

***ПРОЕКТИРОВАНИЕ И  
ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ  
ИНТЕГРАЛЬНОЙ  
ЭЛЕКТРОНИКИ***

***ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЛОИ И  
МЕТОДЫ ИХ НАНЕСЕНИЯ***

# **Функции диэлектрических слоев в технологии изделий интегральной электроники**

**В технологии изделий интегральной электроники диэлектрические слои используют для:**

- планаризации топографического рельефа поверхности;**
- для изоляции между проводящими слоями;**
- в качестве материалов подзатворных и конденсаторных диэлектриков;**
- в качестве масок при диффузии и ионной имплантации;**
- в качестве источников примеси при диффузии из легированных пленок;**
- для геттерирования примесей;**
- для пассивации активной структуры ИМС от примесей, влаги механических повреждений.**

# Области применения диэлектрических слоев

| <b>Подза-<br/>творны<br/>й<br/>диэлек-<br/>трик</b> | <b>Изоляция</b>                      | <b>Пассивация</b>                                                            | <b>Конденса-<br/>торный<br/>диэлектрик</b>                                                                        | <b>Маски-<br/>рующий<br/>слой</b>         |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| $\text{SiO}_2$<br>$\text{Si}_3\text{N}_4$           | $\text{SiO}_2$<br>ФСС<br>БФСС<br>БСС | $\text{SiO}_2$<br>$\text{Si}_3\text{N}_4$<br>ПКЛК<br>$\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{SiO}_2$<br>$\text{Si}_3\text{N}_4$<br>$\text{Al}_2\text{O}_3$<br>$\text{TiO}_2$<br>$\text{Ta}_2\text{O}_5$ | $\text{SiO}_2$<br>$\text{Si}_3\text{N}_4$ |

# ***Требования к свойствам диэлектрических слоев***

- Электрофизические;***
- Химические;***
- Физические;***
- Технологические.***

# **Электрофизические свойства**

- **Высокое напряжение электрического пробоя;**
- **Оптимальная диэлектрическая проницаемость;**
- **Низкие диэлектрические потери;**
- **Высокое удельное электрическое сопротивление.**

# ***Химические свойства***

- ***Контролируемый химический состав;***
- ***Стабильность химического состава;***
- ***Геттерирование ионов щелочных металлов;***
- ***Низкое содержание примесей;***
- ***Осаждение при низкой температуре.***

# **Физические свойства**

- **Отсутствие пор, микротрещин, дисперсных включений, раковин;**
- **Низкие остаточные напряжения;**
- **Однородная толщина слоев;**
- **Хорошая адгезия к нижележащим слоям;**

# ***Технологические свойства***

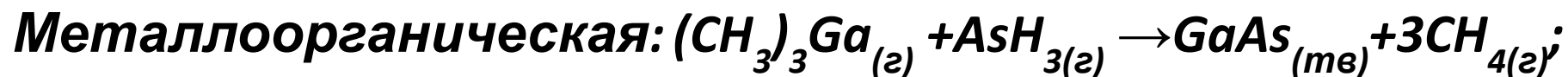
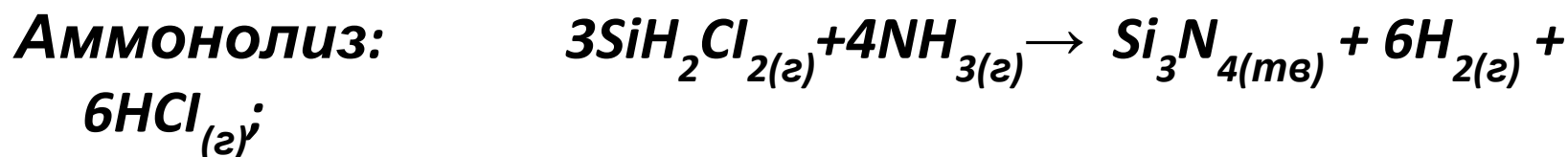
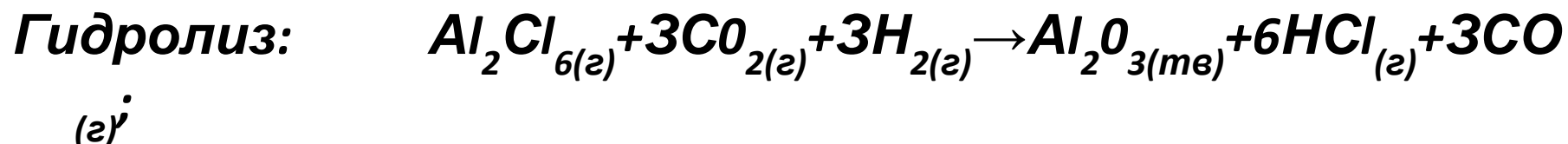
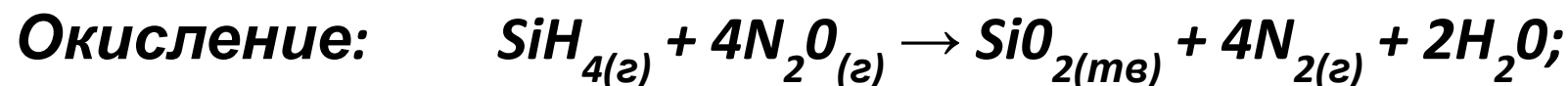
- ***Конформное покрытие ступенек рельефа;***
- ***Совместимость со структурой ИМС и требованиям к ее характеристикам;***
- ***Возможность формирования рисунка с помощью прецизионной фотолитографии и селективного травления;***
- ***Возможность оплавления для сглаживания рельефа при***

# **Формирование слоев химическим осаждением из газовой фазы (ХОГФ)**

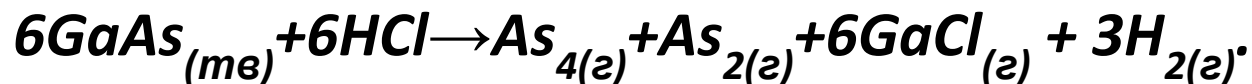
**Химическое осаждение из газовой фазы - процесс, при котором вещества, находящиеся в газовой фазе, образуют твердый продукт, вступая в химическую реакцию на поверхности подложки или вблизи нее.**

**ХОГФ позволяет получить практически все функциональные слои, используемые в производстве ИИЭ.**

# Типы химических реакций при ХОГФ



Химический перенос:



# Основные реакции, используемые при

## ХОГФ

| Материал пленки | Реагенты             | Температура осаждения, °С |
|-----------------|----------------------|---------------------------|
| $SiO_2$         | $SiH_4 + CO_2 + H_2$ | 850 – 950                 |
|                 | $SiCl_2H_2 + N_2O$   | 850 – 950                 |
|                 | $SiH_4 + N_2O$       | 750 – 850                 |
|                 | $SiH_4 + NO$         | 650 – 750                 |
|                 | $Si(OC_2H_5)_4$      | 650 – 750                 |
|                 | $SiH_4 + O_2$        | 400 – 450                 |
| $Si_3N_4$       | $SiH_4 + NH_3$       | 700 – 900                 |
|                 | $SiCl_2H_2 + NH_3$   | 650 – 750                 |
| ПХ нитрид       | $SiH_4 + NH_3$       | 200 – 350                 |
|                 | $SiH_4 + N_2$        | 200 – 350                 |
| ПХ оксид        | $SiH_4 + NO$         | 200 – 350                 |
| Поликремний     | $SiH_4$              | 600 – 650 <sub>11</sub>   |

# **Преимущества ХОГФ**

- **Широкий спектр химических реакций; высокая чистота пленок;**
- **Качественное воспроизведение топологического рельефа;**
- **Высокая адгезия пленок к нижележащим слоям;**
- **Отсутствие или уменьшение радиационных повреждений;**
- **Селективность процесса осаждения;**
- **ХОГФ–процессы являются базовой технологией создания диэлектриков и проводников вплоть до 7 нм технологии**

# Кинетические стадии ХОГФ

- массоперенос** реагентов **к подложке**;
- адсорбция** реагентов на поверхности подложки;
- поверхностная диффузия и **химическая реакция** на поверхности подложки;
- десорбция** газообразных продуктов с поверхности подложки;
- массоперенос** газообразных продуктов **от подложки**.

# **Типы энергии для инициирования и поддержания реакции при ХОГФ**

- Термически активируемые реакции;
- Реакции с плазменной активацией процесса (PECVD);
- Реакции, индуцируемые фотонами - фотохимические и фоточувствительные реакции (PHCVD), в т.ч. лазерное осаждение (LCVD).

Наиболее простым термически активируемым процессом является химическое осаждение из газовой фазы при атмосферном давлении.

# **Особенности ХОГФ с термической активацией**

**Преимущество:** простота процесса.

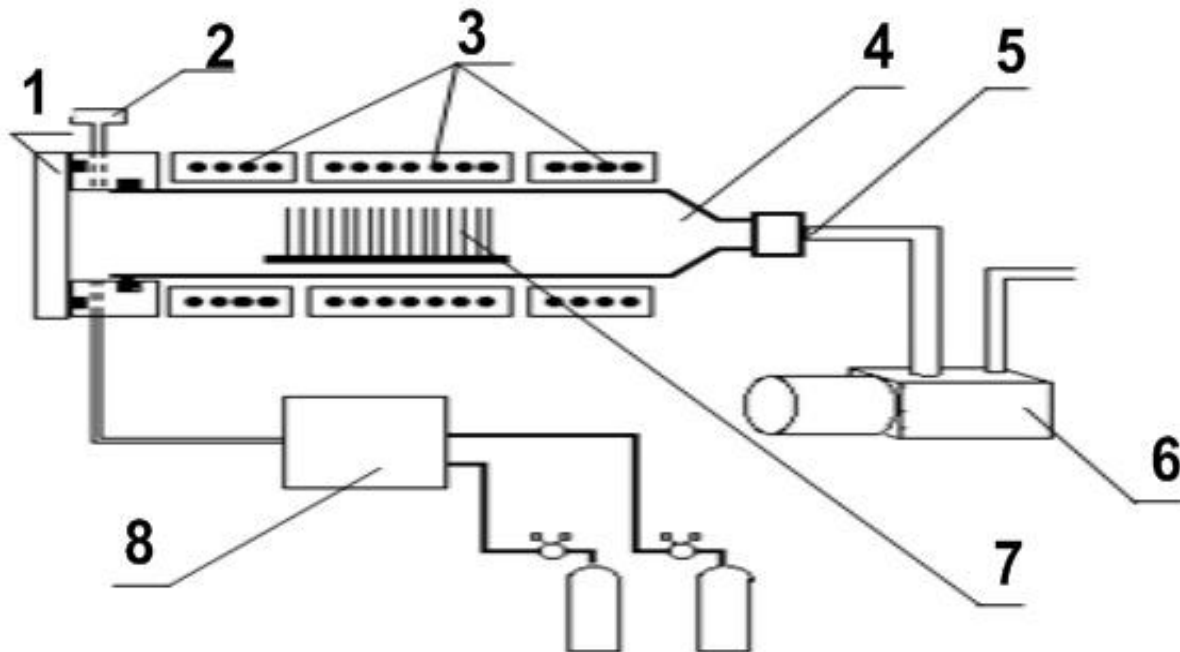
**Недостаток:** тенденция к гомогенному зародышеобразованию, приводящему к формированию мелких частиц, для его предотвращения требуются специальные методы инъекции газов.

# ***Параметры ХОГФ, влияющие на однородность пленок***

- распределение и величина температуры в реакторе ;***
- уровень давления в реакторе и скорости потоков газообразных реагентов.***

***При низком давлении однородность пленок по толщине и качество покрытия ступеньки значительно улучшаются по сравнению с осаждением при атмосферном давлении.***

# **Схема реактора для ХОГФ слоев нитрида кремния, диоксида кремния .. ПКК**



**1 – загрузочный люк; 2 – датчик давления; 3 – 3-х зонный резистивный нагреватель; 4 – кварцевая труба; 5 – ловушка; 6 – вакуумный насос; 7– подложки; 8 – регулятор расхода газа**

# Свойства слоев $\text{SiO}_2$ , осажденных при различных температурах

**Высокотемпературные** процессы:

**Достоинства** - высокая однородность пленок по толщине, большой объем загрузки и возможность обрабатывать подложки большого диаметра.

**Недостатки** - низкая скорость осаждения, использование токсичных, легковоспламеняющихся или способствующих коррозии газов.

**Среднетемпературные** процессы:

**Достоинство** - наилучшее сочетание однородности, скорости осаждения и производительности процесса

**Недостаток** – процесс несовместим с алюминиевой металлизацией.

**Низкотемпературные** процессы:

Худшая однородность и конформность покрытий.

# **низкотемпературное плазмохимическое**

## **осаждение из газовой фазы**

**Осаждение, активируемое плазмой, представляет собой сочетание процесса протекающего в тлеющем разряде, и химического осаждения из газовой фазы при низком давлении.**

**Электрический тлеющий разряд иницируется обычно высокочастотным источником, но может также создаваться источниками переменного тока, постоянного тока либо микроволновыми воздействиями.**

**Происходит образование “горячих” электронов, температура которых может превышать температуру атомов и молекул на один или даже на два порядка.**

**Взаимодействие этих высокоэнергетических электронов с молекулами газа приводит к**

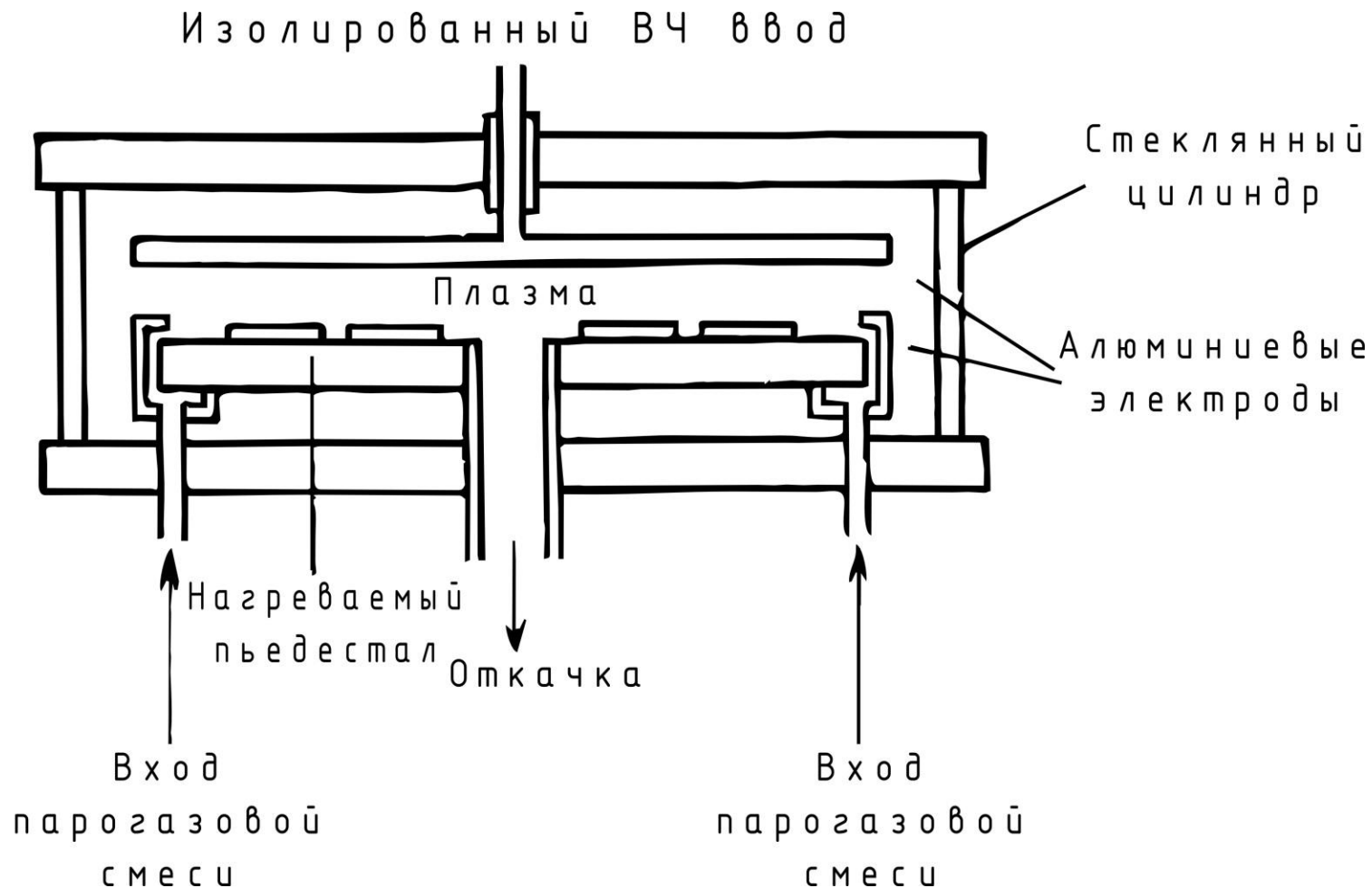
# **Параметры, влияющие на процесс ПХ газофазного осаждения пленок**

- плотность и распределение высокочастотной мощности**
- состав и распределение газовой фазы**
- общее давление в зоне реакции.**

**Преимущество стимулированных плазмой реакций состоит в том, что они происходят при температурах, значительно меньших, чем в случае чисто термических реакций (200-400° C)**

**Плазмохимическое осаждение в таких в реакторах с параллельным расположением пластин используется также в тех случаях, когда необходима очень низкая температура процесса (100–350°С). Например плазмохимический нитрид кремния (SiN).**

# Реактор для ПХ осаждения с параллельным расположением электродов

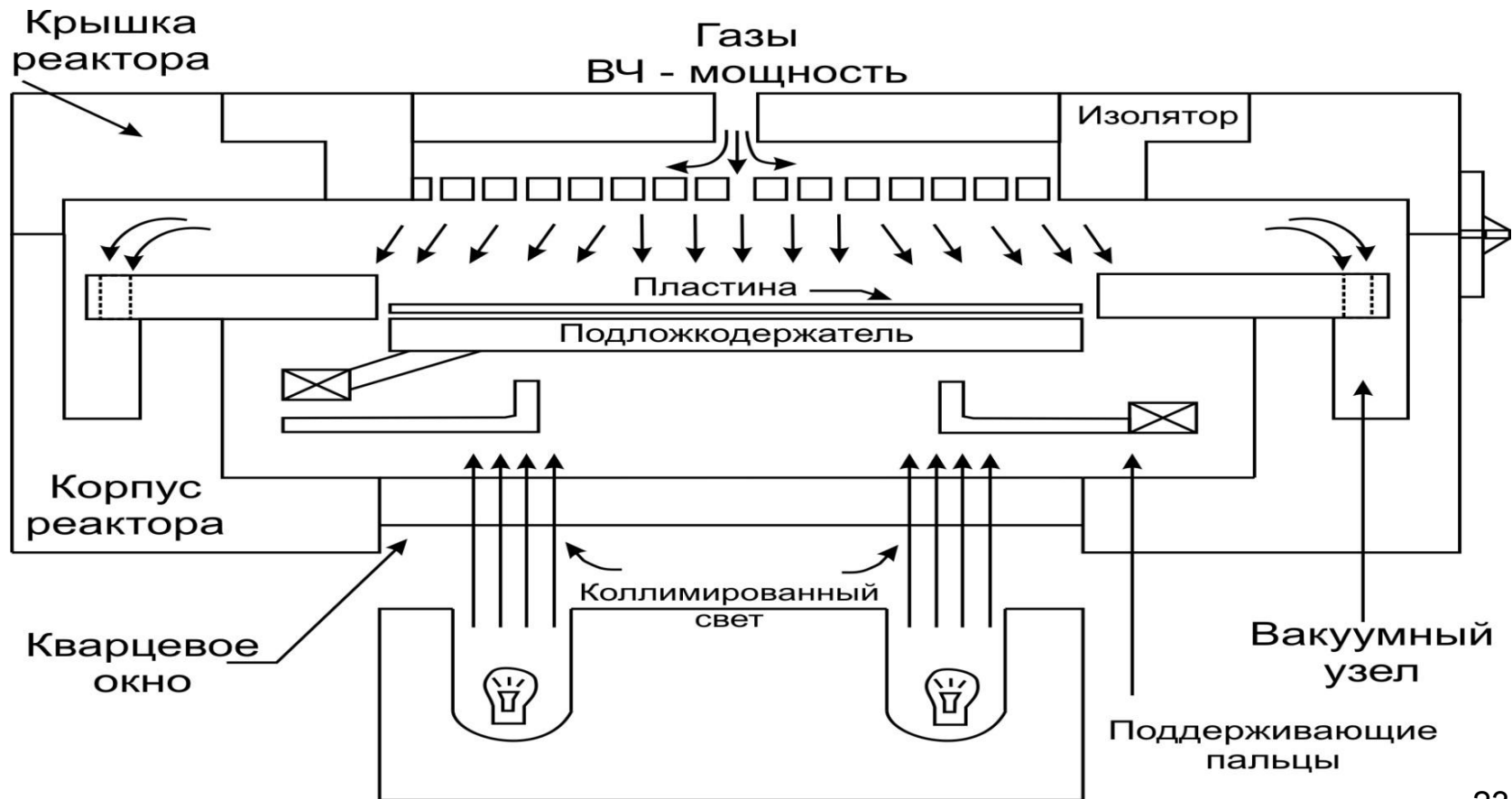


# **Стадии плазмохимического осаждения пленок**

- **загрузка–выгрузка пластин,**
- **откачка,**
- **продувка реактора,**
- **пуск в реактор рабочих газов,**
- **обработка пластин в плазме азота,**
- **осаждение нитрида кремния в плазме низкого давления,**
- **напуск азота до атмосферного давления.**

**При этом используются так называемые «мягкие» режимы откачки и напуска.**

***Установка для ПХ осаждения  
нитрида и оксида кремния с  
поштучной обработкой пластин  
“Precision-5000 CVD”***



# **Атомно–слоевое осаждение (ALD)**

**Атомно–слоевое осаждение (ALD процесс) – представляет собой последовательность самоограничивающихся поверх-ностных реакций при низкой температуре, обеспечивающих осаждение монослойных пленок.**

**Рост таких пленок полностью управляется поверхностью подложки. Это основано на отдельных, последовательно выполняемых поверхностных реакциях между подложкой и каждым прекурсорным химикатом.**

**При атомно-слоевом осаждении пленки выращиваются послойно с моноатомной точностью.**

**Покрытия при ALD обеспечиваются гораздо лучше, чем при использовании метода ХОГФ**

**Недостатком ALD является только его дороговизна.**

# ***Материалы, получаемые ALD***

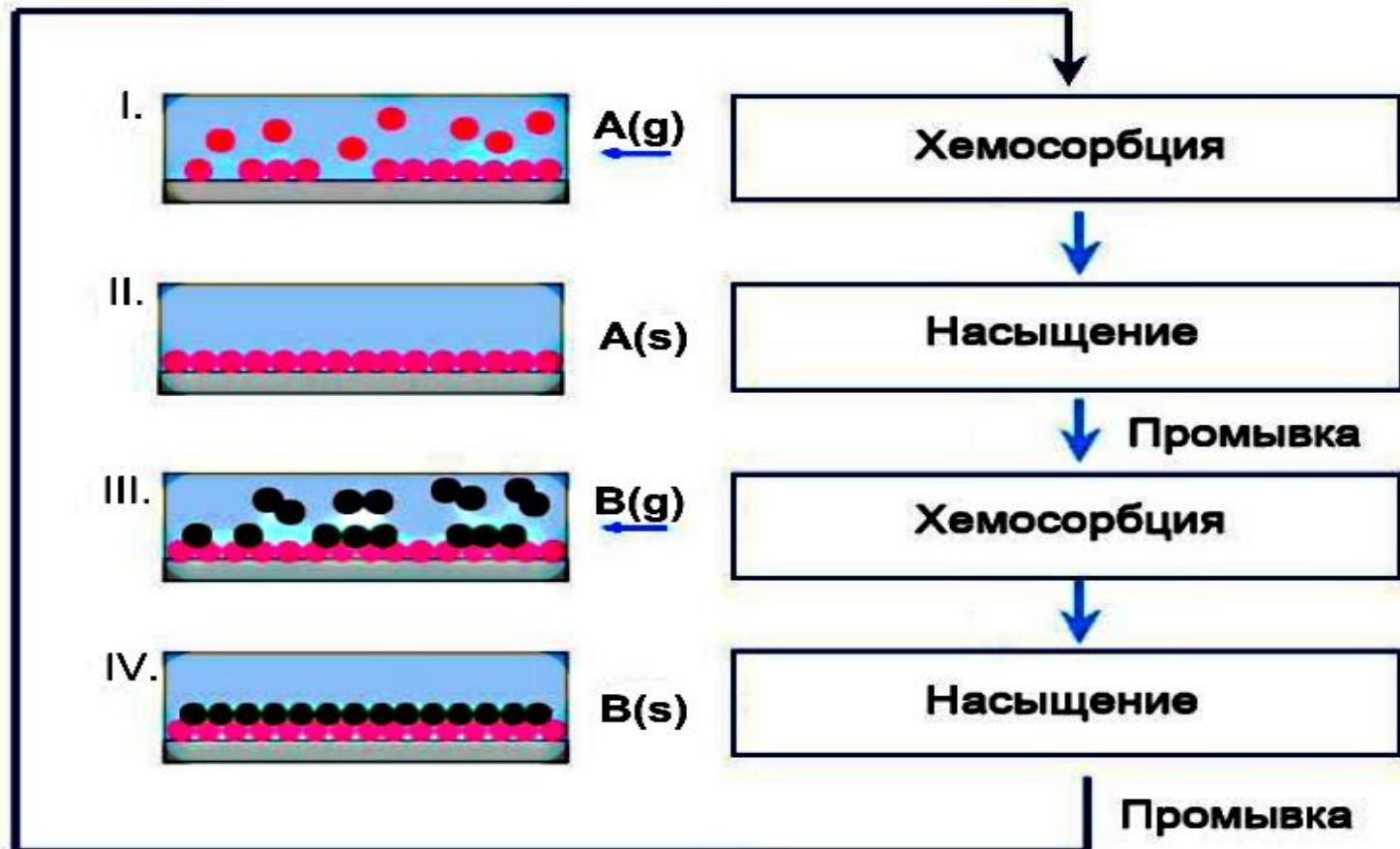
***Оборудование для ALCVD, позволяющее получать:***

- пленки диэлектриков, в том числе и многослойных оксидов;***
- прозрачные проводники и полупроводники,***
- нитриды,***
- фториды,***
- соединения II–VI и другие материалы.***

***Кроме того, разрабатываются процессы формирования металлов, таких как тантал и медь.***

***Методом атомно–слоевого осаждения можно получать: чистые материалы (C, Al, Si, Ti, Fe, Co, Ni, Ge и др.), оксиды, нитриды, соединения углерода с Si, Se, Te и другие соединения.***

# Схема адсорбционно-селективного осаждения (молекулярная сборка из газовой фазы)



# **пленки, получаемые центрифугованием из растворов кремнийорганических соединений (НЦР – пленки)**

**Для планаризации многоуровневой металлизированной разводки СБИС и УБИС широко используются пленки, полученные центрифугованием из кремнийорганических пленкообразующих растворов (НЦР–пленки – *Spin-On-Glass (SOG)*).**

**Состав полученного из раствора слоя практически соответствует оксиду кремния, что позволяет использовать эти слои в качестве составной части межуровневого диэлектрика. При этом свойства таких слоев близки к свойствам плазмо-химического оксида кремния.**

**Преимущества:**

- низкая стоимость и энергоемкость используемого при этом оборудования,**
- низкая токсичность используемых реагентов,**
- простота утилизации продуктов реакции.**

# **Материалы для формирования НЦР-пленок**

**Для создания планаризирующих пленок используются пленкообразующие растворы, содержащие соединения, разлагающиеся при сравнительно низких температурах.**

**Материалами могут быть продукты гидролитической поликонденсации либо органополи-силоксаны, такие как полисилан, полисилоксан, полисилазан и т.д., либо алкоксисиланы или другие кремний-органические соединения, которые при гидролитической поликонденсации образуют силоксановые цепи, склонные к поли-меризации.**

# **Процесс нанесения НЦР-пленок**

- 1. Пластина размещается на столике центрифуги при включенной вытяжной вентиляции;**
- 2. На пластину подается необходимое количество НЦР-материала, при этом пластина неподвижна или вращается со скоростью около 300 об/мин .**
- 3. При высокой скорости вращения (около 3000 об/мин) в течение 5–11 секунд, материал покрывает всю пластину.**
- 4. Чередование вращения и пауз.**
- 5. Скорость вращения пластины уменьшается до 1500 об/мин. На этой скорости проводится отмывка обратной стороны пластины, а при необходимости и удаление краевого буртика.**
- 6. Сушка пластины, которая проводится при скорости около 3000 об/мин в течение около 10 секунд .**

**Окончательное формирование пленки осуществляется путем термообработки в диффузионной печи в атмосфере азота (со скоростью потока 2–6 л/мин) или кислорода при температуре 350–450°С.**

# **Применение НЦР–пленок**

- для сглаживания рельефа поликремниевой разводки (диэлектрик под первым металлом);**
- для формирования межуровневого диэлектрика (в том числе и диэлектриков с низкой диэлектрической проницаемостью,**
- для формирования пассивирующих слоев .**

**В настоящее время НЦР–пленки широко используются для изоляции узкими полосками, а также при производстве микроэлектромеханических приборов, при получении антиотражающих покрытий в оптике .**