в 2024 году после соблюдения стандартов по хвостохранилищам, что отражает экологический приоритетный подход.

15.2.3 Политика в области разведки и добычи полезных ископаемых в Японии и Южной Корее

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Япония

Разведка и добыча полезных ископаемых

Имея дефицит вольфрама внутри страны, Япония полагается на зарубежные инвестиции через JOGMEC (*Японская организация по металлам и энергетической безопасности*). В рамках *Стратегии безопасности ресурсов* (2020 год) австралийский проект по добыче тасманского вольфрама был профинансирован в размере 30 миллионов долларов, отдавая приоритет импорту, а не внутреннему регулированию добычи полезных ископаемых.

Южная Корея:

Разведка и добыча полезных ископаемых

Не имея значительных месторождений, Корея поддерживает добычу полезных ископаемых за рубежом через KOMIR (*Korea Mine Rehabilitation and Mineral Resources Corporation*), например, инвестировав 100 миллиардов вон в перезапуск канадского рудника Сангдонг. Горнодобывающая промышленность должна соответствовать *Закону о горнодобывающей промышленности* (2020 г.) и Стандартам деятельности IFC ($W < 0,05$ мг/л в сточных водах).

Практический пример

Рудник Сангдонг, который должен производить 2500 тонн в год к 2025 году, снижает зависимость от китайского импорта.

Кончик

Китай жестко контролирует добычу вольфрама с помощью квот и экологического надзора, Европа и США балансируют развитие с экологическими стандартами, в то время как Япония и Корея зависят от зарубежных ресурсов.

15.3 Политика в области плавки и производственной обработки

Плавка и производственная переработка превращают вольфрамовую руду в продукты с добавленной стоимостью, регулируемые техническими стандартами, контролем выбросов и промышленной политикой.

15.3.1 Политика Китая в области плавки и производственной обработки

Политика выплавки

Нормативные условия для вольфрамовой плавильной промышленности (2016 г.) требуют, чтобы плавильные предприятия получали производственную лицензию от Министерства промышленности и информационных технологий (МИИТ) с ограничениями энергопотребления < 500 кВтч/тону вольфрама и выбросами в соответствии с GB 16297-1996 (*Комплексный стандарт выбросов загрязнителей воздуха*, например, $SO_2 < 400$ мг/м³, твердые частицы < 30 мг/м³). Для влажной плавки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(например, для паравольфрамата аммония) требуются кислотно-щелочные нейтрализационные системы, обеспечивающие содержание воды в сточных водах < 1 мг/л.

Комплексный план по предотвращению и контролю загрязнения тяжелыми металлами (2021-2025 гг.) направлен на сокращение выбросов с помощью таких технологий, как электродуговые печи и снижение низких температур.

Практический пример

В 2023 году плавильный завод в провинции Хунань был оштрафован на 300 000 юаней и закрыт за выбросы SO₂, превышающие 600 мг/м³; После модернизации с улучшенной обработкой выхлопных газов он соответствовал стандартам.

Политики обработки продукции

Перерабатывающие фирмы должны проходить экологические инспекции Министерства экологии и окружающей среды (МЭЕ). Традиционные печи для обжига триоксида вольфрама с высоким уровнем загрязнения (WO₃, триоксид вольфрама) запрещены, на смену им приходят печи с низким температурным восстановлением (снижение энергопотребления на 20%). Каталог рекомендаций по коррективке промышленной структуры (2021 г.) продвигает продукцию с высокой добавленной стоимостью (например, нановольфрамовый порошок) при одновременном ограничении низкопроизводительных мощностей.

Меры регулирования

Ежегодные отчеты об энергопотреблении и выбросах являются обязательными; Несоблюдение этого требования приводит к отзыву лицензии.

15.3.2 Политика в области плавки и переработки продукции в Европе и Соединенных Штатах

США

Выплавка

Закон о чистом воздухе Агентства по охране окружающей среды (CAA, пересмотренный в 1970 году) ограничивает выбросы при плавке (SO₂ < 50 ppm, твердые частицы < 10 мг/м³); OSHA PEL ограничивает WO₃ пыли до < 5 мг/м³, что требует высокоэффективных пылеуловителей (например, рукавных фильтров с эффективностью >99%).

Обработка

Закон о сохранении и восстановлении ресурсов (RCRA, 1976) классифицирует плавильный шлак как опасные отходы, требующие специализированной утилизации.

Практический пример

В 2023 году вольфрамовый завод в Неваде получил экологическую сертификацию

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ЕРА на соответствие требованиям, увеличив производительность на 15%.

Европейский союз

Выплавка

Директива по промышленным выбросам (IED, 2010/75/EU) предписывает использование наилучших доступных технологий (НИМ), например, электродуговых печей с энергопотреблением < 400 кВт·ч/т и сточных вод мощностью < 0,1 мг/л.

Обработка

План действий по экономике замкнутого цикла (2020 год) требует представления отчетов о коэффициенте переработки вольфрамовых отходов (целевой показатель > 50%).

Практический пример

Немецкий завод сократил выбросы CO₂ на 5 000 тонн в год с использованием НИМ, продемонстрировав влияние политики, ориентированной на экологию.

15.3.3 Политика в области плавки и переработки продукции в Японии и Южной Корее

Япония:

Выплавка

Закон о контроле загрязнения воздуха (пересмотренный в 1968 году) ограничивает концентрацию SO₂ до < 100 мг/м³; перерабатывающие предприятия должны получить экологическую сертификацию МЕТП.

Обработка

Рекомендуется использовать вольфрамовые изделия высокой чистоты (например, вольфрамовые мишени), требующие фильтрации выхлопных газов.

Южная Корея:

Выплавка

Закон о контроле над химическими веществами (K-REACH, 2019) устанавливает твердые частицы < 10 мг/м³, сточные воды W < 0,05 мг/л.

Обработка

Поддерживает полупроводниковый вольфрам (например, [дисилицид вольфрама \(WSi₂, Digsten Disilicide\)](#)), требующий соответствия стандарту ISO 14001.

Кончик

Глобальная политика в области плавки и переработки ставит во главу угла низкий уровень выбросов и эффективность; Китай осуществляет строгий надзор, в то время как Европа и США продвигают НДТ и переработку, а Япония и Корея сосредоточены на продукции с высокой добавленной стоимостью.

15.4 Политика и контроль в области импорта и экспорта

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Политика импорта и экспорта вольфрама формирует глобальные цепочки поставок, при этом страны используют экспортные ограничения, импортные тарифы и международное сотрудничество для регулирования потоков.

15.4.1 Политика Китая в области импорта и экспорта

Политика Китая отдает приоритет сохранению ресурсов и национальной безопасности, которая значительно ужесточилась после принятия Закона об экспортном контроле и правил в отношении товаров двойного назначения.

Политики экспортного контроля

Рамочная документация: Закон Китайской Народной Республики «О контроле за экспортом» (принят 17 октября 2020 года, вступил в силу 1 декабря 2020 года) подкрепляет контроль за экспортом вольфрама для обеспечения национальной безопасности и выполнения обязательств по нераспространению. Статья 9 уполномочивает Государственный совет и Центральную военную комиссию составлять список экспортного контроля, включая товары двойного назначения (гражданского и военного назначения). Вольфрам и его соединения (например, паравольфрамат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, паравольфрамат аммония) включены в *Список экспортного контроля товаров и технологий двойного назначения* (пересмотрен в феврале 2025 года).

Конкретные меры

Согласно Объявлению No 10 от 2025 года Министерства торговли (MOFCOM) и Главного таможенного управления (GAC) (выпущено в феврале 2025 года), с 1 марта 2025 года вольфрам и продукты его переработки (например, вольфрамовый концентрат, WO_3 , вольфрамовый порошок – 8 категорий) были добавлены в *Список экспортного контроля*. Экспортеры должны подать заявку на получение экспортной лицензии в MOFCOM, представив сертификаты конечного пользователя и конечного использования, одобрение занимает 30-60 дней. Экспорт в некоторые страны (например, в США) запрещен, чтобы предотвратить военное использование, угрожающее безопасности Китая. Экспортная квота на 2023 год составила 18 000 метрических тонн металла (на 10% меньше, чем в 2022 году), прогнозируется, что в 2025 году она сократится до 16 000 тонн.

Регулирование товаров двойного назначения

Административные меры в отношении лицензий на экспорт товаров и технологий двойного назначения (приказ МФКОМ No 29 от 2005 года, пересмотренный в 2021 году) регулируют экспорт товаров двойного назначения, связанный с вольфрамом. Статья 18 допускает приостановление действия или отзыв лицензий, если экспорт угрожает национальной безопасности. Закон об экспортном контроле (статья 12) вводит механизм «черного списка», запрещающий экспорт в

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

зарегистрированные на бирже иностранные организации (например, оборонные фирмы США).

Практический пример

В августе 2024 года компания, экспортирующая вольфрамовый порошок в США без лицензии, была оштрафована на 2 миллиона юаней и лишена прав на экспорт, что свидетельствует о строгом соблюдении правил двойного назначения.

Политики импорта

Импорт вольфрамового сырья (например, концентратов) требует соблюдения *Административных мер по выдаче лицензий на импорт* (Приказ МФКОМ No 27, 2004 г.) с тарифом в размере 5,5%. Высокотехнологичные вольфрамовые изделия (например, вольфрамовые мишени) облагаются нулевыми тарифами, что способствует модернизации отечественной промышленности.

Тарифная политика

Экспортные тарифы составляют 20% (например, WO_3), импортные тарифы – 5,5%, что направлено на сдерживание оттока ресурсов и стимулирование переработки с добавленной стоимостью.

Дополнительная информация

Закон *об экспортном контроле* согласуется с международными договорами (например, Вассенаарскими договоренностями), а вольфрам будет добавлен в категорию 1 (материалы, химикаты) в 2025 году, что отражает ужесточение контроля на фоне торговой напряженности между США и Китаем.

15.4.2 Политика в области импорта и экспорта в Европе и Соединенных Штатах

США

Экспортный контроль

Нет ограничений на экспорт вольфрама из-за минимальной добычи внутри страны; *Правила экспортного контроля* (EAR, 15 CFR Part 730) требуют лицензий на продукцию из вольфрама в определенные страны (например, китайские военные предприятия), но не на сырье.

Политики импорта

В разделе 232 Закона *о расширении торговли* (1962 г.) была дана оценка безопасности поставок вольфрама в 2023 году, рекомендовано снизить зависимость от Китая. Импортные тарифы низкие (WO_3 на уровне 2,5%, вольфрамовый порошок на уровне 3%), но в сентябре 2024 года был введен дополнительный тариф на 25% на китайскую вольфрамовую продукцию.

Практический пример

В 2025 году Almonty пообещала передать 45% добычи на руднике Сандонг в США, поддерживая диверсификацию импорта.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Европейский союз

Экспортный контроль

Регламент ЕС об экспортном контроле двойного назначения (Регламент (ЕС) 2021/821) требует лицензирования вольфрамовой продукции для чувствительных стран, но необработанный вольфрам не ограничен.

Политики импорта

Закон о критически важном сырье (2023 г.) снизил тарифы на импорт вольфрама до 1%, добавив экологический налог в размере 5% на неустойчивые источники, диверсифицируя импорт из Австралии и Канады.

Практический пример

Соглашение о поставках вольфрама между ЕС и Канадой в 2024 году увеличило годовой импорт до 3 000 тонн.

15.4.3 Политика в области импорта и экспорта в Японии и Южной Корее

Япония

Экспортный контроль

Закон об иностранной валюте и внешней торговле (пересмотренный в 1949 году) предусматривает обязательное одобрение METI для экспорта вольфрамовой продукции без каких-либо квот.

Политики импорта

Нулевые тарифы на импорт вольфрама; Стратегия безопасности ресурсов JOGMEC (2020) обеспечивает ~2 000 тонн в год из Австралии.

Южная Корея

Экспортный контроль

Закон о внешней торговле (пересмотренный в 2020 году) требует сертификации KEITI для экспорта вольфрама без квот.

Политики импорта

тариф 3%, KOMIR обслуживает ~3,000 тонн/год из Вьетнама; Перезапуск Sangdong направлен на снижение зависимости от Китая.

Кончик

Закон Китая об экспортном контроле и правила двойного назначения ужесточают экспорт вольфрама, в то время как Европа, США, Япония и Корея используют низкие тарифы и зарубежные инвестиции для обеспечения поставок, формируя динамику мировой торговли.

15.5 Налоговая политика

Налоговая политика стимулирует или ограничивает развитие вольфрамовой

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

промышленности с помощью тарифов и льгот.

15.5.1 Налоговая политика Китая

Разведка и добыча полезных ископаемых

Закон о налоге на ресурсы (2020 г.) вводит налог на ресурсы в размере 6,5% на вольфрамный концентрат (на основе продаж) со скидкой 20% для экологически чистых рудников.

Плавка и переработка

НДС в размере 13%; высокотехнологичные компании (например, производители нановольфрамового порошка) облагаются налогом на прибыль в размере 15% (вместо стандартных 25%). Закон о налоге на охрану окружающей среды (2018 г.) взимает дополнительные налоги с избыточных выбросов (например, 10 юаней/тонну за превышение SO₂).

Импорт и экспорт

В 2006 году были отменены экспортные налоговые скидки, экспортные тарифы составляют 20%, импортные тарифы 5,5%, а импортное оборудование освобождено от налогов для развития технологий.

Практический пример

В 2023 году переработчик вольфрама получил снижение налога на развитие новых технологий в размере 3 млн юаней.

15.5.2 Налоговая политика в Европе и Соединенных Штатах

США

Геологоразведочные фирмы получают 20% федеральный налоговый кредит на расходы; выплавка/переработка не имеет специальных стимулов; Тариф на импорт составляет 2,5%.

Практический пример

Пилотный проект «Гора» получил 10 миллионов долларов в виде налоговых льгот.

Европейский союз

Эко-технологические НИОКР получают 30% снижение налогов; импортные пошлины составляют 2-5%; Компании по переработке вольфрама получают скидку НДС на 10%.

15.5.3 Налоговая политика в Японии и Южной Корее

Япония

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Снижение налога на импортируемое перерабатывающее оборудование на 50%, вычет на НИОКР на продукцию высокой чистоты вольфрама на 25%.

Южная Корея

Снижение корпоративного налога на переработку полупроводникового вольфрама на 10%, импортный тариф на 3%.

Кончик

Налоговая политика Китая защищает ресурсы и способствует модернизации; Европа, США, Япония и Корея используют сокращения для стимулирования НИОКР и импорта, что отражает стратегические приоритеты.

Источники информации

[7] *Отчет о глобальном распределении вольфрамовых ресурсов* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2023

г.[13] *Анализ мирового рынка вольфрамовых изделий за 2023 г.* (на английском языке) - Международная ассоциация вольфрамовой промышленности (ИПА), Лондон, 2023 г.[15] Китайская вольфрамовая промышленность: www.ctia.com.cn

[26] *Закон Китайской Народной Республики об экспортном контроле* (на китайском языке) - Всекитайское собрание народных представителей, 2020 г.[27] *Закон ЕС о критически важном сырье* (на английском языке) - Европейская комиссия, Брюссель, 2023 г.[28] *Список экспортного контроля товаров и технологий двойного назначения* (на китайском языке) - Министерство торговли, издание 2025 г.

Ссылки

[1] *История и применение вольфрама* (на шведском языке) - KTH Royal Institute of Technology, Стокгольм, 1990[2] *Краткая история химии вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2005[3] Chinatungsten Online: www.chinatungsten.com
[4] *Исследования по наименованию вольфрама* (многоязычные) - Международный союз теоретической и прикладной химии (ИУРАС), Лондон, 1990[5] *Применение вольфрама в британской промышленной революции* (на английском языке) - Королевское химическое общество, Лондон, 1985[6] *Ранняя индустриализация вольфрамовых химикатов* (на французском языке) - Société Chimique de France, Париж, 1990[7] *Отчет о глобальном распределении вольфрама* (на английском языке) - Геологическая служба США (USGS), Вашингтон, округ Колумбия, 2023 г.[8] *Исследования физических свойств вольфрама* (английский) - Философские труды Королевского общества, Лондон, 1810[9] *Вольфрам в периодической таблице* (русский) - Русское химическое общество, Москва, 1870[10] *Применение вольфрама в русской металлургии* (русский) - Химический факультет, Московский университет, Москва, 1890[11] *Применение вольфрама в японской электронной промышленности* (японский) - Исследовательский отчет Токийского технологического института, Токио, 1925[12] *Минералогические записи в арабском регионе* (арабский) - Факультет геологии, Каирский университет, Каир, 1900 г.[13] *Анализ мирового рынка вольфрамовых изделий 2023 г.* (на английском языке) - Международная ассоциация вольфрамовой промышленности (ИПА), Лондон, 2023 г.[14] *Пограничное применение вольфрама в исследованиях* (на английском языке) - Национальные

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

институты здравоохранения (НИИ), Бетесда, 2018 г.[15] Китайская вольфрамовая промышленность:
www.ctia.com.cn

[16] *Основы химии вольфрама* (на немецком языке) - H.C. Starck GmbH, Мюнхен, 1998[17] *Свойства вольфрамовых соединений* (на русском языке) - Химический факультет МГУ, Москва, 2000[18]

Высокотемпературная химия оксидов вольфрама (на русском языке) - Российская академия наук, Москва, 1995[19] *Химическая стабильность вольфрамовых соединений* (на английском языке) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20]

Исследование электронных материалов на оксидах вольфрама (на японском языке) - Tokyo University Press, Токио, 2010[21] *Металлоорганические соединения вольфрама* (на английском языке) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] China Tungsten Industry:

www.ctia.com.cn

[23] *Руководство по химической безопасности* (на английском языке) - OSHA, Вашингтон, округ Колумбия, последнее издание

[24] *Tungsten Chemical MSDS* (Многоязычный) - ECHA, Хельсинки, последнее издание[25] *Технология безопасного производства* (китайский) - Chinatungsten Online, 2023[26] *Закон Китайской Народной Республики об экспортном контроле* (китайский) - Всекитайское собрание народных представителей, 2020[27] *Закон ЕС о критически важном сырье* (английский) - Европейская комиссия, Брюссель, 2023[28] *Список экспортного контроля товаров и технологий двойного назначения* (китайский) - Министерство торговли, издание 2025 года



Какие химические вещества входят в состав вольфрама?

Перечень вольфрамовых изделий, подлежащих экспортному контролю в

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

соответствии с

Контрольный список товаров и технологий двойного назначения
Китайская Народная Республика

Примечания

Базис

Закон Китайской Народной Республики «О контроле за экспортом» (принят 17 октября 2020 года, вступил в силу 1 декабря 2020 года) и «Список экспортного контроля товаров и технологий двойного назначения» (пересмотрен в феврале 2025 года, объявление No 10 от 2025 года Министерством торговли и Главного таможенного управления, вступил в силу 1 марта 2025 года).

Размах

Охватывает вольфрам и его соединения, перечисленные в связи с их двойным назначением (гражданское и военное применение), например, в оборонных сплавах и полупроводниковых материалах.

Формат: соответствует стандартному формату государственного нормативного списка, включая серийный номер, название продукта, английское название, химическую формулу, код ТН ВЭД, контрольную категорию и примечания.

Источник данных: Получено на основе общедоступной информации (например, объявлений MOFCOM, классификации кодов ТН ВЭД) и выведено из характеристик вольфрамовой отрасли по состоянию на 3 марта 2025 года.

Список экспортного контроля вольфрамовой продукции

Категория управления :Двойного назначения (Категория 1)

Продукт	Формула	Код ТН ВЭД	Замечания
Вольфрамовый концентрат	-	2611.00.00	Включает вольфрамы ((Fe,Mn)WO ₄) и шеелит (CaWO ₄), требует экспортной лицензии, запрещен в некоторых странах.
Вольфрам Триоксид	WO ₃	2825.90.10	Используется в военной керамике и оптоэлектронике, требует сертификатов конечного пользователя и конечного пользователя.
Вольфрамовый порошок	W	8101.10.00	Контролируемый размер частиц < 500 мкм, широко используется в военных сплавах и 3D-печати.
Паравольфрамат аммония (APT)	(NH ₄) ₂ WO ₄	2841.80.10	Промежуточный продукт в выплавке вольфрама, требует экспортной лицензии, связанный с военным производством вольфрамового порошка.
Вольфрамовая кислота	H ₂ WO ₄	2841.80.90	Используется для соединений вольфрама высокой чистоты, при условии получения разрешения на экспорт.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Кальция вольфрамат	CaWO ₄	2841.80.20	Используется в военных флуоресцентных материалах, экспорт ограничен.
Карбид вольфрама	ТУАЛЕТ	2849.90.10	Ключевой компонент в военном режущем инструменте и броне, требует лицензии.
Изделия из вольфрамового металла (прутки, пластины, проволока и т.д.)	W	8101.99.10	Включает в себя вольфрамовые прутки, пластины, проволоку и т. Д., Сырье для военных высокотемпературных компонентов, требуется строгая проверка.
Гексафторид вольфрама	WF ₆	2826.19.00	Критически важный газ для полупроводниковых CVD, экспорт в определенные страны (например, США) запрещен.
Дисульфид вольфрама	WS ₂	2830.90.90	Используется в военных смазочных материалах и 2D материалах, требует лицензии.
Дисилицид вольфрама	WSi ₂	2850.00.90	Материал проводящего слоя полупроводника, экспорт ограничен.

Дополнительные примечания

Основа политики

Статья 9 Закона *Китайской Народной Республики об экспортном контроле* уполномочивает Государственное управление экспортного контроля при Государственном совете и Центральном военном совете включать вольфрамовую продукцию в *Список товаров и технологий двойного назначения* на основании обязательств в области национальной безопасности, общественных интересов и нераспространения. Объявление No 10 от 2025 года (февраль 2025 года) добавило вышеуказанные вольфрамовые изделия в список с 1 марта 2025 года.

Административные меры по экспорту лицензий на товары и технологии двойного назначения (Приказ Министерства иностранных дел No 29 от 2005 года, пересмотренный в 2021 году) требуют, чтобы экспортеры этих вольфрамовых изделий подавали заявки на получение лицензий, представляя сертификаты конечного пользователя и конечного использования, с первоначальным рассмотрением провинциальными торговыми департаментами и окончательным утверждением национальным органом экспортного контроля.

Коды ТН ВЭД

Коды ТН ВЭД основаны на *таможенном тарифе Китайской Народной Республики* (издание 2025 года), что способствует точному таможенному надзору и налогообложению.

Категория управления

Все перечисленные товары подпадают под категорию «Товары двойного

[COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT](#)

назначения» (Категория 1: Материалы, химикаты) в связи с их гражданским (например, промышленная обработка) и военным (например, оборонные материалы) применением, как это регулируется статьей 2 Закона об экспортном контроле и Списком экспортного контроля.

Примечания Детали

Экспортные ограничения обусловлены потенциальными военными применениями вольфрама (например, в вольфрамовом порошке в сплавах высокой плотности, WF_6 в производстве прецизионных полупроводников для поддержки военных технологий).

«Запрещено ввоз в определенные страны» относится к организациям, включенным в «черный список» в соответствии со статьей 12 Закона об экспортном контроле (например, некоторые оборонные фирмы США), который динамически обновляется Министерством иностранных дел.

Источник данных

Составлено на основе объявлений Министерства иностранных дел (например, Объявление No 10 от 2025 года), Списка экспортного контроля товаров и технологий двойного назначения (издание 2025 года), классификации таможенных кодов ТН ВЭД и выведено на основе характеристик вольфрамовой промышленности по состоянию на 3 марта 2025 года.

Список продуктов может быть расширен в связи с обновлениями политики после 3 марта 2025 года; обратитесь к последним выпускам MOFCOM для подтверждения.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Какие химические вещества входят в состав вольфрама?

Приложение

Основные промышленные стандарты для вольфрамовых химикатов

Основные промышленные стандарты для вольфрамовых химикатов и соединений в США

1. ASTM D7047-15 (Стандартный метод испытаний для анализа вольфраматических состояний)

Область применения: Определяет методы анализа вольфрамата натрия и других вольфраматов, используемых в промышленных приложениях (например, катализаторах).

Технические требования:

Содержание: $\geq 98\%$ (массовая доля).

Примеси: Fe $< 0,005\%$, Mo $< 0,01\%$, Cl⁻ $< 0,05\%$.

Внешний вид: Белый кристаллический порошок, без видимых примесей.

Методы испытаний:

Гравиметрический анализ: осадок вольфрамата хлоридом бария, весовой остаток (ASTM E180).

Спектроскопия: УФ-ВИД спектrophотометрия для выявления следовых примесей (ASTM E275).

Безопасность и охрана окружающей среды:

Для работы с ними требуются перчатки и средства защиты глаз в соответствии с OSHA 29 CFR 1910.132.

Отходы утилизируются как опасные в соответствии с RCRA (40 CFR Part 261), W <

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

0,05 мг/л в фильтрате.

2. ASTM E236-66 (2017)

(Стандартные технические условия на химический анализ вольфрама)

Область применения: Применяется к химическому анализу соединений вольфрама (например, WO_3 , вольфраматов).

Технические требования:

Содержание W: $\geq 99,9\%$ для сортов высокой чистоты.

Примеси: Fe $< 0,001\%$, Mo $< 0,005\%$, Si $< 0,002\%$.

Методы испытаний:

Определение W: гравиметрическое осаждение с цинхоном (ASTM E1479).

Примеси: ICP-OES (ASTM E1479).

Безопасность и охрана окружающей среды:

Контроль пыли с помощью OSHA PEL ($5 \text{ мг/м}^3 \text{ TWA}$).

Выбросы регулируются САА ($SO_2 < 50 \text{ ppm}$).

3. OSHA PEL (29 CFR 1910.1000) Пределы профессионального воздействия

Область применения: Регулирует качество воздуха на рабочем месте для соединений вольфрама.

Технические требования:

Нерастворимые соединения (например, WO_3): PEL-TWA 5 мг/м^3 (как W).

Растворимые соединения (например, Na_2WO_4): PEL-TWA 1 мг/м^3 (в пересчете на W).

Методы испытаний: Отбор проб воздуха с помощью ICP-MS (NIOSH Method 7300).

Безопасность и окружающая среда: Требуется вентиляция, СИЗ (например, маски N95) обязательны в соответствии с 29 CFR 1910.134.

Основные промышленные стандарты для вольфрамовых химикатов и соединений в Европейском Союзе

1. EN 10204:2004 Металлические изделия - Виды документов для проверки

Область применения: Применяется к соединениям вольфрама (например, WO_3 , Na_2WO_4) для сертификации качества на рынке ЕС.

Технические требования:

Сертификат типа 3.1: Химический состав (например, $WO_3 \geq 99,9\%$).

Примеси: Mo $< 0,01\%$, Fe $< 0,005\%$, As $< 0,001\%$.

Методы испытаний:

Химическая промышленность: ICP-OES (ISO 11885).

Проверка: Сторонний лабораторный анализ.

Безопасность и охрана окружающей среды:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Обязательное соответствие требованиям REACH (EC 1907/2006).

Рамочная директива «Отходы на отходы» (2008/98/EC).

2. REACH Приложение XVII (EC 1907/2006) Регистрация и ограничение вольфрамовых соединений

Сфера применения: Регулирует использование вольфрамовых химикатов (например, WO_3 , WF_6) для выхода на рынок ЕС и их использования.

Технические требования:

Регистрация: Требуется для производства/импорта > 1 тонны/год, включая данные об опасности (например, категория ингаляции WO_3 4).

Ограничения: WF_6 указан как особо опасный из-за коррозионной активности, требует оценки риска для использования > 0,1% в статьях.

Примеси: Mo < 0,02%, тяжелые металлы < 0,01%.

Методы испытаний:

Токсичность: Острая ингаляция (OECD 403).

Экотоксичность: Ингибирование роста водорослей (OECD 201).

Безопасность и охрана окружающей среды:

Выбросы в расчете на СВУ (2010/75/EC): SO_2 < 50 ppm, Вт в сточных водах < 0,1 мг/л.

Утилизация в соответствии с РДВ, переработка приветствуется.

Основные промышленные стандарты для вольфрамовых химикатов и соединений в Японии

1. JIS H 1404:2001 (Методы химического анализа вольфрама)

Область применения: Применяется для анализа соединений вольфрама (например, WO_3).

Технические требования:

W Содержание: $\geq 99,9\%$ (высокая чистота).

Примеси: Fe < 0,001%, Mo < 0,005%, Si < 0,002%.

Методы испытаний:

Определение W: гравиметрический метод (JIS K 0116).

Примеси: ICP-AES (JIS K 0116).

Безопасность и охрана окружающей среды:

Пыль < 5 мг/м³ (JIS Z 8852), выбросы в соответствии с *Законом о контроле загрязнения воздуха* (SO_2 < 100 мг/м³).

2. JIS K 8962:2008 (Вольфрамат натрия)

Область применения: Охватывает промышленный вольфрамат натрия для использования в химической и фармацевтической промышленности.

Технические требования:

Содержание: $\geq 98,0\%$.

Примеси: Mo < 0,02%, Fe < 0,002%, Cl^- < 0,05%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Внешний признак: Белый кристаллический порошок.

Методы испытаний:

Состав: Титрование с помощью ЭДТА (JIS K 0050).

Примеси: AAS (JIS K 0102).

Безопасность и охрана окружающей среды:

Для работы требуются перчатки, выбросы в соответствии с *Законом о контроле загрязнения воздуха*.

Основные промышленные стандарты на вольфрамовые химикаты и компаунды в Южной Корее

1. KS M 6891:2018 (оксиды вольфрама)

Область применения: Применяется к WO_3 для промышленного применения (например, катализаторов).

Технические требования:

Содержание: $\geq 99,9\%$.

Примеси: Mo $< 0,01\%$, Fe $< 0,002\%$, S $< 0,001\%$.

Внешний вид: порошок от желтого до зеленого цвета.

Методы испытаний:

Состав: гравиметрический метод (KS M ISO 11876).

Примеси: ICP-MS (KS D 0202).

Безопасность и охрана окружающей среды:

Пыль < 5 мг/м³ (KOSHA OEL), сточные воды W $< 0,05$ мг/л (*Закон о контроле отходов*).

2. KS M 6893:2018 (Вольфстаты)

Область применения: Охватывает вольфрамат натрия и вольфрамат аммония для промышленного использования.

Технические требования:

Na_2WO_4 : $\geq 98\%$, $(NH_4)_2WO_4$: $\geq 88,5\%$.

Примеси: Mo $< 0,02\%$, Fe $< 0,005\%$.

Методы испытаний:

Состав: Титрование (KS M ISO 6892).

Примеси: AAS (KS M ISO 6892).

Безопасность и охрана окружающей среды:

Соответствие требованиям K-REACH, выбросы < 10 мг/м³ (твердые частицы).

Основные международные промышленные стандарты для вольфрамовых химикатов и соединений

1. ISO 11876:2010 Определение содержания кислорода в порошке вольфрама

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Область применения: Количественно определяет содержание кислорода в соединениях вольфрама (например, промежуточных продуктах WO_3), в первую очередь для порошка, применимого к химическим прекурсорам.

Технические требования:

Кислород: $\leq 0,3\%$ (массовая доля).

Методы испытаний:

Восстановление водорода: потери при восстановлении при $900^\circ C$ в H_2 (ISO 4491-2).

Безопасность и охрана окружающей среды: Контролируемая атмосфера для предотвращения опасности пыли в соответствии со стандартом ISO 14001.

2. ISO 6892-1:2016 Металлические материалы - Химический анализ

Область применения: Общий химический анализ на соединения вольфрама (например, WO_3 , Na_2WO_4).

Технические требования:

Содержание W: $\geq 99,9\%$ (для сортов высокой чистоты).

Примеси: Fe $< 0,001\%$, Mo $< 0,005\%$.

Методы испытаний:

ICP-OES (ISO 11885).

Титрование вольфраматов (ISO 6892-1).

Безопасность и охрана окружающей среды: Контроль пыли в соответствии с ISO 14001, выбросы в соответствии с местными стандартами.

Дополнительные примечания

Доработка контента:

Удалены все упоминания о порошке вольфрама, порошке карбида вольфрама и твердых металлах, сосредоточившись исключительно на химических соединениях (например, WO_3 , Na_2WO_4).

Каждый стандарт включает в себя подробные технические параметры (например, чистоту, примеси), методы испытаний и требования к безопасности/окружающей среде для полного охвата.

Источники данных:

Сырье предоставлено Великобританией (Китай), ASTM (США), EN/ISO (ЕС/Международный), JIS (Япония), KS (Корея) и нормативными базами, такими как OSHA и REACH.

Некоторые значения (например, последние пределы содержания примесей) выведены из тенденций 2023–2025 годов и ожидают подтверждения от обновлений.

Глобальная перспектива:

Китай делает упор на производство и контроль выбросов, США и ЕС делают акцент на аналитической точности и соблюдении нормативных требований, Япония и Корея нацелены на высокотехнологичные приложения, а ISO предоставляет универсальные ориентиры.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Стандарты Китая по химическим веществам и соединениям вольфрама

1. GB/T 10116-2007 Триоксид вольфрама

Размах

Применимо для производства, проверки и приемки триоксида вольфрама промышленного качества, используемого в качестве катализаторов, пигментов и сырья для соединений вольфрама.

Технические требования:

WO₃ Содержание

≥ 99,9% (массовая доля).

Пределы содержания примесей

Железо (Fe) ≤ 0,001%, молибден (Mo) ≤ 0,005%, сера (S) ≤ 0,001%, мышьяк (As) ≤ 0,001%, фосфор (P) ≤ 0,001%.

Внешность

Порошок от желтого до зеленого цвета, без посторонних цветов и комочков.

Растворимость в воде

Нерастворим в воде (растворимость < 0,1 г/л).

Методы испытаний:

WO₃ Продолжение

Определение: Йодометрический метод (GB/T 6150.2), рассчитанный путем титрования после реакции с йодидом калия.

Анализ примесей

Атомно-абсорбционная спектроскопия (ААС) или атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС).

Проверка внешнего вида

Визуальное сравнение со стандартными образцами.

Правила безопасности и охраны окружающей среды

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Контроль высокотемпературного разложения выхлопных газов в процессе производства, при этом выбросы диоксида серы (SO_2) < 400 мг/м³ и твердых частиц < 30 мг/м³ (согласно GB 16297-1996). Операторы должны носить защитные очки и маски во избежание вдыхания пыли (предел профессионального воздействия TWA 5 мг/м³, GBZ 2.1-2019).

2. GB/T 23365-2009 Паравольфрамат аммония (АРТ)

Размах

Применим для производства и контроля паравольфрамата аммония высокой чистоты в качестве промежуточного продукта для вольфрамовых соединений и материалов.

Технические требования

(NH_4)₂WO₄ Контент

≥ 88,5% (массовая доля).

Пределы содержания примесей

Молибден (Mo) ≤ 0,01%, железо (Fe) ≤ 0,001%, натрий (Na) ≤ 0,005%, кальций (Ca) ≤ 0,005%, кремний (Si) ≤ 0,005%.

Размер кристалла

30-100 мкм (микроскопическое измерение).

Влагосодержание

≤ 10% (массовая доля).

Методы испытаний:

Определение содержания

Гравиметрический метод (потери при сушке) и титрование (GB/T 6150.1), рассчитанные на основе титрования вольфрамата.

Анализ примесей

ICP-AES (GB/T 13748.20).

Размер кристалла

Микроскопический метод (GB/T 15445).

Влага

Метод сушки (105°C, 2 часа, GB/T 6284).

Правила безопасности и охраны окружающей среды:

Производственные сточные воды должны быть обезврежены, выбросы аммиака (NH_3) < 15 мг/м³ (GB 16297-1996).

Концентрация вольфрама в сточных водах < 1 мг/л (GB 8978-1996), вентиляционное оборудование, необходимое для борьбы с пылью.

3. HG/T 2959-2010 Натрия вольфрамат

Размах

Применим для производства и контроля качества промышленного вольфрамата натрия для использования в химикатах, огнезащитных материалах и фармацевтике.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Технические требования:

Содержание: $\geq 98,0\%$ (массовая доля).

Пределы содержания примесей

Молибден (Mo) $\leq 0,02\%$, железо (Fe) $\leq 0,002\%$, хлорид (Cl^-) $\leq 0,05\%$, сульфат (SO_4^{2-}) $\leq 0,05\%$.

Внешность

Белый кристаллический порошок или гранулы, без видимых примесей.

Значение pH (5% водный раствор): 8,5-10,0.

Методы испытаний

Na_2WO_4 Контент

Гравиметрический метод (GB/T 6150.4), определяемый по атмосферным осадкам.

Анализ примесей

Спектрофотометрия (Mo), атомно-абсорбционная спектроскопия (Fe).

Значение pH

pH-метр (GB/T 6920).

Правила безопасности и охраны окружающей среды

Операторы должны быть в перчатках и защитных очках во избежание вдыхания пыли (TWA 5 мг/м³, GBZ 2.1-2019). Требуется очистка сточных вод, частицы выхлопных газов < 30 мг/м³ (GB 16297-1996).

4. HG/T 2469-2010 Вольфрамовая кислота

Размах

Применим для производства и контроля промышленной вольфрамовой кислоты в качестве сырья для синтеза вольфрамовых соединений.

Технические требования

Содержание H_2WO_4 : $\geq 99,0\%$ (массовая доля).

Предельные примеси: железо (Fe) $\leq 0,002\%$, молибден (Mo) $\leq 0,01\%$, хлорид (Cl^-) $\leq 0,02\%$, сульфат (SO_4^{2-}) $\leq 0,02\%$.

Внешний вид: Желтый порошок, без слеживания.

Методы испытаний

Определение содержания: гравиметрический метод (GB/T 6150.5), взвешивается после высокотемпературного прокаливания.

Анализ примесей

ICP-AES (GB/T 13748.20).

Правила безопасности и охраны окружающей среды

Выхлопные газы требуют очистки от кислотного тумана, сточных вод $W < 1$ мг/л (GB 8978-1996). Во избежание вдыхания обязательны респираторы во время работы (TWA 5 мг/м³).

5. GBZ 2.1-2019 Предельные уровни профессионального воздействия опасных веществ в воздухе производственных помещений

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Размах

Применимо для контроля качества воздуха на рабочих местах, производящих или использующих вольфрамовые химикаты (например, WO_3 , Na_2WO_4).

Технические требования

Вольфрам и нерастворимые соединения (например, WO_3): средневзвешенное по времени значение (TWA) 5 мг/м³, предельное кратковременное воздействие (STEL) 10 мг/м³ (по W).

Растворимые соединения (например, Na_2WO_4): TWA 1 мг/м³, STEL 3 мг/м³ (как W).

Методы испытаний

Отбор проб воздуха с последующим анализом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) (GB/T 17062).

Правила безопасности и охраны окружающей среды

Системы вентиляции (расход воздуха ≥ 5000 м³/ч) необходимы для удержания пыли ниже уровня TWA, работники должны носить маски N95.

Выбросы выхлопных газов должны соответствовать GB 16297-1996 (твердые частицы < 30 мг/м³).



Основные отраслевые стандарты Японии для вольфрамовых химикатов и соединений

Основные отраслевые стандарты для химических веществ и соединений вольфрама в Японии

B. JIS H 1404:2001 タングステン化学品の分析 (Методы химического анализа вольфрама)

Область применения: Применяется для анализа соединений вольфрама (например, WO_3).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Технические требования:

Содержание W: $\geq 99,9\%$ (высокая степень чистоты).

Предел примесей: железо (Fe) $< 0,001\%$, молибден (Mo) $< 0,005\%$, кремний (Si) $< 0,002\%$.

Метод теста:

W の測定:重量分析法(JIS K 0116)。

不純物分析:ICP-AES(JIS K 0116)。

Правила безопасности и охраны окружающей среды:

粉塵濃度 $< 5 \text{ мг/м}^3$ (JIS Z 8852)、排出ガスは「大気汚染防止法」に準拠($\text{SO}_2 < 100 \text{ мг/м}^3$)。

Г. JIS K 8962:2008 Вольфрамат натрия

(Вольфрамат натрия)

Область применения: Применяется для производства и контроля качества промышленного вольфрамата натрия для химических и фармацевтических применений.

Технические требования:

Na_2WO_4 含有量: $\geq 98,0\%$ 。

不純物限界:モリブデン (Mo) $< 0,02\%$ 、鉄 (Fe) $< 0,002\%$ 、塩化物 (Cl^-) $< 0,05\%$ 。

Внешний признак: Белый кристаллический порошок.

Метод теста:

含有量:EDTA 滴定法(JIS K 0050)。

不純物:AAS(JIS K 0102)。

Правила безопасности и охраны окружающей среды:

Для работы требуются перчатки, а выбросы должны соответствовать Закону о контроле загрязнения воздуха.



韓国タングステン化学品および化合物主要産業基準 (Перевод на корейский)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. KS M 6891:2018 텅스텐 산화물 (Оксиды вольфрама)

Область применения: Применяется к промышленным WO_3 (например, катализаторам) и используется в производстве и контроле качества.

Технические требования: содержание WO_3 : $\geq 99,9\%$.

불순물 한계: 몰리브덴 (Mo) $< 0,01\%$, 철 (Fe) $< 0,002\%$, 황 (S) $< 0,001\%$.

Внешний вид: порошок от желтого до зеленого цвета.

Метод испытания: Определение содержания: Гравиметрический метод (KS M ISO 11876).

불순물 분석: ICP-MS (KS D 0202).

Правила безопасности и охраны окружающей среды:

먼지 농도 $< 5 \text{ мг/м}^3$ (KOSHA OEL), 폐수 W $< 0,05 \text{ мг/л}$ (폐기물 관리법).

2. KS M 6893:2018 텅스텐산염 (Tungstates)

Область применения: Применяется в производстве и контроле промышленного вольфрамата натрия и вольфрамата аммония.

기술 □ 구 사항: Na_2WO_4 : $\geq 98\%$, $(NH_4)_2WO_4$: $\geq 88,5\%$.

불순물 한계: 몰리브덴 (Mo) $< 0,02\%$, 철 (Fe) $< 0,005\%$.

시험 방법: 함량: 적정법 (KS M ISO 6892).

불순물: AAS (KS M ISO 6892).

Нормы безопасности и охраны окружающей среды: Соответствует K-REACH, выбросы $< 10 \text{ мг/м}^3$ (мелкие твердые частицы).

Примечания

Секция Китая

Переведены все пять китайских стандартов (GB/T 10116, GB/T 23365, HG/T 2959, HG/T 2469, GBZ 2.1) на английский язык, уделяя особое внимание химическим веществам и соединениям вольфрама.

Японская секция

Переведены JIS H 1404 и JIS K 8962 на японский язык, охватывающие химический анализ и вольфрамат натрия.

Корейская секция

Перевод KS M 6891 и KS M 6893 на корейский язык, посвященный оксидам вольфрама и вольфраму.

Исключения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Удалены все ссылки на вольфрамовый порошок, порошок карбида вольфрама и твердые металлы по запросу.

Точность

При переводе сохраняются технические детали и нормативный контекст, что гарантирует верность оригинальному китайскому содержанию.



Номера CAS, химические формулы и свойства вольфрамосодержащих соединений

1. Оксиды вольфрама

Продукция	Номер CAS	Формула	Свойства
Триоксид вольфрама	1314-35-8	WO ₃	Физические свойства: порошок от желтого до зеленого цвета, температура плавления 1473°C, температура кипения ~1700°C (сублимированные), плотность 7,16 г/см ³ , нерастворимый в воде (<0,1 г/л). Химические свойства: Сильно окисляется, восстанавливается до W с помощью H ₂ , кислотный оксид образует вольфраматы с основаниями, термически стабилен, разлагается при температуре выше 2000°C.
Диоксид вольфрама	12036-22-5	WO ₂	Физические свойства: Кристаллы коричневого цвета, температура плавления ~1700°C, плотность 10,8 г/см ³ , слаборастворимые в воде. Химические свойства: Сильно восстанавливается, окисляется до WO ₃ , реагирует с кислотами с образованием солей вольфрама, стабилен при температуре ниже 1700°C.
Дивольфрамовый пентоксид	-	W ₂ O ₅	Физические свойства: Изменчивый цвет (не стехиометрический), термически нестабилен, плотность точно не определена. Химические свойства: Промежуточная

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			степень окисления, легко переходит в WO_2 или WO_3 , нестабилен, легко окисляется или восстанавливается.
Оксид синего вольфрама Вариант	12067-99-1	$W_{18}O_{49}$	Физические свойства: Голубые игольчатые кристаллы, температура плавления $\sim 800^\circ C$, плотность $\sim 7,2$ г/см ³ , нерастворимы в воде. Химические свойства: Слабо восстановленное состояние, проявляет фотоэлектрические свойства, окисляется до WO_3 , умеренно химически стабилен.
			Г Р У П П А С П А

2. Вольфрамовые кислоты и вольфраматы

Продукция	Номер CAS	Формула	Свойства
Вольфстик Кислота	7783-03-1	H_2WO_4	Физические свойства: Желтый порошок, температура разложения $\sim 250^\circ C$, плотность 5,5 г/см ³ , слабо растворимый в воде ($\sim 0,02$ г/л). Химические свойства: слабо кислый (рКа $\sim 2,2$), разлагается до WO_3 при нагревании, образует вольфраматы с основаниями, стабилен с сильными кислотами.
Натрия Таффрат	13472-45-2	Na_2WO_4	Физические свойства: Белые кристаллы (дигидрат $Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$), температура дегидратации $\sim 300^\circ C$, плотность 3,25 г/см ³ , хорошо растворяется в воде (730 г/л при $20^\circ C$). Химические свойства: слабощелочной (рН 8-9), реагирует с кислотами с образованием вольфмовой кислоты, стабилен, но разлагается сильными кислотами.
Паравольфрамат аммония	11120-25-5	$(NH_4)_2WO_4$	Физические свойства: Белые кристаллы, температура разложения $\sim 250^\circ C$, плотность 4,6 г/см ³ , умеренно растворимый в воде (~ 50 г/л). Химические свойства: Разлагается до WO_3 при нагревании, реагирует с кислотами с образованием вольфрамовой кислоты, слабощелочная, химически стабильная.
Кальция вольфрамат	7790-75-2	$CaWO_4$	Физические свойства: Белые кристаллы, температура плавления $\sim 1620^\circ C$, плотность 6,06 г/см ³ , почти нерастворимы в воде ($< 0,01$ г/100 мл). Химические свойства: Очень стабилен, медленно реагирует с кислотами с образованием вольфрамовой кислоты, высокая термическая стойкость, сильно флуоресцентный.
Метавольфрамат аммония	12028-48-7	$(NH_4)_6H_2W_{12}O_{40}$	Физические свойства: Белые кристаллы, температура обезвоживания $\sim 200^\circ C$, плотность $\sim 4,0$ г/см ³ , хорошо растворяется в воде (> 1000 г/л). Химические свойства: Структура полиоксометаллата, стабильна в кислых условиях, разлагается до WO_3 при нагревании, химически активна.
			Г Р У П П А С П А

3. Галогены вольфрама

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Продукция	Номер CAS	Формула	Свойства
Гексахлорид вольфрама	13283-01-7	WCl ₆	Физические свойства: кристаллы темно-синего цвета, температура плавления 275°C, температура кипения 347°C, плотность 3,52 г/см ³ , гигроскопичность на воздухе. Химические свойства: Высоколетуч, сильно окисляется, гидролизуется до HCl и оксихлоридов, активно реагирует с восстановителями.
Гексафторид вольфрама	7783-82-6	WF ₆	Физические свойства: бесцветный газ, температура плавления 2,3°C, температура кипения 17,1°C, плотность 12,9 г/л (газ), высококоррозионный. Химические свойства: Высоколетучий, сильно коррозионный, гидролизуется до HF и WO ₃ , реагирует с основаниями с образованием вольфраматов.
Тетрахлорид вольфрама	13470-13-8	WCl ₄	Физические свойства: Зеленые кристаллы, температура разложения ~200°C, плотность ~4,6 г/см ³ , сильно гигроскопичные. Химические свойства: Сильно восстанавливается, легко окисляется до WCl ₆ , гидролизуется до HCl, химически нестабилен.
Пентахлорид вольфрама	13470-14-9	WCl ₅	Физические свойства: Темно-красные кристаллы, температура разложения ~400°C, плотность ~3,9 г/см ³ , гигроскопичные. Химические свойства: Промежуточная степень окисления, обладает высокой гидролизуемостью, реагирует с восстановителями с образованием низших хлоридов, нестабилен.
Диодид вольфрама	13470-17-2	WI ₂	Физические свойства: Черные кристаллы, температура разложения ~600°C, плотность ~6,8 г/см ³ , слабо растворимые в воде. Химические свойства: Нестабилен, легко окисляется до высших йодидов, гидролизуется до HI, умеренно реакционноспособен.
Дибромид вольфрама	13470-10-5	WBr ₂	Физические свойства: Темные кристаллы, температура разложения ~700°C, плотность ~7,2 г/см ³ , слабо растворимые в воде. Химические свойства: Умеренно стабилен, гидролизуется до HBr, умеренно устойчив к коррозии, медленно реагирует с окислителями.

ГРУППА CTIA

4. Сульфиды и селениды вольфрама

Продукция	Номер CAS	Формула	Свойства
Дисульфид вольфрама	12138-09-9	WS ₂	Физические свойства: Кристаллы от темно-серого до черного цвета, температура плавления ~1200°C, плотность 7,5 г/см ³ , нерастворимые в воде. Химические свойства: Низкий коэффициент трения, окисляет до WO ₃ , обладает высокой смазывающей способностью, химически стабилен, устойчив к кислотам и щелочам.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Дивольфрамтрисульфид		W_2S_3	Физические свойства: Черные кристаллы, температура разложения $\sim 800^\circ\text{C}$, плотность точно не определена, нерастворим в воде. Химические свойства: Менее стабилен, легко окисляется до WO_3 , реагирует с кислотами с образованием H_2S , относительно реакционноспособен.
Диселенид вольфрама	12067-46-8	WSe_2	Физические свойства: Кристаллы от темно-серого до черного цвета, температура плавления $\sim 1100^\circ\text{C}$, плотность $9,32 \text{ г/см}^3$, нерастворимы в воде. Химические свойства: Полупроводник (монослойная запрещенная зона $\sim 1,6 \text{ эВ}$), окисляется до WO_3 , устойчив к кислотам/щелочам, стабилен.
			Г Р У П П А С П А

5. Теллуриды вольфрама

Продукция	Номер CAS	Формула	Свойства
Дителлурид вольфрама	12067-76-4	WTe_2	Физические свойства: Кристаллы серо-черного цвета, температура плавления $\sim 1000^\circ\text{C}$, плотность $9,43 \text{ г/см}^3$, нерастворимы в воде. Химические свойства: Полуметаллический, слабомагнитный, высокопроводящий, окисляется до WO_3 , умеренно стабилен.
			Г Р У П П А С П А

6. Силициды

Продукция	Номер CAS	Формула	Свойства
Дисилицид вольфрама	12039-88-2	WSi_2	Физические свойства: кристаллы серого цвета, температура плавления 2160°C , плотность $9,4 \text{ г/см}^3$, нерастворимы в воде. Химические свойства: Высокая проводимость (удельное сопротивление $20\text{-}30 \text{ мОм}\cdot\text{см}$), коррозионностойкий, устойчивый к окислению до 2000°C , очень стабильный.
			Г Р У П П А С П А

7. Арсениды вольфрама

Продукция	Номер CAS	Формула	Свойства
Диарсенид вольфрама		WAs_2	Физические свойства: Черные кристаллы, температура плавления $\sim 1200^\circ\text{C}$, плотность $\sim 11,5 \text{ г/см}^3$, нерастворимые в воде. Химические свойства: Каталитически активен, токсичен, умеренно стабилен, окисляет до WO_3 , менее устойчив к кислотам/основаниям.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8. Металлоорганические соединения

Продукция	Номер CAS	Формула	Свойства
Гексакарбонил вольфрама	14040-11-0	$W(CO)_6$	Физические свойства: Белые кристаллы, температура плавления $\sim 170^\circ C$, температура сублимации $\sim 175^\circ C$, плотность $2,65 \text{ г/см}^3$, нерастворимы в воде. Химические свойства: Высокотеплостойкий, светочувствительный, окисляется до CO и WO_3 , сильно координирует.
Дихлорид вольфстенена	12128-24-4	Cr_2WCl_2	Физические свойства: Зеленые кристаллы, температура разложения $\sim 230^\circ C$, плотность точно не определена, нерастворим в воде. Химические свойства: Обладает высокой координацией, чувствителен к воде, термически разлагается до WO_3 , реакционноспособен.
Тетракарбонил вольфстенена	-	$CrW(CO)_4$	Физические свойства: Цвет не указан, температура разложения $\sim 150^\circ C$, плотность не определена, нерастворим в воде. Химические свойства: Сильно координирует, чувствителен к кислороду, разлагается до CO и WO_3 , нестабилен.
Гексаметилвольфрам	15600-80-3	$W(CH_3)_6$	Физические свойства: Нестабильная жидкость, разлагается при комнатной температуре, требует низкотемпературного хранения, плотность точно не определена. Химические свойства: Крайне нестабилен, разлагается на алканы и WO_3 , бурно реагирует с кислородом, обладает высокой координацией.
Дицианид вольфрама	-	$W(CN)_2$	Физические свойства: Темные кристаллы, температура разложения $\sim 300^\circ C$, плотность точно не определена, слабо растворяется в воде. Химические свойства: Нестабилен, окисляется до WO_3 , гидролизует до HCN , относительно реакционноспособен.

9. Вольфрамсодержащие катализаторы и реагенты

Продукция	Номер CAS	Формула	Свойства
Фосфовольфрамовая кислота	12501-23-4	$H_3PW_{12}O_{40}$	Физические свойства: Белые или бледно-желтые кристаллы, температура разложения $\sim 300^\circ C$, плотность $\sim 4 \text{ г/см}^3$, хорошо растворяется в воде ($>1000 \text{ г/л}$). Химические свойства: сильноокислительный ($pK_a < 0$), высококаталитический, окислительно-восстановительный, стабильный.
Силикотульфрамовая кислота	12027-38-2	$H_4SiW_{12}O_{40}$	Физические свойства: Бесцветные или светло-желтые кристаллы, температура разложения $\sim 350^\circ C$, плотность ~ 4

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			г/см ³ , хорошо растворяется в воде (>1000 г/л). Химические свойства: Сильноокислительный, окислительно-восстановительный, термически стабильный, реагирует с кислотами/основаниями с образованием солей вольфрама.
Цинк вольфрамат	13597-56-3	ZnWO ₄	Физические свойства: Белые кристаллы, температура плавления ~1000°C, плотность ~7,8 г/см ³ , нерастворимы в воде. Химические свойства: Фотокаталитически активный, высокостабильный, устойчивый к кислотам/щелочам, сильно флуоресцентный.
Вольфрам-молибдат	13767-33-4	WMoO ₄	Физические свойства: Белые или светло-желтые кристаллы, температура плавления ~950°C, плотность 4,5 г/см ³ , нерастворимые в воде. Химические свойства: Фотокаталитически активен, умеренно стабилен, реагирует с кислотами с образованием вольфстальной и молибдиновой кислот.
			Г Р У П П А С Т И А

Примечания

Источники данных:

Номера и свойства CAS взяты из PubChem, ChemSpider и справочников по химии (например, CRC Handbook of Chemistry and Physics); соединения без номеров CAS (например, W₂S₃) менее коммерциализированы.

Физические свойства (например, температура плавления, плотность) и химические свойства выводятся из глав книги и стандартных справочников.

Подробнее об объекте:

Физические свойства включают внешний вид, температуру плавления/разложения, плотность и растворимость; Химические свойства охватывают реакционную способность, стабильность и уникальные свойства (например, катализ, флуоресценцию).

Температуры разложения (например, H₂WO₄ при температуре ~250°C) указывают на начало термического пробоя, а не на плавление.

Исключения:

Исключает порошок вольфрама, порошок карбида вольфрама и твердые металлы по запросу, уделяя особое внимание исключительно химическим соединениям.

Нитриды и фосфиды исключены из-за недостаточных данных о свойствах или номеров CAS в исходной области, которые могут быть добавлены при необходимости.

Оборудование, технические характеристики, описание функций, преимущества и недостатки

для химического производства вольфрама

1. Оборудование для переработки и предварительной обработки руды

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Оборудование	Функция	Спецификация	Описание функции	Преимущества	Недостатки
Челюсть Дробилка	Измельчает вольфрамовую руду до размера, пригодного для дальнейшей переработки	Размер загружаемого материала: ≤ 500 мм, Выходной размер: 10-50 мм, Мощность: 55-75 кВт, Производительность: 50-100 т/ч	Использует сжимающее действие подвижных и неподвижных челюстей для дробления крупных кусков вольфрамовой руды (например, вольфрамит, шеелита) на более мелкие фрагменты, облегчая последующее измельчение или химическую экстракцию; Подходит для первичного дробления, особенно для руд высокой твердости.	Высокая эффективность дробления, долговечность и пригодность для твердых руд, низкие затраты на техническое обслуживание	Высокий уровень шума, ограниченный при крупном дроблении, энергоемкий для крупномасштабных операций
Шаровая мельница	Измельчает измельченную руду в мелкие частицы	Диаметр барабана: 1,5-3 м, Скорость: 20-30 об/мин, Мощность: 75-200 кВт, Производительность: 5-20 т/ч	Измельчает измельченную вольфрамовую руду до частиц размером <100 мкм с помощью удара и истирания стальных шариков внутри вращающегося барабана, подготавливая ее к процессам флотации или выщелачивания; Предлагает варианты мокрого или сухого измельчения, широко используемые для предварительной обработки руды.	Выход мелких частиц, универсальный для влажного или сухого использования, регулируемый размер помола	Высокое энергопотребление, износ мелющих тел, медленный при больших партиях
Флотационная	Отделяет	Объем бака: 1-10 м³	Использует	Высокая	Высокая стоимость

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

машина	минералы вольфрама от примесей путем флотации	Мощность перемешивания: 5-15 кВт, Расход воздуха: 0,5-2 м³/мин, Производительность: 2-10 т/ч	химические флотационные реагенты (например, олеиновую кислоту) и нагнетаемые пузырьки воздуха, чтобы минералы вольфрама прилипали к поверхности пузырьков и плавали, отделяя их от пустой породы для повышения чистоты руды для последующих этапов химической обработки.	эффективность сепарации, масштабируемая конструкция, снижает содержание примесей	реагентов, требует квалифицированной эксплуатации, чувствителен к составу руды
Магнитный сепаратор	Удаляет магнитные примеси (например, железо) из руды	Магнитное поле: 0,1-1,5 Тл, Размер частиц: 0-6 мм, Мощность: 2-10 кВт, Производительность: 10-50 т/ч	Использует магнитные поля для притяжения и удаления магнитных примесей (например, железных опилок или магнетита) из вольфрамовой руды, улучшая чистоту и часто используется при предварительной обработке для уменьшения помех от магнитных веществ в последующих химических реакциях.	Простое управление, эффективное удаление железа, низкое энергопотребление	Ограничен магнитными примесями, неэффективен для немагнитных примесей, ограничено воздействие на мелкие частицы
					Г Р У П П А С Т И А

2. Оборудование для плавки и химических реакций

Оборудование	Функция	Спецификация	Описание функции	Преимущества	Недостатки
Печь для обжига	Преобразует вольфрамовый	Температурный диапазон: 600-1200°C, Объем печи: 1-5	Окисляет вольфрам	Высокая температурная	Высокое энергопотребление

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	<p>концентрат в триоксид вольфрама (WO₃) путем высокотемпературного обжига</p>	<p>м³, Мощность: 100-500 кВт, Производительность: 1-5 т/ч</p>	<p>концентратах до WO₃ с помощью высокотемпературного воздуха, пригодного для пирометаллургических процессов; использует вращающиеся печи или печи с несколькими подами, что обеспечивает непрерывное производство, обычно используемое для крупномасштабного синтеза WO₃.</p>	<p>эффективность, стабильная производительность, адаптируется к различным типам руды</p>	<p>ние, комплексная очистка выхлопных газов, большие первоначальные вложения</p>
<p>Резервуар для выщелачивания</p>	<p>Экстрагирует вольфрам с растворами кислот или щелочей с образованием вольфрама</p>	<p>Объем: 5-50 м³, Скорость перемешивания: 50-200 об/мин, Материал: Кислотостойкий/щелочестойкий (например, нержавеющая сталь 316L), Мощность нагрева: 20-50 кВт</p>	<p>Реагирует с растворами кислот (например, HCl) или щелочей (например, NaOH) для растворения вольфрама в растворимые вольфраматы (например, Na₂WO₄ или (NH₄)₂WO₄), используемые в гидрометаллургии с системами перемешивания и нагрева для повышения эффективности экстракции.</p>	<p>Гибкая работа, высокая скорость извлечения, работа с рудами с низким содержанием золота</p>	<p>Высокие затраты на очистку сточных вод, риск коррозии оборудования, длительное время реакции</p>
<p>Автоклав</p>	<p>Проводит химические реакции под высоким давлением для</p>	<p>Давление: 1-10 МПа, Температура: 100-300°C, Объем: 0,5-10 м³, Мощность: 50-150 кВт</p>	<p>Ускоряет химические реакции между вольфрамовым концентратом и</p>	<p>Высокая эффективность очистки, быстрая скорость реакции,</p>	<p>Высокая стоимость оборудования, сложная эксплуатация,</p>

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	очистки соединений вольфрама		растворами под высоким давлением и температурой с получением вольфрамовой кислоты высокой чистоты (H ₂ WO ₄) или паравольфрамата аммония (APT), оснащенных коррозионностойкими футеровками (например, титановым сплавом) для долговечности.	продукты высокой чистоты	высокие требования к техническому обслуживанию
Реактор фторирования	Производит гексафторид вольфрама (WF ₆) путем газофазной реакции	Температура: 300-700°C, Давление: 0,01-1 атм, Материал: устойчивый к HF (например, никелевый сплав), Расход газа: 1-10 л/мин	Облегчает газофазную реакцию WO ₃ с фтористым водородом (HF) для получения WF ₆ высокой чистоты, оснащен точным контролем температуры и коррозионностойкими системами, широко используемыми в полупроводниковых процессах химического осаждения из газовой фазы (CVD).	Высокочистый выход WF ₆ , точное управление, отличная коррозионная стойкость	Чрезвычайно высокая стоимость, сложная очистка высокочастотных выхлопных газов, высокий эксплуатационный риск
Г Р У П П А С Т И А					

3. Оборудование для рафинирования и сепарации

Оборудование	Функция	Спецификация	Описание функции	Преимущества	Недостатки
Фильтр-пресс	Отделяет	Площадь	Использует высокое	Высокая	Износ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	<p>твердые вещества от жидкостей для извлечения соединений вольфрама</p>	<p>фильтрации: 10-100 м², Давление: 0,6-1,6 МПа, Мощность: 5-15 кВт, Производительность: 1-10 т/ч</p>	<p>давление для фильтрации и отделения твердых частиц (например, кристаллов АРТ или Na₂WO₄) от вольфрамовых растворов в гидromеталлургии, оснащен автоматизированными системами разгрузки для извлечения соединений высокой чистоты и повышения чистоты перед сушкой.</p>	<p>эффективность сепарации, высокая автоматизация, простота в эксплуатации</p>	<p>фильтровальной ткани, высокие первоначальные вложения, ограниченное воздействие на липкие материалы</p>
<p>Центрифуга</p>	<p>Отделяет кристаллы вольфрамовых соединений от растворов</p>	<p>Скорость: 1000-5000 об/мин, Объем: 50-500 л, Мощность: 10-30 кВт, Коэффициент сепарации: 500-2000 Г</p>	<p>Использует высокоскоростное вращение для создания центробежной силы, отделяя кристаллы вольфрама (например, АРТ, Na₂WO₄) от растворов; имеет коррозионностойкие барабаны, идеально подходящие для быстрой и эффективной очистки в малых и средних производствах.</p>	<p>Быстрая сепарация, кристаллы высокой чистоты, универсальность</p>	<p>Высокая стоимость оборудования, сложное обслуживание, чувствительность к размеру частиц</p>
<p>Кристаллизатор</p>	<p>Контролирует рост кристаллов вольфрама</p>	<p>Объем: 1-20 м³, Температура: 20-100°C, Скорость перемешивания: 50-150 об/мин, Скорость охлаждения: 0,5-2°C/мин</p>	<p>Точно контролирует температуру, скорость перемешивания и охлаждения для получения однородных кристаллов из растворов вольфрамата (например, АРТ или Na₂WO₄), часто</p>	<p>Высокое качество кристаллов, строгий контроль, подходит для серийного производства</p>	<p>Длительное время кристаллизации, высокое энергопотребление, чувствительность к параметрам процесса</p>

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			оснащен циркуляционными системами охлаждения для оптимизации качества кристаллов для производства с высокой степенью чистоты.		
Ректификационная колонна	Очищает летучие соединения вольфрама (например, WF ₆)	Высота: 5-15 м, Температура: 0-200°C, Давление: 0,01-1 атм, Производительность перегонки: 0,5-5 л/ч	Отделяет летучие примеси (например, HF) от WF ₆ с помощью дистилляции, оснащён конденсаторами и коррозионно-стойким покрытием (например, Hastelloy), используемым для производства WF ₆ высокой чистоты, отвечающей строгим стандартам полупроводниковой промышленности.	Высокая чистота на выходе, точное разделение, идеально подходит для летучих соединений	Дорогостоящее оборудование, высокое энергопотребление, сложный монтаж и обслуживание
					ГРУППА CTIA

4. Оборудование для сушки и последующей обработки

Оборудование	Функция	Спецификация	Описание функции	Преимущества	Недостатки
Ротационная сушилка	Порошковые соединения Dries, полученные методом гидromеталлургии	Диаметр барабана: 1-2 м, Температура: 100-300°C, Мощность: 20-50 кВт, Производительность: 1-5 т/ч	Сушка гидromеталлургических соединений вольфрама (например, WO ₃ , H ₂ WO ₄ или APT) до состояния с низкой влажностью с помощью вращающегося барабана и циркуляции горячего воздуха, оснащённых устройствами	Непрерывная работа, равномерная сушка, высокая производительность	Высокое энергопотребление, большая занимаемая площадь, ограниченное воздействие на мелкие порошки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			рекуперации пыли, пригодных для непрерывного крупносерийного производства.		
Распылительная сушилка	Распыление и сушка растворов вольфрамовых соединений в порошок	Температура на входе: 150-400°C, Температура на выходе: 80-120°C, Расход распыления: 10-100 л/ч, Мощность: 30-100 кВт	Распыляет растворы вольфрама (например, Na ₂ WO ₄) под высоким давлением в горячий воздух, быстро высушивая их в наноразмерные порошки (например, W-VO ₃), идеально подходящие для дорогостоящих продуктов, часто оснащенных эффективными системами рекуперации тепла.	Мелкие и однородные частицы, быстрое высыхание, идеально подходит для наноматериалов	Высокая стоимость оборудования, высокое энергопотребление, чувствительность к концентрации раствора
Вакуумная печь	Высушивает чувствительные вольфрамовые соединения при низкой температуре под вакуумом	Температура: 50-200°C, Вакуум: 0,01-0,1 МПа, Объем: 50-500 л, Мощность: 5-15 кВт	Высушивает чувствительные металлоорганические соединения вольфрама (например, W(CO) ₆) в вакууме при низких температурах для предотвращения термического разложения или окисления, подходит для постобработки небольших партий ценных продуктов в лабораториях или прецизионного производства.	Защищает чувствительные материалы, равномерное высыхание, низкое энергопотребление	Ограниченная производительность, длительное время сушки, непригодность для крупносерийного производства
Г Р У П П А С Т И А					

5. Вспомогательное и экологическое оборудование

Оборудование	Функция	Спецификация	Описание функции	Преимущества	Недостатки
--------------	---------	--------------	------------------	--------------	------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

<p>Скруббер</p>	<p>Очищает кислотные выхлопные газы (например, HF, HCl) от производства</p>	<p>Производительность: 1000-10000 м³/ч, Соотношение жидкости и газа: 2-5 л/м³, Материал: Коррозионностойкий полипропилен или нержавеющая сталь, Мощность: 10-50 кВт</p>	<p>Поглощает кислые выхлопные газы (например, HF, HCl от производства WF₆ или WCl₆) с помощью растворов щелочей (например, NaOH) с многоступенчатым распылением, обеспечивая соответствие экологическим стандартам (например, GB 16297-1996) и защищая работников и окружающую среду.</p>	<p>Эффективная очистка выхлопных газов, коррозионная стойкость, соответствие экологическим стандартам</p>	<p>Высокие первоначальные инвестиции, комплексная очистка сточных вод, высокие эксплуатационные расходы</p>
<p>Система очистки сточных вод</p>	<p>Нейтрализует и удаляет ионы вольфрама из сточных вод</p>	<p>Производительность: 1-20 м³/ч, Регулировка pH: 6-9, Эффективность выпадения осадков: >99%, Мощность: 5-20 кВт</p>	<p>Нейтрализует и осаждает ионы вольфрама из гидromеталлургических сточных вод с помощью реагентов (например, Ca(OH)₂), обеспечивая соответствие сбросам (Вт < 1 мг/л), оснащен отстойниками и фильтрами, обычно используемыми для управления окружающей средой на крупных производственных линиях.</p>	<p>Высокая эффективность удаления, соответствие экологическим требованиям, автоматизация</p>	<p>Высокие инвестиционные и эксплуатационные затраты, большая занимаемая площадь, требует регулярного технического обслуживания</p>
<p>Пылеуловитель</p>	<p>Улавливает пыль вольфрамовых соединений</p>	<p>Эффективность фильтрации: >99,9%, Расход воздуха: 5000-20000 м³/ч, Мощность: 10-30 кВт, Выбросы: ≤ 10 мг/м³</p>	<p>Использует мешочную или электростатическую технологию для улавливания пыли от производства WO₃ или APT, предотвращая загрязнение воздуха и защищая здоровье работников, соблюдая стандарты выбросов (например, GB 16297-1996 ≤ 30 мг/м³).</p>	<p>Высокая эффективность удаления пыли, простота в эксплуатации, защита здоровья работников</p>	<p>Частая замена фильтровальных рукавов, высокая начальная стоимость, ограниченное воздействие на ультрадисперсную пыль</p>

Г Р У П П А С Т И А

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Примечания

Источники данных

Спецификации основаны на *Руководстве по проектированию оборудования для химического машиностроения*, промышленных стандартах (например, GB 16297-1996, EU IED) и описаниях технологических процессов в книге, дополненных типичными данными поставщиков.

Описания функций и преимущества/недостатки основаны на практическом применении в химическом производстве вольфрама, что обеспечивает актуальность.

Усовершенствование функций

Описания функций были расширены (например, «Использует высокое давление для фильтрации и отделения твердых веществ от растворов вольфрамата, отделяя их от жидкостей») для выравнивания количества слов с другими столбцами (~50-80 слов), подчеркивая конкретные роли в процессе (например, обжиговая печь для пирометаллургии WO_3 , ректификационная колонна для очистки WF).

Преимущества и недостатки:

Преимущества

Подчеркните эффективность, долговечность или экологические преимущества при выборе оборудования.

Недостатки:

Обратите внимание на энергопотребление, техническое обслуживание или сложность эксплуатации для получения практических рекомендаций.

Исключения

Охватывает все химические вещества вольфрама (например, WO_3 , Na_2WO_4 , WF_6) из книги, за исключением порошка вольфрама, порошка карбида вольфрама и твердых металлов по запросу.

Раздел с ценами удален, акцент сделан на технических характеристиках, чтобы избежать влияния рыночных колебаний.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com