

СЕКЦИЯ 3. СПЕЦИАЛЬНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Модульный принцип построения вакуумных установок для микроэлектронных технологий

В.В. Одинокоев, В.В. Панин

*Москва, Зеленоград, ОАО «Научно-исследовательский институт точного
машиностроения», Панфиловский проспект, д. 10
e-mail: vodinokov@niitm.ru*

Представлен модульный принцип создания вакуумно-плазменного оборудования для микроэлектронных технологий с использованием различных вариантов загрузки-выгрузки пластин в рабочий модуль (реактор): установки с поштучной ручной загрузкой-выгрузкой пластин, с поштучной загрузкой-выгрузкой пластин из шлюзовой камеры манипулятором, с поштучной загрузкой-выгрузкой пластин манипулятором из кассеты-в-кассету в шлюзовой камере, а также оборудование кластерного типа. Рабочие модули установок обеспечивают высокие требования к процессам плазмохимического травления.

The modular principle of vacuum systems creating for microelectronic technologies. V.V.Odinokov, V.V.Panin. The modular principle of creating vacuum-plasma equipment for microelectronic technologies using various options for loading and unloading substrates into a working module (reactor) is presented: systems with single manual loading and unloading substrates, with single loading and unloading substrates from a loadlock by a manipulator, with single loading and unloading substrates with a manipulator from a cassette-to-cassette in a loadlock, as well as cluster type equipment. Working modules of systems provide high requirements to the processes of plasma etching.

Введение

В производстве интегральных схем (ИС) с использованием вакуумных технологий на выход годных ИС существенное влияние оказывает воспроизводимость остаточной газовой среды в вакуумной камере (реакторе), а также исключение попадания на поверхность рабочих пластин инородных частиц (пылинок) при напуске и откачке рабочего объема реактора. Особенно эти факторы негативно оказывают влияние на выход годных ИС с увеличением уровня их интеграции.

На производительность вакуумных установок в большей степени влияет потеря рабочего времени на откачку вакуумного объема до предельного давления и напуск воздуха для его разгерметизации.

Поэтому при проектировании вакуумных установок для современных микроэлектронных технологий необходимо уделять особое внимание перечисленным выводам.

Существуют различные варианты загрузки-выгрузки кремниевых пластин в реактор вакуумного технологического оборудования, представленные на рис. 1:

- поштучная ручная загрузка-выгрузка пластин или группы пластин в рабочий модуль — реактор (рис. 1а);
- поштучная загрузка-выгрузка пластин манипулятором в реактор из шлюзовой камеры (рис. 1б);
- поштучная загрузка-выгрузка пластин манипулятором в реактор из кассеты-в-кассету из шлюзовой камеры (рис. 1в);
- поштучная загрузка-выгрузка пластин манипуляторами в несколько рабочих модулей — реакторов из нескольких шлюзовых камер из кассеты-в-кассету и с использованием

СМИФ (стандартный механический интерфейс) контейнеров – «кластерная система» вакуумного оборудования (рис. 1г).

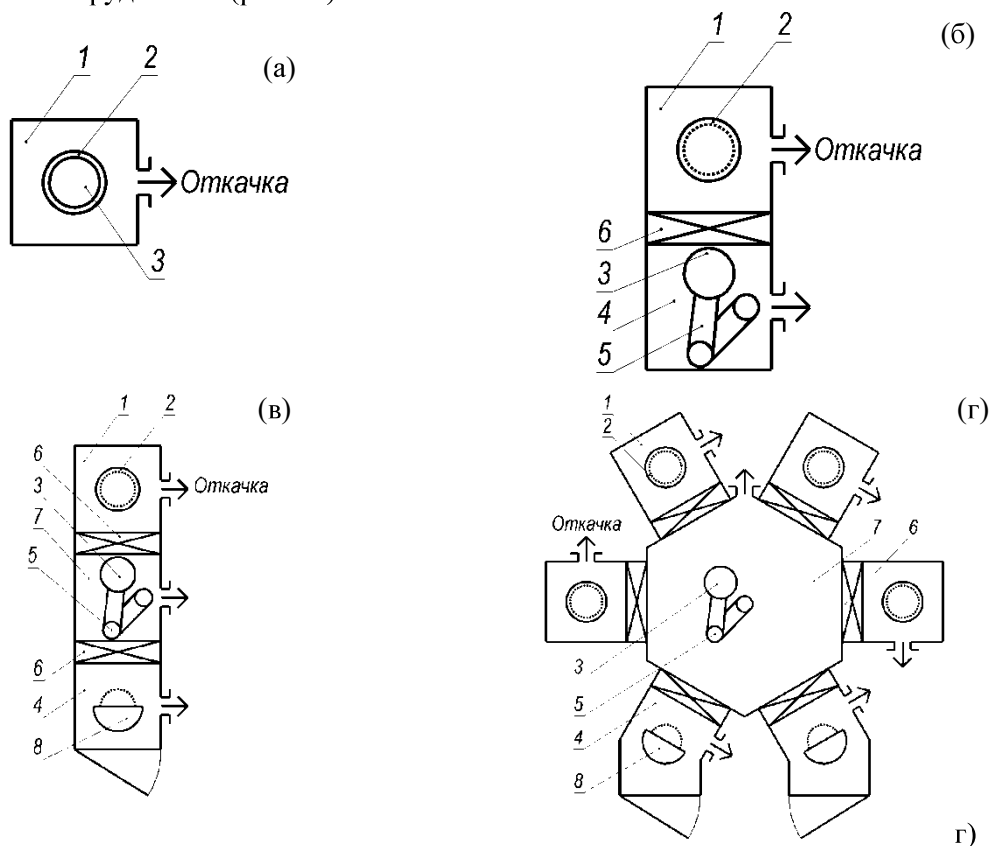


Рис.1. Варианты модульной компоновки вакуумно-плазменных установок.

*1 – рабочий модуль, 2 – столик, 3 – пластина;
4 – загрузочный модуль (шлюзовая камера), 5 – манипулятор, 6 – целевой затвор,
7 – модуль транспортирования, 8 – кассета с пластинами.*

Таблица 1. Варианты модульной компоновки вакуумных установок с точки зрения производительности и выхода годной продукции.

№	Вариант модульной компоновки	Производительность	Выход годных
1	Поштучная ручная загрузка-выгрузка пластин или группы пластин в рабочий модуль – реактор (Рисунок 1а)	Низкая	~40 – 60%
2	Поштучная загрузка-выгрузка пластин манипулятором в реактор из шлюзовой камеры (Рисунок 1б)	Средняя	~60 – 70%
3	Поштучная загрузка-выгрузка пластин манипулятором в реактор из кассеты-в-кассету из шлюзовой камеры (Рисунок 1в);	Высокая	~80 – 90%
4	Поштучная загрузка-выгрузка пластин манипуляторами в несколько рабочих модулей – реакторов из нескольких шлюзовых камер из кассеты-в-кассету и с использованием СМИФ контейнеров – «кластерная система» вакуумного оборудования (Рисунок 1г).	Высокая	~95 – 98%

Основные характеристики

В таблице 1 представлены варианты модульного проектирования вакуумных установок с учетом повышения их производительности и выхода годной продукции.

Поштучная ручная загрузка-выгрузка пластин или группы пластин в рабочий модуль – реактор применяется при обработке небольших партий пластин, а также при невысоких требованиях к остаточной вакуумной среде (рис. 2). Это оборудование имеет небольшую производительность, так как достаточно много времени тратится на откачку до высокого вакуума рабочей камеры и на разгерметизацию её перед выгрузкой пластин. При вскрытии рабочего модуля (реактора) на атмосферу происходит смена состава газовой среды, что ведет к невоспроизводимости рабочей газовой среды и создает дополнительное образование частиц пыли в камере, что существенно влияет на привносимую дефектность и выход годных ИС.



Рис. 2. Фотография модуля установки с поштучной ручной загрузкой-выгрузкой пластин.

Для технологии микрорезисторных производств на пластинах диаметром от 100 до 200 мм необходимо снизить привносимую дефектность и тем самым повысить выход годных изделий. Для этого необходимо применять шлюзовую камеру с расположенным в ней манипулятором, который транспортирует необработанную пластину в рабочий модуль – реактор и возвращает обратно после обработки. За счет небольшого времени на откачку и разгерметизацию небольшого объема шлюзовой камеры увеличивается производительность установки в целом.

В качестве примера по такой схеме была создана установка травления мелкой щелевой изоляции в кремнии, оборудованной поштучной загрузкой-выгрузкой пластин манипулятором в рабочий модуль (реактор) из шлюзовой камеры (рис. 3). При этом рабочий модуль (рис. 2) использовался для стыковки с модулем загрузки-выгрузки из шлюзовой камеры.

Загрузка и выгрузка пластин 13 диаметром от 100 до 200 мм происходит с помощью манипулятора 12 из шлюзовой камеры 1. Предельное давление достигается с помощью средств вакуумной откачки через откачные патрубки 7, 10 и 11. Через затвор 2 манипулятор транспортирует пластину на рабочий стол в рабочем модуле – реакторе 9. Охлаждаемый столик имеет канал подачи гелия 6 под пластину и через согласующее устройство подключен к генератору с частотой 13,56 МГц. Индуктор 4 через согласующее устройство подключен к генератору с частотой 13,56 МГц. Процессные газы подаются в реактор через газовый «душ» 3 и 5. Передача мощности от индуктора в реактор происходит через толстый кварцевый диск. Продукты реакции удаляются средствами вакуумной откачки через откачные патрубки 7 и 10. После завершения технологического процесса манипулятор перемещает обработанную пластину в шлюзовую камеру для ее выгрузки и загрузки новой необработанной пластины.

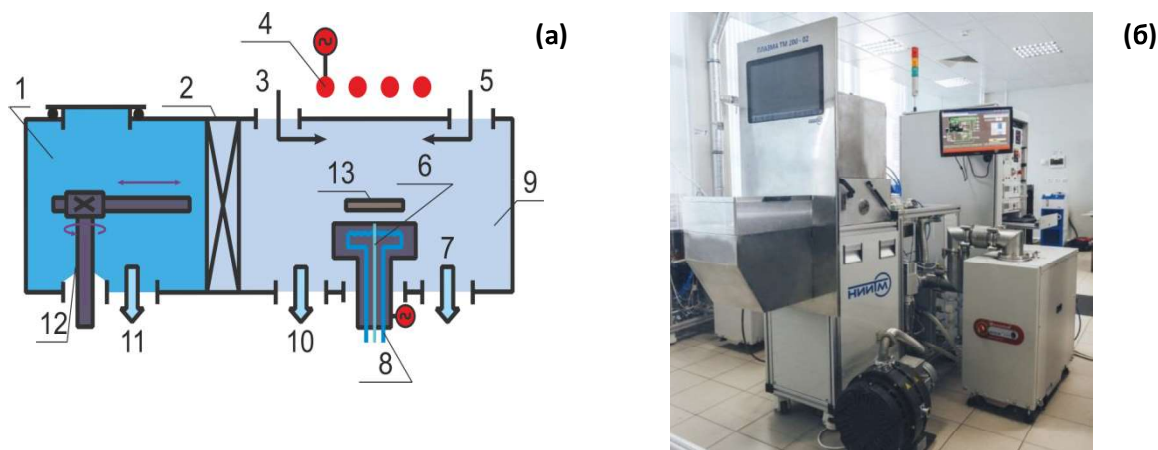


Рис. 3. Схема (а) и фотография общего вида (б) установки травления мелкой целевой изоляции в кремнии.

На установке реализован процесс травления гладких щелей шириной 1 мкм на глубину 2 мкм в кремниевой пластине (рис. 4). Мощность верхнего генератора не превышала 1000 Вт, а нижнего – 160 Вт. Процесс проходил при давлении в реакторе от 2 до 5 Па. Продолжительность процесса не превысила 180 с.

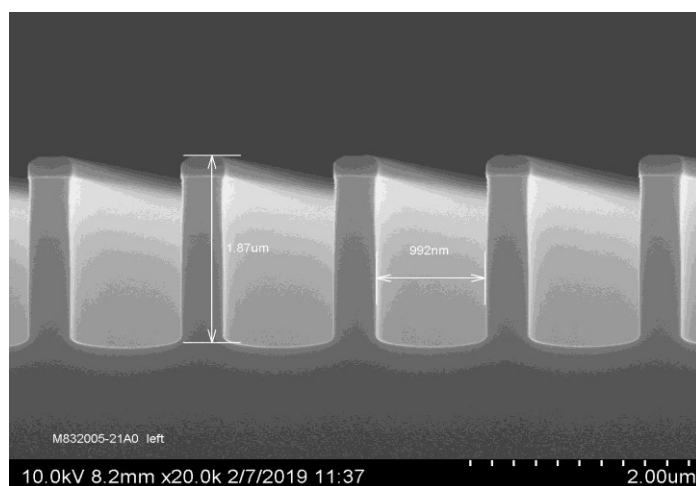


Рис. 4. РЭМ-изображение результатов формирования щелей в кремниевой пластине.

Для увеличения производительности такого вида оборудования использовалась компоновка по схеме рис. 1в. Применялся загрузочный модуль со шлюзовой камерой с расположенной в ней кассетой из 25 пластин. Манипулятор поштучно транспортирует необработанные пластины из кассеты в рабочий модуль (реактор) и возвращает обратно после обработки (рис. 5).

Загрузка и выгрузка пластин 3 диаметром от 100 до 200 мм происходит с помощью манипулятора 11 из шлюзовой камеры 1 с кассетой 13. Предельное давление достигается с помощью средств вакуумной откачки через откачные патрубки 8, 10 и 12. Через затвор 2 манипулятор транспортирует пластину на рабочий стол в реакторе. Охлаждаемый столик имеет канал подачи гелия 7 под пластину и через согласующее устройство подключен к ВЧ-генератору с частотой 13,56 МГц. Источник плазмы 4 применяется для генерации радикалов и ионов, получаемых при прохождении газа 5 через индуктор 6, подключенный через согласующее устройство к генератору с частотой 13,56 МГц. Продукты реакции удаляются средствами вакуумной откачки через откачные патрубки 8 и 10. После завершения технологического процесса манипулятор перемещает обработанную пластину в шлюзовую камеру для ее выгрузки и загрузки новой необработанной пластины.

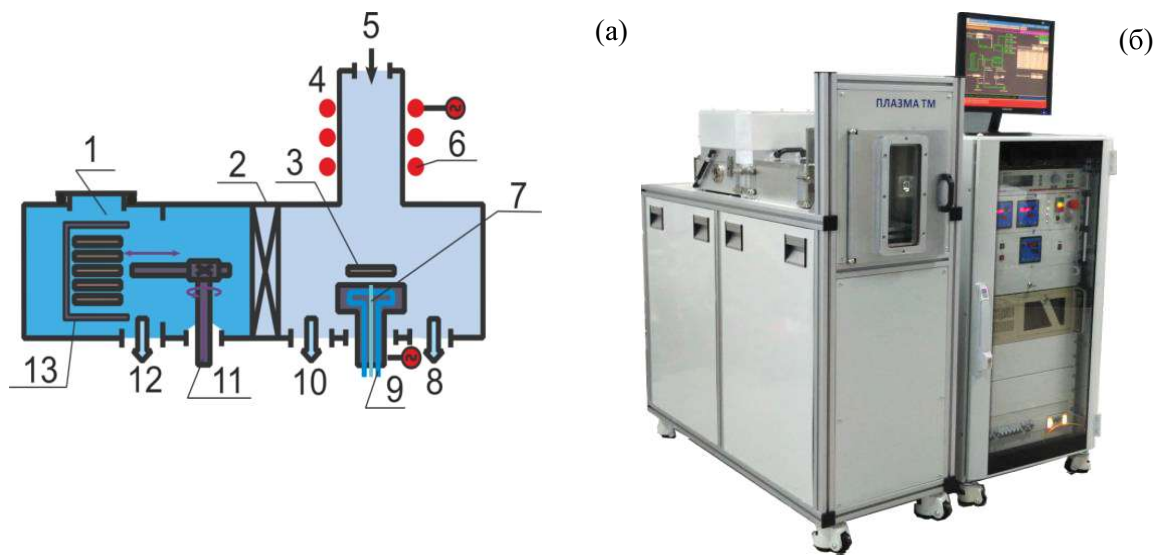


Рис. 5. Схема (а) и фотография общего вида (б) установки глубокого анизотропного травления кремния.

На установке реализован процесс анизотропного травления отверстий с разным аспектным отношением в кремниевой пластине через фоторезистивную маску толщиной 2,2 мкм (рис. 6) Мощность генератора источника плазмы не более 1200 Вт, а мощность генератора рабочего стола не более 90 Вт. Процесс проходил при давлении в реакторе от 2 до 5 Па. Время подачи травящего реагента SF_6 не превысило 3 с, а осаждающегося реагента C_4F_8 – 6 с. Получены значения неоднородности процесса травления в пределах 2 – 3 % глубоких отверстий и щелей с большим аспектным соотношением (более 15) и низкой шероховатостью стенок, при скорости травления кремния до 5 мкм/мин.

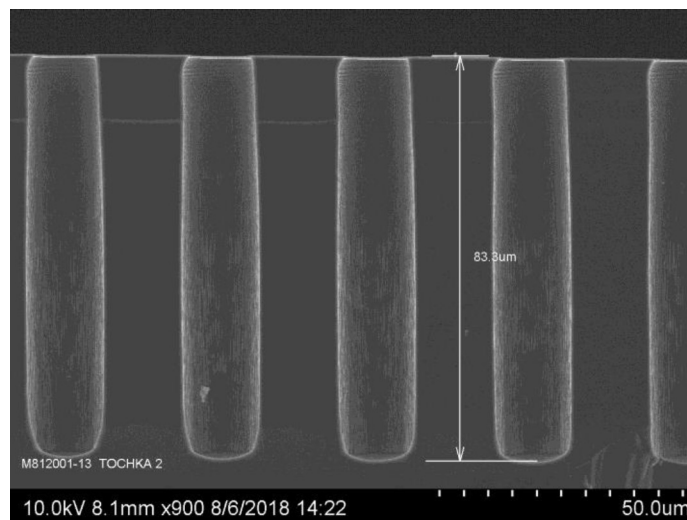


Рис. 6. РЭМ-изображение результатов травления отверстий в кремниевой пластине.

Оборудование данного типа и компоновки соответствует производству ИС с уровнем технологии ~ 180 нм. Установки удобно встраиваются в производство с «чистыми» комнатами (рис. 7).



Рис. 7. Фотография установок, размещенных в «чистой» комнате.

Развитие микронанотехнологий с увеличением степени интеграции с топологическими нормами 80 – 40 нм, а в дальнейшем до 20 – 10 нм на пластинах диаметром 200 – 300 мм предъявляет к вакуумно-плазменному оборудованию ещё более высокие требования. Во-первых, само оборудование должно размещаться в «чистом» помещении и перенос кассет между установками должен осуществляться в почти герметичных переносных контейнерах (СМИФ). Транспортирование пластин из кассеты-в-кассету должно происходить в вакууме или в «обезпыленной» зоне (боксе).

Перемещение пластин между шлюзовыми системами и рабочими модулями должно обеспечиваться одним или несколькими манипуляторами, которые располагаются в модуле транспортирования. Манипуляторы при своем движении не должны выделять частицы, которые могут попасть на поверхность пластин. В транспортном модуле поддерживается более низкое давление, чем в рабочих модулях и этим обеспечивается вакуумная «блокировка» рабочих модулей друг от друга. Этот вид оборудования называется «кластерным».

Управление кластерными установками обеспечивается двухуровневой микропроцессорной системой управления (МСУ). Верхний уровень обеспечивает работу шлюзовых систем, загрузку-выгрузку пластин между кассетами и перемещение пластин в модуле транспортирования и передачу их в рабочие модули. Каждый рабочий модуль управляется индивидуальной МСУ.

На рис. 1г и рис. 8 изображены схема и фото разработанной кластерной установки четырьмя рабочими модулями.



Рис. 8. Фотография общего вида кластерной транспортной системы.

Вывод

Таким образом, в зависимости от требований технологических процессов и уровня топологических норм, могут быть различные варианты загрузки-выгрузки пластин в рабочий модуль – реактор специального технологического оборудования для микроэлектронных технологий, а именно: поштучная ручная загрузка-выгрузка, поштучная загрузка-выгрузка из шлюзовой камеры манипулятором, поштучная загрузка-выгрузка манипулятором из кассеты-в-кассету в шлюзовой камере, а также оборудование кластерного типа. При этом используются различные модули, что является прогрессивным решением при создании другого технологического оборудования.

Достигнуты хорошие технологические результаты работы на установках травления мелкой щелевой изоляции в кремнии и глубокого анизотропного травления кремния. Микропроцессорная система управления установками обеспечивает контроль параметров процесса и поддерживает их стабильность согласно установленным значениям. Это обеспечивает хорошую воспроизводимость технологических процессов.

Созданы несколько рабочих модулей: глубокого анизотропного травления кремния, травления мелкой щелевой изоляции в кремнии, очистки пластин от органических загрязнений в СВЧ разряде и атомно-слоевого осаждения. Разрабатываются модули нанесения пленок в магнетронном разряде (PVD), быстрого термического отжига (RTA), осаждения пленок из газовой фазы (CVD) и атомно-слоевого травления (ALE). Модули взаимозаменяемы на портах модуля транспортирования установки.

Размещение оборудования данного типа в чистых производственных помещениях позволит повысить производительность и значительно снизить привносимую дефектность на пластины, что приведет к значительному повышению выхода годных ИС с более высокими требованиями к технологической топологии.

Литература

1. Одинокое В.В., Панфилов Ю.В. Выбор типа вакуумного нанотехнологического оборудования по критерию заданной производительности // Наноинженерия. 2011. №11. С. 7 – 18.
2. Патент РФ 2679863 от 13.02.2019. Манипулятор для перемещения полупроводниковых пластин.
3. Одинокое В.В., Долгополов В.М., Иракин П.А., Панин В.В. Технологическое оборудование для глубокого травления кремния, мелкощелевой изоляции, удаления фоторезиста и атомно-слоевого осаждения. Электроника и микроэлектроника СВЧ 2018. № 1 (1). С. 24-29.
4. Новые вакуумно-плазменные процессы и оборудование для микроэлектроники. Одинокое В.В. Вакуумная техника и технология. 2018. Т. 28. № 1. С. 2.1-2.8.