

## Установка Изофаз ТМ 200-01 для термического и плазменно-стимулированного атомно-слоевого осаждения $Al_2O_3$

В.В. Одинокоев, В.В. Панин, Б.Т. Байсов, Я.Г. Зассеев

ОАО «Научно-исследовательский институт точного машиностроения»

**Аннотация:** представлена новая разработка ОАО «НИИ точного машиностроения» – вакуумная установка Изофаз ТМ 200-01. Рассмотрено ее устройство и принцип работы. На установке получены тонкие пленки  $Al_2O_3$  на кремниевых пластинах диаметром 200 мм методом атомно-слоевого осаждения. Приведены данные о неравномерности толщины покрытия по диаметру пластин и конформности пленок к рельефу их поверхности после обработки в реакторе в термическом и плазменно-стимулированном режиме.

**Ключевые слова:** атомно-слоевое осаждение, оксид алюминия, вакуум, кремниевые пластины

### 1. Введение

Оксид алюминия ( $Al_2O_3$ ) имеет высокое значение диэлектрической постоянной ( $k \sim 9$ ) и большую ширину запрещенной зоны ( $\sim 9$  эВ), что делает его перспективным материалом в качестве:

- подзатворного диэлектрика в КМОП-транзисторах [1];
- диэлектрика конденсаторов в запоминающих устройствах с динамическим доступом [2];
- высокоплотных барьерных слоев в органических светодиодах [3];
- пассивирующих слоев в высокопроизводительных кремниевых солнечных батареях [4];
- износостойких пленок для микроэлектромеханических устройств (МЭМС) [5].

Атомно-слоевое осаждение (АСО) в настоящее время широко применяется для формирования качественных пленок  $Al_2O_3$  с хорошей конформностью на подложках с требуемым уровнем топологии и обладает возможностью точного контроля толщины осаждаемых покрытий и их масштабирования на подложки большой площади. Этот метод химического осаждения из газовой фазы (CVD) имеет циклический характер и основан на двух независимо протекающих реакциях (стадиях) на поверхности подложки, которые имеют самозавершающий характер: сначала происходит хемсорбция прекурсора металла, а затем – оксидирование металла и удаление органических соединений с поверхности. Для термического АСО аморфного  $Al_2O_3$  используется триметиалюминий  $[Al(CH_3)_3]$  как прекурсор металла и деионизированная вода  $H_2O$  как оксидант [6].

В качестве альтернативного окислителя можно применять озон  $O_3$  или активированный в плазме кислород  $O_2$  [7]. В частности, активированный в плазме кислород  $O_2$  является очень эффективным окислителем, который может легко перемещать органические лиганды с помощью радикала кислорода  $O$ . Следовательно, плазменно-стимулированное АСО обычно обеспечивает большую гибкость процесса, в том числе возможность осаждения высококачественных материалов на низкотемпературную подложку, при этом также избегая использования трудно откачиваемых паров воды.

Важной задачей является создание отечественного надежного специального технологического оборудования (СТО), которое смогло бы удовлетворить основным требованиям по качеству получаемых функциональных слоев и иметь возможность работать в автоматическом режиме с контролем всех параметров технологического процесса нанесения на всех его стадиях.

## 2. Описание и принцип работы установки

Термическое и плазменно-стимулированное АСО пленок  $Al_2O_3$  проводилось на разработанной в ОАО НИИТМ установке Изофаз ТМ 200-01.

На рисунке 1 представлен внешний вид установки. В ее состав входит технологический модуль со шлюзовой камерой, ловушка непрореагировавших в реакторе частиц, сухой нейтрализатор продуктов реакции, а также стойка питания и управления. В шлюзовой камере расположен манипулятор для автоматического перемещения подложек (пластин) в реактор и обратно. Специальный экран с монитором обеспечивает встраивание в чистую комнату.



Рисунок 1. Внешний вид установки Изофаз ТМ 200-01.

Установка работает следующим образом. Загрузка и выгрузка подложки 15 диаметром 200 мм происходит с помощью манипулятора 14 из шлюзовой камеры 1 (рисунок 2). Предельное давление достигается с помощью средств вакуумной откачки через откачные патрубки 10, 12 и 13. Через затвор 2 манипулятор транспортирует подложку на нагреваемый до  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  рабочий стол 11 в реакторе 9.

Прекурсоры через отверстия 3 и 8 прокачиваются через область, где расположена подложка. Продукты реакции и непрореагировавшие компоненты удаляются средствами вакуумной откачки через откачные патрубки 10 и 12. Источник плазмы 5 применяется для генерации радикалов, получаемых при прохождении молекул газов 6 через индуктор 7. Индуктор через согласующее устройство подключен к ВЧ-генератору с частотой 13,56 МГц. Затвор 4 отделяет источник плазмы от подложки. По окончании процесса манипулятор транспортирует обработанную подложку в шлюзовую камеру. Стенки реактора, трубопроводы подачи прекурсоров и газов, а

также вакуумной системы прогреваются для исключения их загрязнения продуктами реакции и непрореагировавшими частицами.

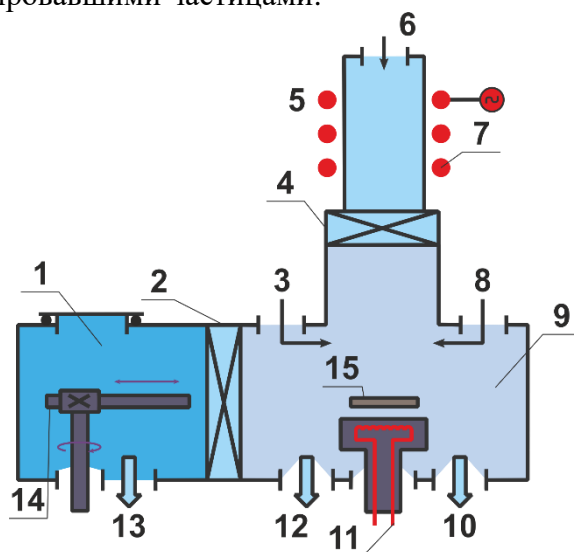


Рисунок 2. Принципиальная схема установки Изофаз ТМ 200-01.

При термическом АСО в качестве прекурсоров использовались триметилалюминий [ТМА,  $\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ ], подогреваемый до  $30^\circ\text{C}$  и деионизированная вода  $\text{H}_2\text{O}$ , охлаждаемая до  $18^\circ\text{C}$ . Основные параметры технологического процесса представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры термического АСО пленок  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Шаг	Давление в реакторе, Па	Температура стола, $^\circ\text{C}$	Время, с	Расход $\text{Ar}$ , л/ч
Прогрев	20	100	600	2
<b>Количество циклов 1000</b>				
Подача ТМА	3	100	0,1	2
Продувка после ТМА	3	100	3	12
Подача $\text{H}_2\text{O}$	10	100	0,5	2
Продувка после $\text{H}_2\text{O}$	3	100	15	12

**Возврат**

После загрузки пластины в реакторе создавалось давление аргона, при котором пластина прогревалась на подложкодержателе. Затем проводились циклы подачи ТМА и воды, разделяемые продувкой. Нагрев подложкодержателя не выключался. В качестве газа-носителя и продувочного газа использовался аргон. Короткие времена подачи прекурсоров и продувочного аргона обеспечивали быстродействующие мембранные клапаны. Попеременная подача прекурсоров повторялась циклически до достижения желаемой толщины.

При плазменном методе деионизированная вода была заменена радикалами кислорода  $\text{O}$ . По аналогии с термическим методом производилась попеременная подача прекурсоров с той лишь разницей, что после продувки ТМА в реактор подавался кислород. При прохождении кислорода через керамическую колбу с медным индуктором, к которому подводилась мощность от ВЧ-генератора, в ней загоралась плазма. Устройство согласования обеспечивало передачу мощности в газовый разряд от генератора с минимальными потерями. Основные параметры технологического процесса представлены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры плазменно-стимулированного АСО пленок  $Al_2O_3$

Шаг	Давление в реакторе, Па	Температура стола, °С	Время, с	Расход Ar, л/ч	Мощность ВЧ, Вт
Подача $O_2$	3	100	3	2	400
Продувка после $O_2$	3	100	5	12	-

### 3. Результаты

Толщина пленки  $Al_2O_3$  измерялась на спектральном эллипсометре. Неравномерность по толщине не превысила  $\pm 2\%$  на диаметре кремниевых пластин 200 мм. Коэффициент преломления пленки  $Al_2O_3$  составил 1,65.

На рисунке 3 представлено РЭМ-изображение пленки  $Al_2O_3$  в микрощели на кремниевой пластине. Наблюдается хорошая конформность к рельефу – толщина пленки на поверхности, стенках и дне микрощели составила 139 нм.

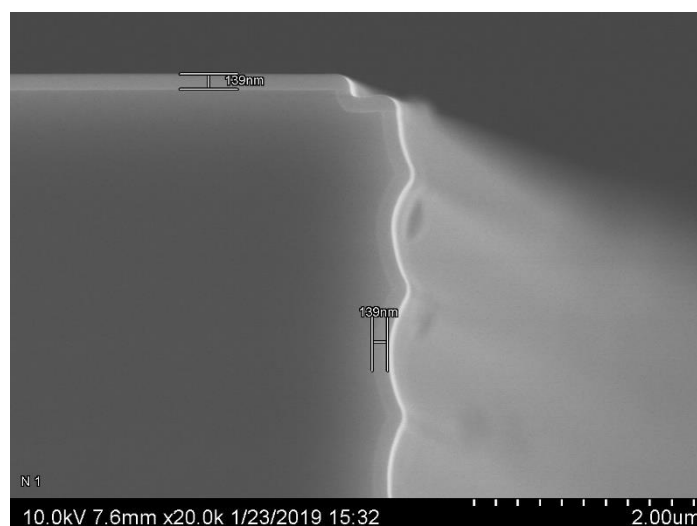


Рисунок 3. РЭМ-изображение пленки на плоской поверхности и стенке микрощели в кремниевой пластине.

### 4. Выводы

Установка Изофаз ТМ 200-01 позволяет проводить атомно-слоевое осаждение пленок  $Al_2O_3$  в термическом и плазменно-стимулированном режиме. При этом формируются качественные сверхтонкие пленки, обладающие хорошей конформностью к рельефу на поверхности пластин. Автоматическая система управления установки контролирует все параметры процесса и поддерживает их стабильность согласно установленным значениям, обеспечивая хорошую воспроизводимость свойств осаждаемых покрытий. Размещение оборудования данного типа в чистых производственных помещениях позволит значительно снизить привносимую дефектность на пластины, что приведет к повышению выхода годных изделий.

#### Список литературы

1. Gusev, E. P. Ultrathin high-K metal oxides on silicon: processing, characterization and integration issues / E. P. Gusev, [at al.] // Microelectron. Eng. — 2001. — Vol. 59. — P. 341 – 349.
2. Gerritsen, E. Evolution of materials technology for stacked-capacitors in 65 nm embedded-DRAM / E. Gerritsen, [at al.] // Solid-State Electron. — 2005. — Vol. 49. — P. 1767 – 1775.

3. Yun, S. J. Passivation of organic light-emitting diodes with aluminum oxide thin films grown by plasma-enhanced atomic layer deposition / S. J. Yun, [at al.] // *Appl. Phys. Lett.* — 2005. — Vol. 49. — P. 1767 – 1775.
4. Hoex, B. Ultralow surface recombination of c-Si substrates passivated by plasma-assisted atomic layer deposited  $\text{Al}_2\text{O}_3$  / B. Hoex, [at al.] // *Appl. Phys. Lett.* — 2006. — Vol. 89. — P. 042112/1 – 042112/3.
5. Mayer, T. M. Atomic-layer deposition of wear-resistant coatings for microelectromechanical devices / T. M. Mayer, [at al.] // *Appl. Phys. Lett.* — 2003. — Vol. 82. — P. 2883 – 2885.
6. Puurunen, R. L. Surface chemistry of atomic layer deposition: A case study for the trimethylaluminum/water process / R. L. Puurunen // *J. Appl. Phys.* — 2005. — Vol. 97. — P. 121301 – 121301-52.
7. Ha, S. C. Influence of oxidant source on the property of atomic layer deposited  $\text{Al}_2\text{O}_3$  on hydrogen-terminated Si substrate / S. C. Ha, [at al.] // *Thin Solid Films* — 2005. — Vol. 476. — P. 252 – 257.