

**Московская предпрофессиональная олимпиада
технологического направления**

**«Нanomатериалы в
электронной технике»**

**Лектор – руководитель департамента химии МФТИ,
к.ф.-м.н. Сигарев Андрей Алексеевич**

**18 февраля 2017 г.
12:00 в рамках сбора участников**

Нanomатериалы — это материалы, сформированные с использованием наночастиц или нанотехнологий

Нanomатериалы или наноструктуры - это объекты, один из характерных размеров которых имеет величину в интервале **от 1 до 100 нм (10^{-9} - 10^{-7} м).**

Объекты, относящиеся к наноматериалам:

(термины 7-й Международной конференции по нанотехнологиям (Висбаден, 2004))

- **наночастицы,**
- **нанотрубки и нановолокна,**
- **нанодисперсии (коллоиды),**
- **наноструктурированные поверхности и пленки,**
- **нанокристаллы и нанокластеры.**

Для электронных технологий особенно актуальны такие объекты:

- **наноструктурированные поверхности и пленки,**
- **нанокристаллы и нанокластеры,**
- **наночастицы и нанотрубки.**

По назначению наноматериалы делятся на:

- композиционные,
- конструкционные,
- функциональные.

По количеству измерений наноматериалы и наноструктуры делятся на:

- **нульмерные** (квантовые точки, сфероидные наночастицы),
- **одномерные** (нанотрубки, нановолокна),
- **двумерные** (поверхности разделов, тонкие пленки и слои),
- **трехмерные** (нанокристаллы, нанокластеры, многослойные наноструктуры, сверхрешетки).

Современная кремниевая микро- и наноэлектроника развивается по пути решения двух главных технологических задач:

- (1) дальнейшего увеличения степени интеграции микросхем и**
- (2) обеспечения стабильно высокого процента выхода годных микросхем с заданными технико-экономическими показателями.**

Решение этих задач требует:

- больших финансовых и материальных затрат,**
- высокого уровня развития сопутствующих технологий и**
- высокого уровня квалификации работников в области микро- и наноэлектроники.**

В настоящее время минимальные размеры диодов, транзисторов и других активных элементов серийно выпускаемых кремниевых микросхем составляют 90-45 нм и в перспективе могут быть уменьшены до 28 нм.

Основные источники микрочастиц и других загрязнений при производстве интегральных микросхем

- 1. Осаждение отслоившихся наноразмерных частиц металлических, диэлектрических или резистных пленок при проведении процессов жидкостного, плазмохимического или ионного травления**
- 2. Микро- и наночастицы, состоящие из продуктов реакций, происходящих в процессах химического осаждения из газовой фазы**
- 3. Образование полимерных микрочастиц в процессах ионного или плазмохимического травления**
- 4. Обратное распыление материалов при облучениях и обработках микросхемы в пучках ионов**
- 5. Отслаивание пленок при избыточных технологических воздействиях или из-за плохой адгезии**

Требования к химическим веществам и реактивам, используемым при производстве интегральных микросхем:

- совместимость с полупроводниковыми материалами и другими материалами и веществами, используемыми при производстве и эксплуатации микросхем,**
- высокая эффективность,**
- чистота,**
- химическая стабильность,**
- сравнительно малая токсичность,**
- негорючесть,**
- взрывобезопасность,**
- приемлемая стоимость.**

Основные марки химических реактивов по чистоте (РФ)

Марка по чистоте	Обозначение	Содержание основного вещества	Содержание примесей
Технический	т.	< 95%	
Очищенный	очищ.	до 95%	
Чистый	ч.	> 98%	
Чистый для анализа	ч.д.а.	99%	
Химически чистый	х.ч.	99,9%	$10^{-3} - 10^{-5}$
Спектрально чистый	сп.ч.	> 99,9%	$10^{-3} - 10^{-5}$
Особо чистый	ос.ч. или о.х.ч	> 99,999%	$10^{-5} - 10^{-10}$

Реактивы марки «особо чистый»:

- имеют сравнительно высокую себестоимость и
- предназначены для использования в специальных технологиях в промышленности полупроводниковых материалов, микроэлектроники, радиоэлектроники, квантовой электроники.

Реактивы квалификации «особо чистый» нередко называются также «сверхчистыми» или «ультрачистыми» реактивами.

Классы (А, В, С) и подклассы веществ высокой и особой чистоты

(металлы, полупроводники и ряд других классов веществ)

Подкласс	Содержание основного компонента, %	Содержание примесей, %
A1	99,9	10⁻¹
A2	99,99	10⁻²
B3	99,999	10⁻³
B4	99,9999	10⁻⁴
B5	99,99999	10⁻⁵
B6	99,999999	10⁻⁶
C7	99,9999999	10⁻⁷
C8	99,99999999	10⁻⁸
C9	99,999999999	10⁻⁹
C10	99,9999999999	10⁻¹⁰

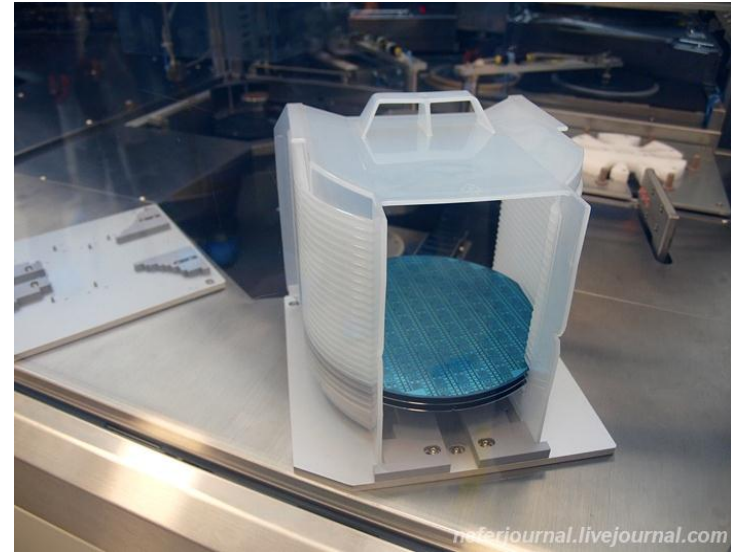
Основные методы получения особо чистых и сверхчистых химических реактивов (краткая характеристика)

- кристаллизация/перекристаллизация,
- зонная плавка,
- химическое осаждение,
- транспортные реакции,
- дистилляция, ректификация,
- экстракция,
- ионный обмен и адсорбция,
- электрохимические методы,

ряд других методов, включая

- ультрафильтрацию растворов.

Кремний – основа большинства микросхем



Фотографии из фоторепортажа с завода "Микрон"

Источник: neferjournal.livejournal.com

www.stepandstep.ru/catalog/your-tape/114338/zavod-mikron---krupneyshaya-mikroelektronnaya-kompaniya-v-sng.html

Назначение химическим реактивов в технологических операциях при производстве полупроводниковых интегральных микросхем

В.З. Петрова, Н.А. Ханова, В.И. Гребенькова и др.. *Химия в микроэлектронике*. Ч. I.
Учебное пособие.- М.: Изд. МГИЭТ(ТУ), 1995. - 351 с.

Вещества	Назначение	Технологическая операция
CCl₄, CH₃Cl, C₂H₃Cl₃, C₂H₅OH, C₃H₂O₃, HCl, H₂SO₄, HNO₃, HF, KOH, NH₄OH, H₂O₂	Удаление органических и неорганических загрязнений, выявление p-n переходов, дислокаций	Обработка поверхности полупроводниковых пластин, структур
Металлоорганические соединения, комплексные соединения металлов, гидриды	Получение порошков и пленок чистых металлов (Al, W, Cr, Ru, Au, Ag и др.) и их сплавов	Получение сверхчистых проводников
Оксиды (BaO, ZnO, Al₂O₃, MgO, BeO, SiO₂, PbO, B₂O₃, P₂O₅, TiO₂, Nb₂O₅ и др.)	Получение высокочистых диэлектрических материалов, керамических материалов, стекол, ситаллов и композиционных материалов.	Получение сверхчистых диэлектриков
Металлоорганические соединения, тетраэтоксисилан, растворимые соли металлов	Получение высокочистых диэлектрических материалов из растворов методом низкотемпературного синтеза	Получение сверхчистых диэлектриков
SiO₂, GeO₂, SiCl₄, GeCl₄, GaCl₃, AsH₃, InCl₃, PH₃, ZnCl₂, H₂S и др.	Получение порошков, пленок и слитков кремния, германия, полупроводников A^{IV}B^{VI}, A^{III}B^V, A^{IV}B^{IV} и др.	Получение сверхчистых полупроводников

Вещества	Назначение	Технологическая операция
BCl₃, BH₃, PCl₃, PCl₅, AsCl₅, AsH₃ , элементоорганические соединения	Обеспечение диффузии легирующей примеси в объем полупроводника	Легирование полупроводников
H₂O, SiCl₄, N₂, NH₃ , тетраэтоксисилан и др.	Получение пленок оксида и нитрида кремния	Формирование подзатворного диэлектрика в МДП-структурах
Оксиды (BaO, ZnO, Al₂O₃, MgO, SiO₂, B₂O₃, TiO₂ , и др.)	Получение пленок неорганических стекол, ситаллов, ситаллоцементов	Формирование межслойной изоляции
Позитивные и негативные фоторезисты, электронные резисты, рентгенорезисты (каучуки, полиэферы, смолы и др.)	Свето-, электроно- и рентгеночувствительные защитные пленки при травлении, локальном окислении или осаждении диэлектрических и полупроводниковых слоев	Создание заданной топологии на поверхности прибора
Оксиды (SiO₂, PbO, B₂O₃, P₂O₅, ZnO и др.)	Получение пленок стекловидных диэлектриков на поверхности интегральных микросхем	Защита поверхности
Оксиды (Al₂O₃, MgO, Li₂O, SiO₂, B₂O₃ и др.)	Металлокерамические, стеклянные, керамические, пластмассовые корпуса, заливка компаундом	Герметизация интегральных схем

В.З. Петрова, Н.А. Ханова, В.И. Гребенькова и др.. *Химия в микроэлектронике*. Ч. I. Учебное пособие.- М.: Изд. МГИЭТ(ТУ), 1995. - 351 с.

Методы контроля состояния поверхности кремниевых пластин и подложек (краткая характеристика)

Для эффективного контроля механических поверхностных загрязнений могут использоваться:

- электронная микроскопия,**
- оптическая микроскопия,**
- зондовая микроскопия (атомно-силовая микроскопия),**
- метод регистрации лазерного излучения, рассеянного при отражении от поверхности пластины и ряд других методов анализа.**

Органические и неорганические загрязнения на поверхности кремниевых пластин могут эффективно контролироваться с использованием таких высокочувствительных методов анализа поверхности:

- электронная Оже-спектроскопия,**
 - рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия,**
 - вторично-ионная масс-спектроскопия,**
 - отражательно-абсорбционная ИК спектроскопия,**
 - спектроскопия комбинационного рассеяния**
- и ряда других методов анализа.

Основные методы формирования тонких пленок в технологиях электроники

(краткая характеристика методов)

1. Молекулярно-лучевая эпитаксия.
2. Распылительное осаждение.
3. Термическое напыление.
4. Импульсное лазерное осаждение.
5. Химическое осаждение из газовой фазы.
6. Атомно-слоевое осаждение.
7. Анодное окисление.
8. Термическое окисление.
9. Химическое осаждение из растворов.
10. Послойное нанесение мультимолекулярных слоев поверхностно-активных веществ (метод Ленгмюра-Блоджетт).

**Некоторые свойства аморфных диэлектрических пленок
оксида кремния и нитрида кремния,
полученных парогазовым методом осаждения**

	Оксид кремния (SiO₂)	Нитрид кремния (Si₃N₄)
Температура подложки при осаждении, °С	700	700 – 800
Показатель преломления	1,46	2,1
Удельное сопротивление, Ом·см	10¹⁷	10¹⁶

Журнал Наноматериалы и наноструктуры

Главный редактор академик РАН Сигов А.С.



Периодичность - 4 выпуска в год.
ISSN 2225-0999

Литература.

1. Красников, Г.Я., Зайцев, Н.А. *Физико-технологические основы обеспечения качества СБИС. Часть I.* - М.: Изд-во "МИКРОН-ПРИНТ", 1999. - 226 стр.
2. Моро, У. *Микролитография: В 2-х ч.* - М.: Мир, 1990. Часть 1 - 605 с., часть 2 – 632 с.
3. Петрова, В.З., Ханова, Н.А., Гребенькова, В.И. и др.. *Химия в микроэлектронике. Ч. I.* Учебное пособие.- М.: Изд. МГИЭТ(ТУ), 1995. - 351 с.
4. Пул Ч., Оуэнс Ф. *Нанотехнологии.* – М: Техносфера, 2007. – 336 с.
5. Рамбиди,, Н. Г. *Физические и химические основы нанотехнологий: [учеб. пособие для вузов] / Н. Г. Рамбиди, А. В. Березкин .— М. : Физматлит, 2009 .— 456 с.*
6. *Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники: [учеб. пособие для вузов] / Дж. М. Мартинес-Дуарт, Р. Дж. Мартин-Палма, Ф. Агулло-Руеда ; пер. с англ. А. В. Хачояна ; под ред. Е. Б. Якимова.— 2-е изд., доп. — М. : Техносфера, 2009 .— 368 с.*
7. *Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий: в 2 т. : [учеб. пособие для вузов] / [под общ. ред. Ю. Н. Коркишко] .— М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2011 .— 252 с. : ил. - Библиогр.: с. 243-248. - 790 экз. - ISBN 978-5-9963-0336-6 (в пер.) .— (Нанотехнологии) .— Т. 2 : Технологические аспекты / [М. В. Акуленок и др.]. - 2011. - 252 с.*

Литература (продолжение).

8. Пасынков В.В. Материалы электронной техники: учебник для студ. вузов/ В. В. Пасынков, В. С. Сорокин .— 5-е изд., стереотип. — СПб. : Лань, 2003 .— 368с.
9. Получение и исследование наноструктур: лабораторный практикум по нанотехнологиям/ [А. А. Евдокимов и др.] ; под ред. А. С. Сигова .-М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2010. -146 с.
10. Раскин, А. А. Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники: учеб. пособие для вузов/А. А. Раскин, В. К. Прокофьева.-М.:БИНОМ. Лаб. знаний. Ч. 1.-2010.-164 с.
11. Рощин, В. М. Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники [:учеб. пособие для вузов/В. М. Рощин, М. В. Силибин.-М.:БИНОМ. Лаб. знаний. Ч. 2.-2010.-180 с.
12. Щука, А. А. Наноэлектроника: учебник для бакалавриата и магистратуры / А. А. Щука; под общ. ред. А. С. Сигова .— М : Юрайт, 2017 .— 297 с.
13. Шишкин, Г. Г. Наноэлектроника. Элементы, приборы, устройства: учеб. пособие для вузов / Г. Г. Шишкин, И. М. Агеев .— М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2012 .— 408 с.
14. Щука, А. А. Наноэлектроника: учеб. пособие для вузов / А. А. Щука ; под ред. А. С. Сигова .— 2-е изд. — М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2012, 2013 .— 342 с.
15. Методы анализа поверхностей/ Под ред. А. Зандерны.- М.: Мир, 1979.- 582 с