

**Одинокое В.В., Долгополов В.М., Иракин П.А.,  
Панин В.В.**

*АО «НИИ точного машиностроения»*

## **Технологическое оборудование для глубокого травления кремния, мелкощелевой изоляции, удаления фоторезиста и атомно-слоевого осаждения**

*Представлена следующая группа установок: установка глубокого анизотропного травления кремния, установка травления гладких траншей для щелевой изоляции, установка атомно-слоевого осаждения с плазменной активацией и установка плазменного удаления фоторезиста и полимеров. Рассмотрены принцип действия и структурная схема установок.*

**Ключевые слова:** Глубокое анизотропное травление кремния, ICP реактор, травление гладких траншей, атомно-слоевое осаждение, удаление фоторезиста.

В рамках программы импортозамещения разработано специальное технологическое оборудование для проведения на пластинах диаметром 200 мм процессов:

- анизотропного травления кремния на глубину более 100 мкм;
- травление гладких траншей для щелевой изоляции;
- удаления фоторезистивной маски и остатков полимеров после процесса глубокого травления кремния;
- атомно-слоевого осаждения диэлектрических и барьерных слоев с плазменной активацией.

### **Установка глубокого анизотропного травления кремния**

Установка предназначена для проведения процесса высокоскоростного глубокого анизотропного травления кремния на базе Bosch-процесса в технологии TSV (through silicon via) при формировании отверстий в кремнии на глубину более 100 мкм. Процесс глубокого анизотропного травления (Bosch-процесс) является двухстадийным и циклическим. На первой стадии (рисунок 1) осуществляется быстрое изотропное травление кремния в плазме SF<sub>6</sub> газа, на второй - осаждение полимерной пленки во фторуглеродной плазме. Эти стадии циклически повторяются. На первой стадии следующего цикла под действием ионной бомбардировки происходит быстрое удаление пассивирующей пленки со дна канавки, с последующим удалением кремния. На боковых стенках пассивирующая пленка остается, за счет отсутствия ионной компоненты при ее травлении.

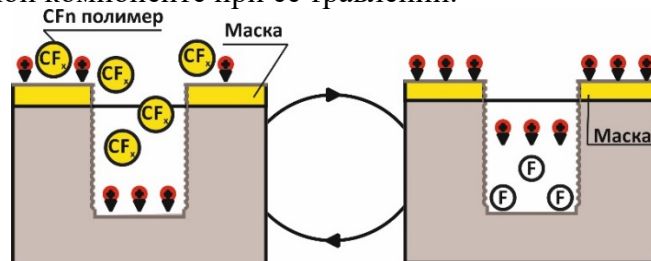


Рис. 1. Схематическое представление последовательности поверхностных реакций, формирующих один цикл Bosch процесса.

Основное преимущество Bosch процесса являются контролируемый и стабильный профиль травления, достаточная селективность к маске, высокая скорость травления и аспектное соотношение. Основным недостатком – шероховатость стенок вследствие цикличности травления.

На рисунке 2а представлена схема, а на рисунке 2б фото установки глубокого анизотропного травления и поштучной загрузкой пластин диаметром до 200 мм с помощью шлюзовой камеры.

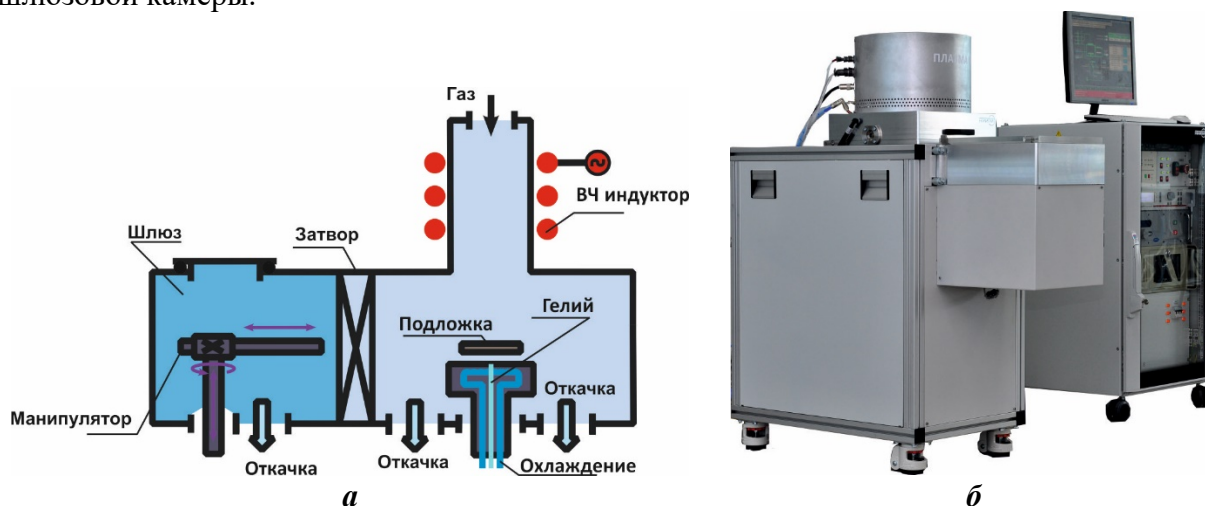


Рис. 2. Схема (а) и фото (б) установки глубокого анизотропного травления, с поштучной загрузкой пластин диаметром до 200 мм с помощью шлюзовой камеры.

### Экспериментальные данные

Глубокое анизотропное травление (рисунок 3) проводилось через отверстий диаметром 13 мкм при следующих параметрах процесса, приведенных в таблице 1. Неравномерность травления по пластине диаметром 150мм составила  $\pm 3,5\%$ .

Таблица 1. Режимы травления отверстий диаметром 13 мкм

Расход, л/ч			Давление, Па	Мощность, Вт		Смещение, В	Кол-во циклов SF <sub>6</sub>	Время, с	
Ar	SF <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>		Источника плазмы	Столика			C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>
3	6	2,2	9	500	10	30	260	11	4

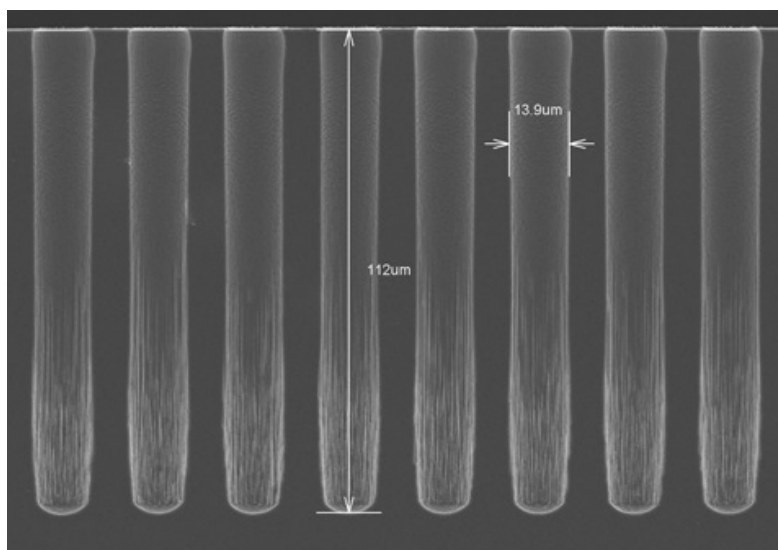


Рис. 3. Травления отверстий диаметром 13 мкм.

### Установка травление гладких траншей для щелевой изоляции

Установка предназначена для проведения процессов травления полупроводников и диэлектриков, а так же для травления гладких траншей при формировании щелевой изоляции (shallow trench isolation). Процесс травления кремния с гладкими щелями осуществляется при одновременной подаче в камеру травящего и образующего полимер газа. В результате процессы травления кремния и образования полимера на поверхности пластины происходят одновременно, но за счет смещения травление идет преимущественно в вертикальном направлении (рисунок 4).

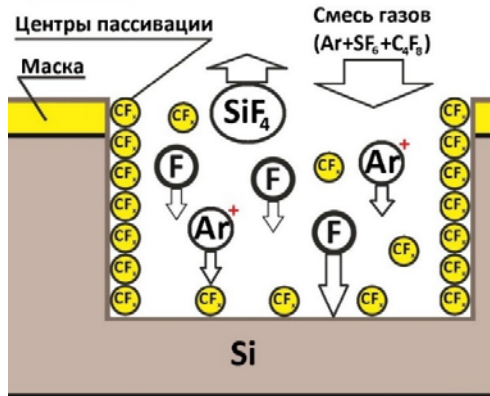


Рис. 4. Схематическое представление поверхностных реакций, формирующих процесс травления с гладкими стенками.

На рисунке 5а представлена схема, а на рисунке 5б фото установки травление гладких траншей для щелевой изоляции, с поштучной загрузкой пластин диаметром до 200 мм с помощью шлюзовой камеры.

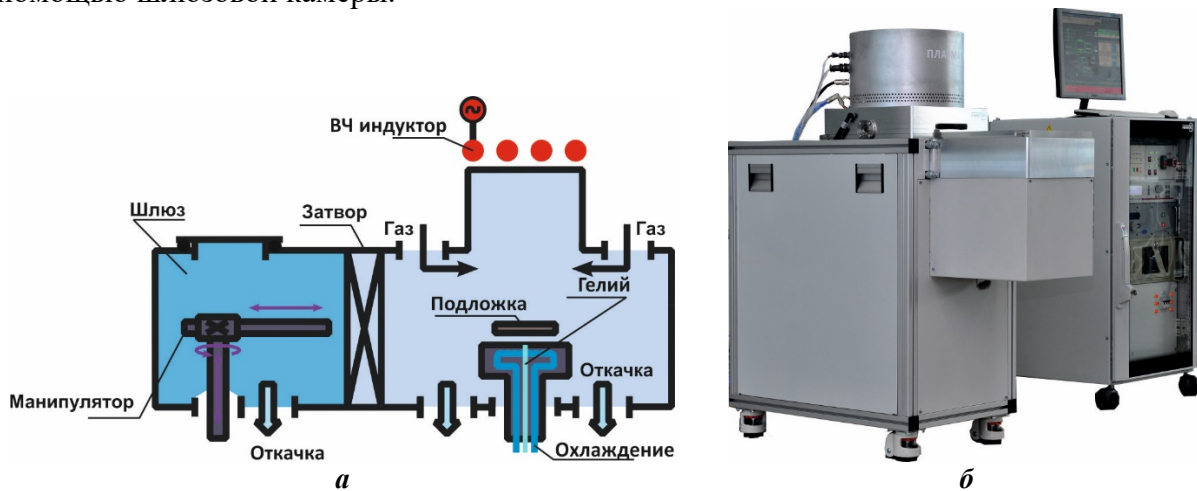


Рис. 5. Схема (а) и фото (б) установки формирования мелкощелевой изоляции, с поштучной загрузкой пластин диаметром до 200 мм через шлюзовую камеру.

### Экспериментальные данные

Процесс травления с гладкими щелями, шириной 1,5 мкм, при следующих режима, приведенных в таблице 1. Равномерность травления по пластине диаметром 150мм составила  $\pm 3,5\%$ .

Таблица 1. Режимы травления отверстий диаметром 13 мкм

Расход, л/ч			Давление, Па	Мощность, Вт		Смещение, В	Время, с
Ar	SF <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>		Источника плазмы	Столика		
3,6	4	6	9	600	20	85	450

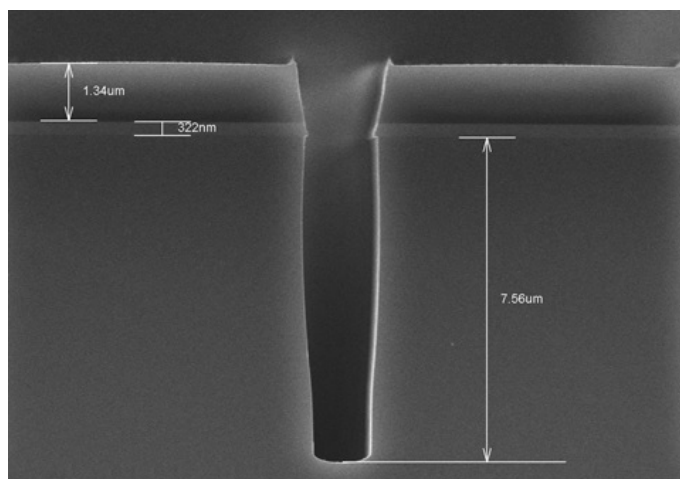


Рис. 6. Травления щелей, шириной 1,5 мкм.

### Установка атомно-слоевое осаждение с плазменной активацией

Установка атомно-слоевое осаждение предназначена для создания тонких пленок с толщиной в нанометровом диапазоне. Кроме того, сверхтонкие покрытия, полученные атомно-слоевым осаждением, обладают рядом уникальных характеристик (конформность, сплошность, стехиометрия), способствующих их применению в различных отраслях. Атомно-слоевое осаждение реализуется в виде повторно-циклируемой химической реакции последовательно адсорбированных на подложке двух реагентов – прекурсоров, продукт реакции которых формирует пленку диэлектрика либо металла. В процессе, фазы сорбции прекурсоров и собственно реакции между прекурсорами перемежаются с продувкой инертным газом и откачкой объема реактора для удаления излишков прекурсоров и газообразных продуктов реакции. Ростовой процесс в каждом цикле самоограничивается толщиной в точности одного монослоя выращиваемой пленки. Схематически фазы атомно-слоевого цикла показаны на Рисунке 7.

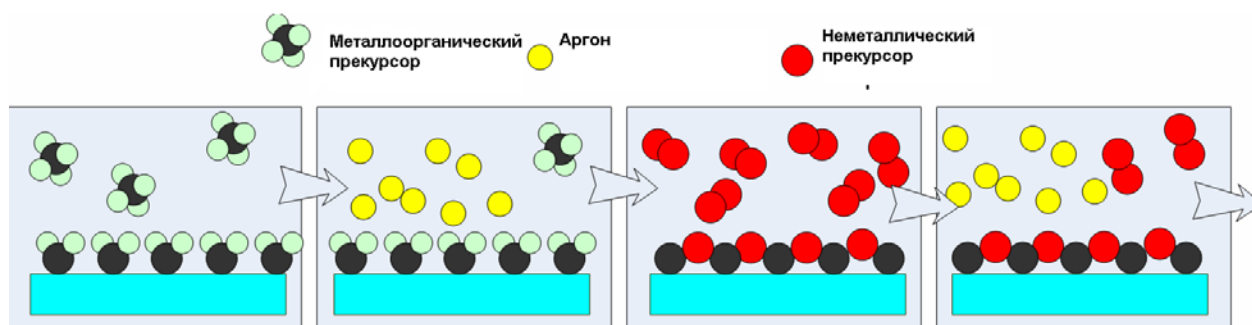


Рис. 7. Схематическое представление последовательности поверхностных реакций, формирующих один цикл АСО.

На рисунке 8а представлена схема, а на рисунке 8б фото установки атомно-слоевого осаждения с плазменной активацией и поштучной загрузкой пластин диаметром до 200 мм с помощью шлюзовой камеры.

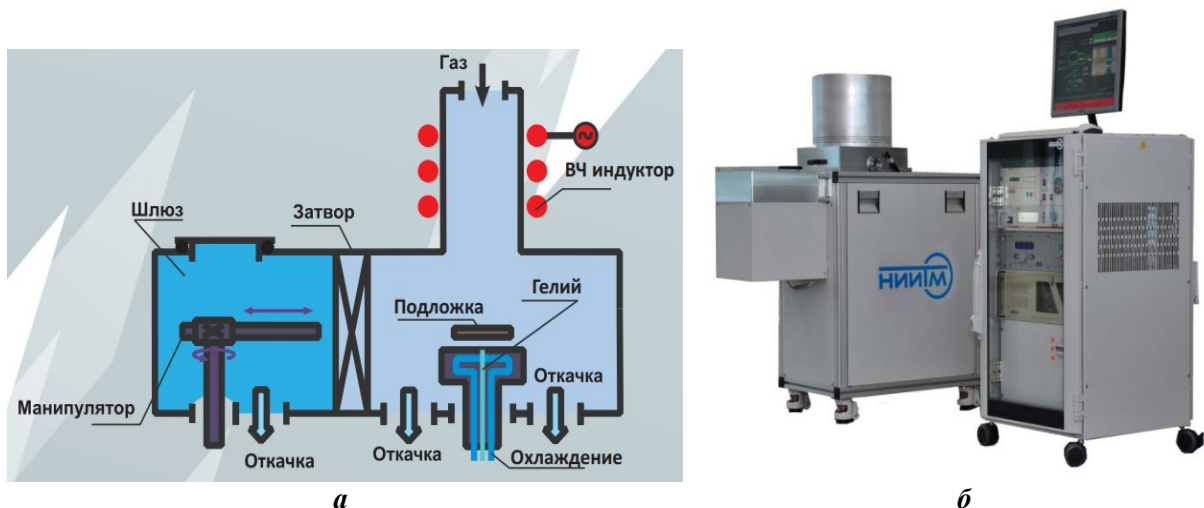


Рис. 8. Схема (а) и фото (б) установки атомно-слоевого осаждения с плазменной активацией и поштучной загрузкой пластин диаметром до 200 мм с помощью шлюзовой камеры.

### Установка очистки

Установка очистки предназначена для проведения процессов удаления фоторезистивной маски, а так же остатков полимеров после процессов глубокого травления кремния в технологиях TSV. Удаление фоторезистивной маски и полимеров проводится в ректоре с удалённым СВЧ источником плазмы. Удаленная плазма изолирует пластину от ионов и электромагнитных полей. Это уменьшает нежелательные эффекты встроенного заряда, которые могут повредить активные области схемы/устройства на пластине. Изотропная обработка происходит с химически активными частицами в отсутствие электромагнитных полей. Кроме того СВЧ (2.45 ГГц) по сравнению с ВЧ (13,56 МГц) плазмой имеет ряд преимуществ. Микроволновая плазма имеет: более высокую концентрацию нейтральных частиц, более высокие скорости удаления фоторезиста и более низкую концентрацию ионизированных частиц, что в свою очередь ведет к меньшему повреждению, вызванному зарядом, более высокой селективностью травления по отношению к нижележащим и проэкспонированным пленкам.

На рисунке 9а представлена схема, а на рисунке 9б фото установки очистки с поштучной загрузкой пластин диаметром до 200 мм с помощью шлюзовой камеры.

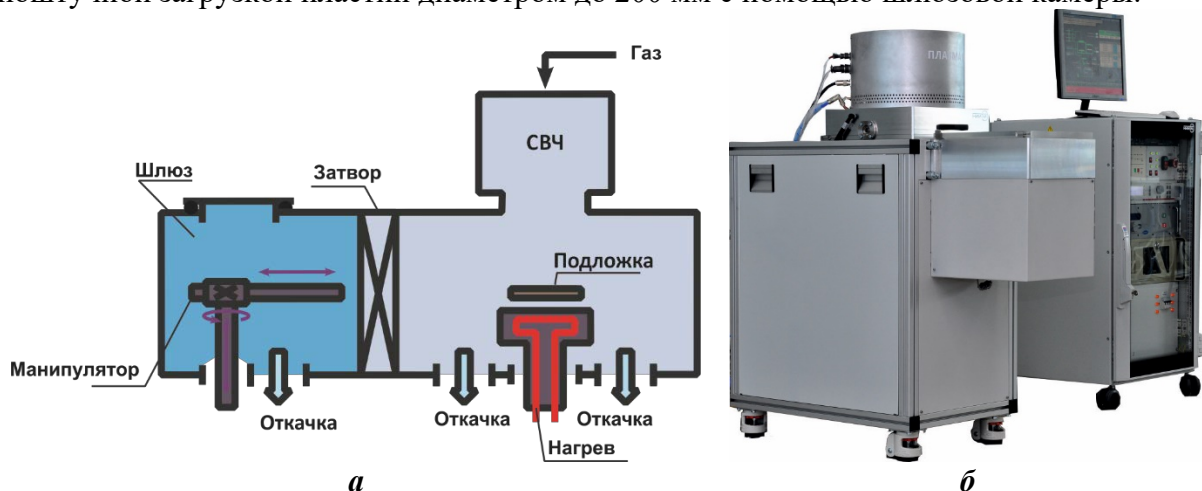


Рис. 9. Схема (а) и фото (б) установки атомно-слоевого осаждения с плазменной активацией и поштучной загрузкой пластин диаметром до 200 мм с помощью шлюзовой камеры.

#### Библиографический список

1. Амиров И.И., Морозов О.В., Кальнов В.А., Лукичев В.Ф., Орликовский А.А. Ключевые процессы технологии микросистемной техники: плазмохимические процессы глубокого анизотропного травления кремния, Нанотехнологии и наноматериалы, №4(66) июль-август, стр. 8-13.
2. Гуцин О.П., Валеев А.С., Чамов А.А., Мицын Н.Г., Долгополов В.М., Одинокое В.В., Немировский В.Э., Иракин П.А. Разработка оборудования и исследование технологии глубокого травления кремния // Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника. 2015. Вып.3 (159). С. 50 – 54.
3. Данила А.В., Долгополов В.М., Иракин П.А., Немировский В.Э., Одинокое В.В., Павлов Г.Я. // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. 2015. Вып. 5 (239). С. 42 – 48.
4. Одинокое В.В., Панфилов Ю.П. Выбор типа вакуумного нанотехнологического оборудования по критерию заданной производительности // Наноинженерия. 2011. №11. С. 7 – 18.