

## Группа установок для глубокого травления кремния, мелкощелевой изоляции, удаления фоторезиста и атомно-слоевого осаждения

*В.В. Одинок, В.М. Долгополов, П.А. Иракин, В.В. Панин*  
Москва, Зеленоград, АО «НИИ точного машиностроения» (АО НИИТМ)  
Российская Федерация, Москва, Зеленоград, 124460, Панфиловский проспект 10  
*vodinokov@niitm.ru*

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

*Group of installations for deep silicon etching, shallow trench isolation, polymer and photoresist plasma stripping and atomic layer deposition. V.V. Odionokov, M.V. Dolgopolov, P.A.Ivakin, V.V. Panin. The following group of installations is presented: installation of deep silicon anisotropic etching, installation of etching of smooth trenches for isolation, installation of atomic layer deposition with plasma activation and installation of polymer and photo resist plasma stripping. The principle of operation and structural scheme of installations are considered.*

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 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 (рис. 1) осуществляется быстрое изотропное травление кремния в плазме  $SF_6$  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 компоненте при ее травлении.

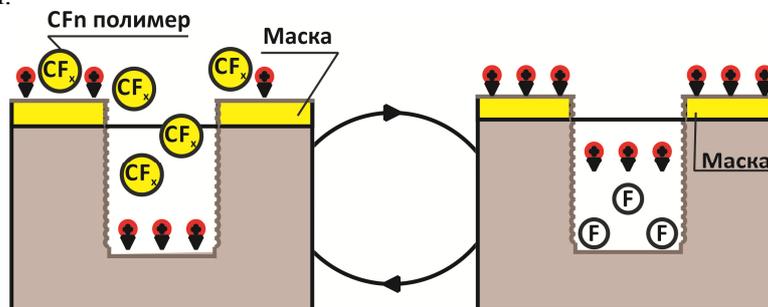
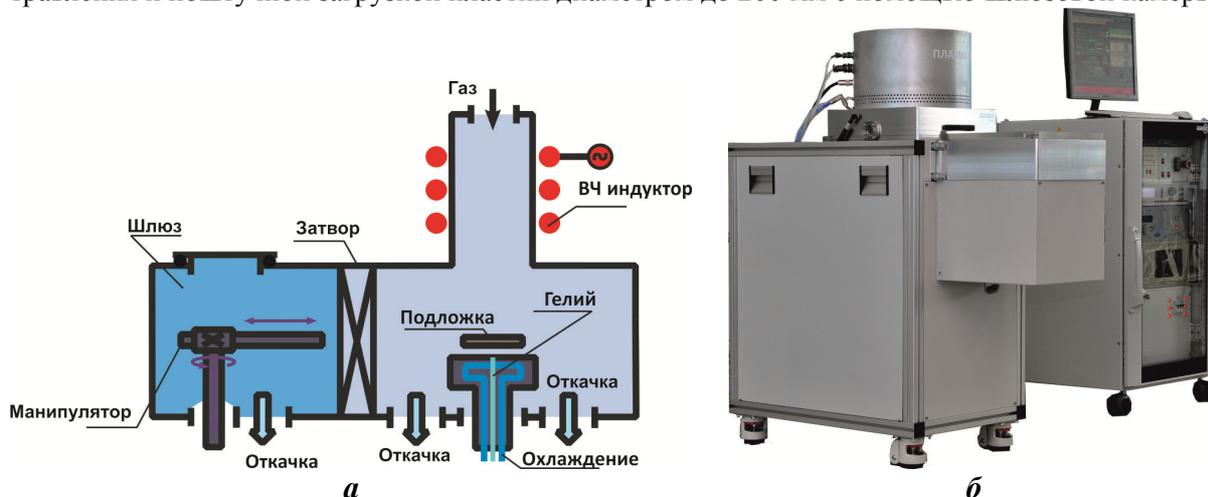


Рис. 1. Схематическое представление последовательности поверхностных реакций, формирующих один цикл Bosch процесса.

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



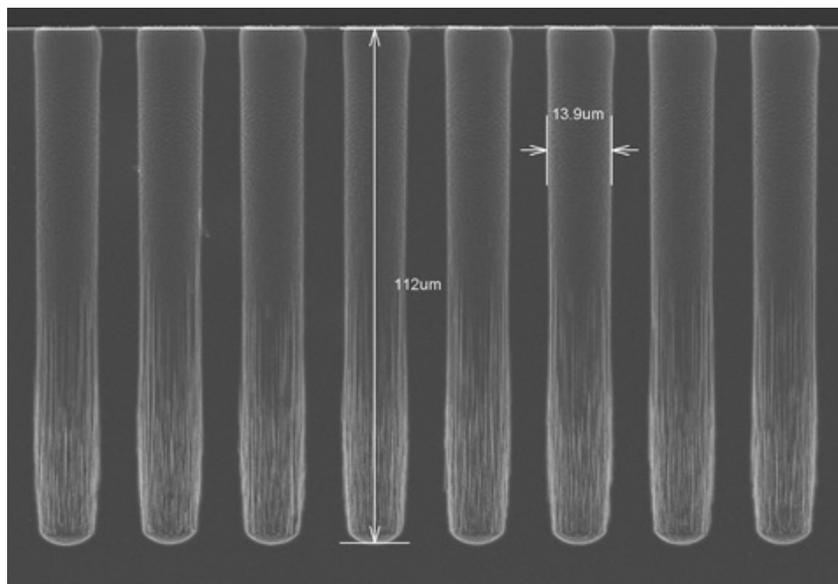
*Рис. 2. Схема (а) и фото (б) установки глубокого анизотропного травления, с поштучной загрузкой пластин диаметром до 200 мм с помощью шлюзовой камеры.*

### 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 (рис. 4).

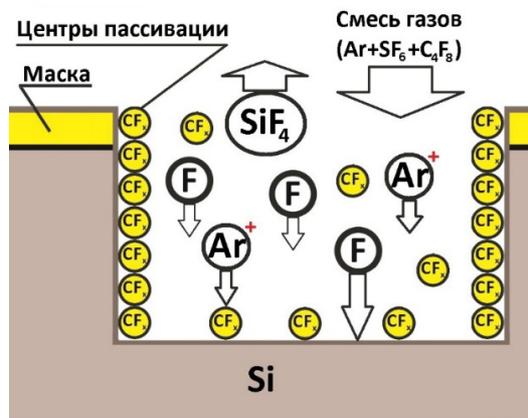


Рис. 4. Схематическое представление поверхностных реакций, формирующих процесс травления с гладкими стенками.

На рис. 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.

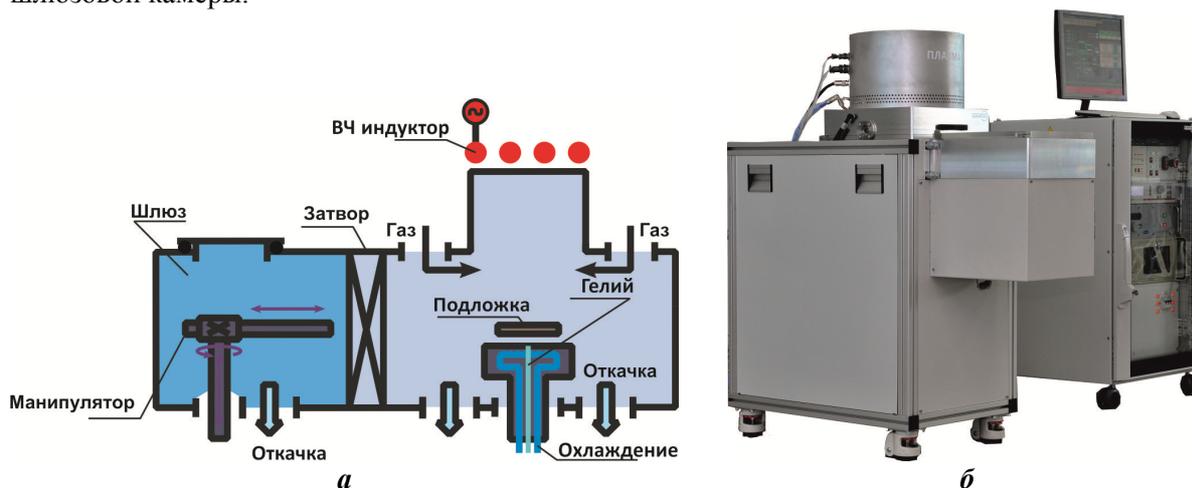


Рис. 5. Схема (а) и фото (б) установки формирования мелкощелевой изоляции, с поштучной загрузкой пластин диаметром до 200 мм через шлюзовую камеру.

### 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

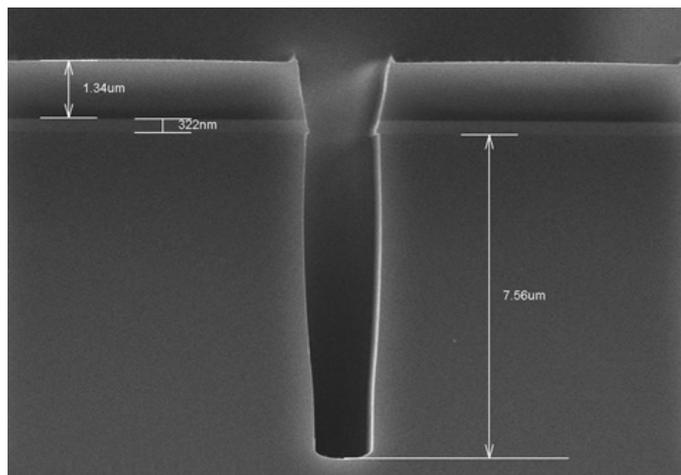


Рис. 6. Травления щелей, шириной 1,5 мкм.

### 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 рис. 7.

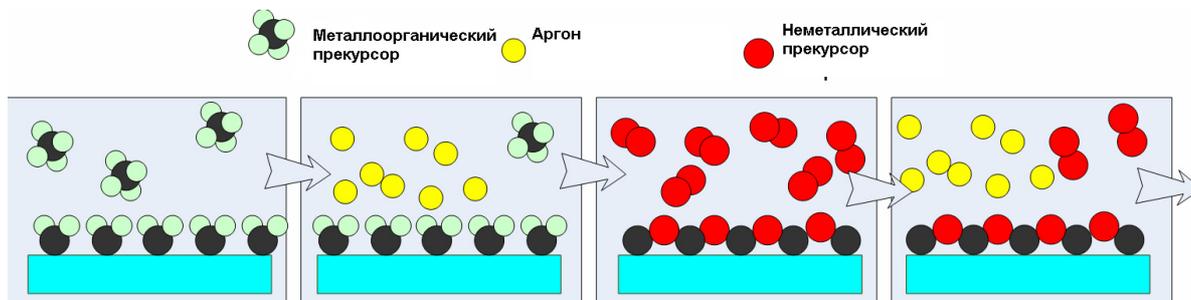


Рис. 7. Схематическое представление последовательности поверхностных реакций, формирующих один цикл АСО.

На рис. 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.

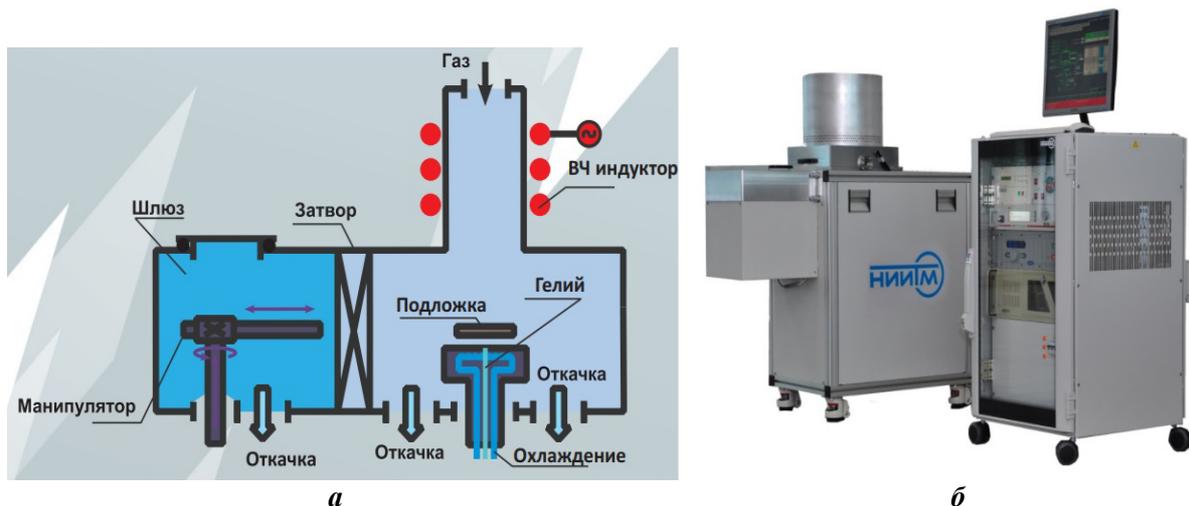


Рис. 8. Схема (а) и фото (б) установки атомно-слоевого осаждения с плазменной активацией и поштучной загрузкой пластин диаметром до 200 мм с помощью шлюзовой камеры.

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

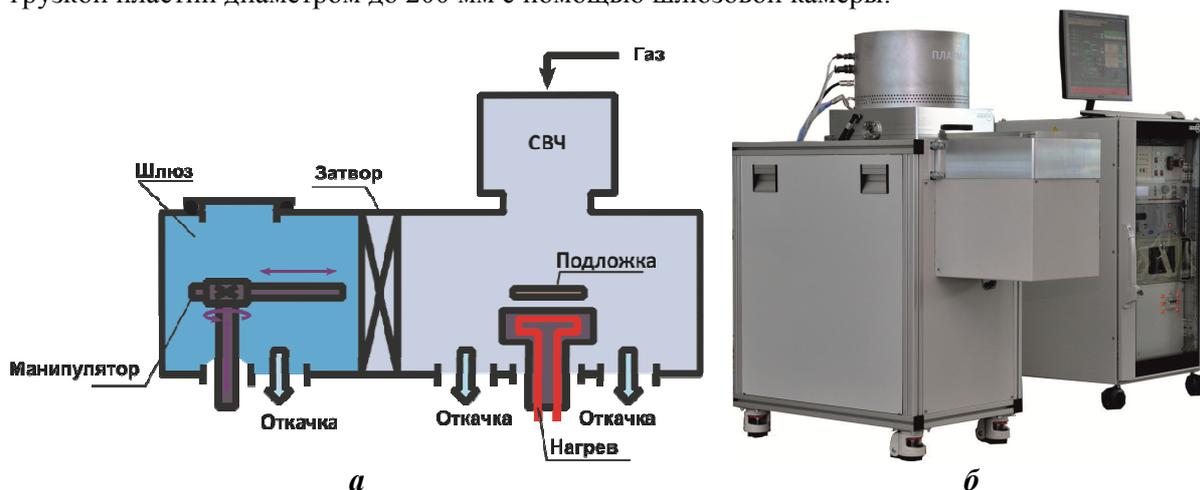


Рис. 9. Схема (а) и фото (б) установки атомно-слоевого осаждения с плазменной активацией и поштучной загрузкой пластин диаметром до 200 мм с помощью шлюзовой камеры.

Литература

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. Гущин О.П., Валеев А.С., Чамов А.А., Мицын Н.Г., Долгополов В.М., Одинокоев 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., Одинокоев В.В., Павлов Г.Я. // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. 2015. Вып. 5 (239). С. 42 – 48.
4. Одинокоев В.В., Панфилов Ю.П. Выбор типа вакуумного нанотехнологического оборудования по критерию заданной производительности // Наноинженерия. 2011. №11. С. 7 – 18.

**Обеспечение квалифицированного цикла активной пайки металллокерамических узлов твердыми припоями в инновационной высоковакуумной камерной электропечи модели СНВЭ-2.4.2/13-ИОП-НИТТИН**

*В.М. Шулаев, Д.А. Оковитый, М.Б. Аскретков, \*\*Ю.К. Грузевич, \*\*Ю.Н. Гордиенко, \*\*Л.М. Бальясный, \*\*Н.М. Недосека*  
*Белгород, ООО «НПП «НИТТИН», ул. Макаренко, 27;*  
*\*\*Москва, ОАО «НПО Геофизика-НВ», ул. Матросская Тишина, д. 23, стр. 2*  
*E-mail: [nittin.ru@gmail.com](mailto:nittin.ru@gmail.com)*

*Сформулированы требования к разработке и изготовлению промышленной инновационной высоковакуумной камерной электропечи сопротивления модели СНВЭ-2.4.2/13-ИОП-НИТТИН для обеспечения квалифицированного цикла активной пайки металллокерамических корпусов (МКК) вакуумных фотоэлектронных приборов (ФЭП). Новый образец промышленной электропечи продемонстрировал существенные преимущества перед циклом пайки МКК в среде водорода, а также исключил операции нанесения и высокотемпературного вжигания металлизации в случае активной пайки в вакууме.*

*Providing the competent cycle of metal ceramics active brazing by means of innovative high-vacuum batch electric furnace produced by NITTIN company. V.M. Shulayev, D.A.Okovityi, M.B. Askryotkov, Yu.K. Gruzevich, Yu.N. Gordienko, L.M. Balyasnyi, N.M.Nedoseka. The requirements for development and manufacturing the industrial innovative high vacuum batch type electric furnace to provide the competent cycle of metal-ceramic embodiments (MCE) active brazing for vacuum photoelectronic devices (PED) have been formulated. The new sample of industrial electric furnace demonstrated essential advantages compared to MCE brazing cycle in hydrogen environment and also excluded the coating deposition and high-temperature firing on metallization in case of the active brazing in vacuum.*

**Введение.** В настоящее время процесс пайки МКК вакуумного фотоэлектронного прибора проводится в двухколпаковой водородной печи типа СГН-2.4-2/13-И2 [1] медным припоем по металлизированным керамическим кольцам из высокоглиноземистой керамики ВК-94-1 или ВК-95 и коваровым деталям. Однако и технологический процесс, и качество применяемых материалов не обеспечивают получения бездефектных МКК.