

7. Chapple-Sokol J. D., Gordon R. G. A Kinetic Study of the Atmospheric Pressure CVD Reaction of Silane and Nitrous Oxide // J. Electrochemical Society. 1989. Vol. 136. № 10. P. 2993–3003.

8. Васильев В. Ю. Процессы химического осаждения из газовой фазы и свойства фосфор- и борофосфоросиликатных стеклообразных слоев / Дис. на соискание д-ра хим. наук. Новосибирск. 2002. С. 13.

9. Турцевич А. С., Наливайко О. Ю., Макаревич И. И. и др. Кинетика процесса осаждения слоев в системе SiH–N<sub>2</sub>O в реакторе пониженного давления. Ч. 1. Поликристаллический кремний, легированный кислородом // Поверхность. 1996. № 8. С. 14–18.

10. Турцевич А. С., Наливайко О. Ю., Зайцев Д. А., Румак Н. В. Кинетика процесса осаждения слоев в системе SiH–N<sub>2</sub>O в реакторе пониженного давления. Ч. 2. Высокотемпературный окисел кремния // Поверхность. 1996. № 9. С. 14–18.

11. Gris H., Caussat B., Cot D., Durand J., Couderc J.-P. LPCVD silicon-Based Film Formation in Submicrometer Trenches in Industrial Equipment: Experiments and Simulation. // Chem. Vap. Deposition. 2002. Vol. 8. № 5. P. 213–219.

12. Мейер Б. Л., Отс К. В. Отжиг пленок SIPOS // Электронная техника. Сер. 6. Материалы. 1983. Вып. 8(111). С. 61–64.

13. Thomas J. H., Goodman A. M. AES and XPS Studies of Semi-Insulating Polycrystalline Silicon (SIPOS) Layer // J. Electrochemical Society. 1979. Vol. 126. № 10. P. 1766–1770.

14. Hitchman M. L. A consideration of the effect of reactor parameters on the characteristics of layers prepared by low pressure chemical vapour deposition. // Vacuum. 1984. Vol. 34. № 3–4. P. 341–494.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕАКТОРОВ ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОСАЖДЕНИЯ ПЛЕНОК ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ, НИТРИДА КРЕМНИЯ И ОКСИДА КРЕМНИЯ

О. Ю. Наливайко, В. В. Сухан, В. И. Плебанович, В. И. Каленик

УП «Завод полупроводниковых приборов» НПО «Интеграл», dzsto3@integral.by

### ВВЕДЕНИЕ

Осаждение слоев в реакторах пониженного давления (РПД – LPCVD) получило широкое распространение благодаря значительным преимуществам по сравнению с реакторами атмосферного давления, а именно: высокой производительности, практически не изменяющейся при увеличении диаметра подложек, более высокой однородности осаждаемых слоев и значительно меньшему расходу реагентов [1]. Осаждение при пониженном давлении в трубчатых реакторах используется для получения слоев аморфного и поликристаллического кремния, нелегированного и легированного в процессе роста фосфором, мышьяком или бором, и поликремния, легированного кислородом, нитрида кремния, оксида кремния и силикатных стекол (фосфоросиликатного и борофосфоросиликатного стекла).

Для обработки пластин диаметром до 150 мм использовались горизонтальные реакторы пониженного давления. Увеличение диаметра обрабатываемых пластин и ужесточение требований к однородности толщины и свойств пленок при уменьшении проектных норм привело к разработке нового оборудования – вертикальных РПД.

Быстрому признанию вертикальных РПД-реакторов способствовал ряд факторов [2]:

- основные функциональные блоки вертикальных установок имеют модульное построение;

- кварцевая лодочка с пластинами внутри реактора располагается коаксиально по отношению к реакционной трубе, что способствует повышению однородности осаждаемых слоев;
- существенно облегчается автоматизация загрузки-выгрузки пластин, системы загрузки становятся аналогичными оборудованию для других технологических процессов;
- уменьшается площадь, занимаемая оборудованием.

Реакционная камера для процессов осаждения при пониженном давлении обычно имеет две коаксиально расположенные кварцевые трубы (концепция двойной стенки) (рис. 1), причем внешняя труба имеет запаянную верхнюю часть. Контроль температуры в реакторе осуществляется по пяти зонам. Стандартная длина плоской температурной зоны реактора составляет 600 мм, что позволяет обрабатывать от 100 до 150 пластин. Трубопроводы для подачи газов и вакуумные трубопроводы подсоединены к фланцу реактора таким образом, что при замене кварцевых труб не требуется их отсоединять. Газы поступают в реактор при помощи цилиндрической трубки или трубки с распределенной подачей, откачка проводится через пространство между внутренней и внешней кварцевыми трубами реакционной камеры, что позволяет существенно уменьшить привносимую дефектность. Кроме того, благодаря удлинению пути потока газов в нагретой зоне значительно снижается количество непрореагировавших реакционных газов, поступающих в вакуумный насос. Для процессов осаждения нитрида кремния и процессов, использующих ТЭОС, исключаются «холодные» области, температура в области

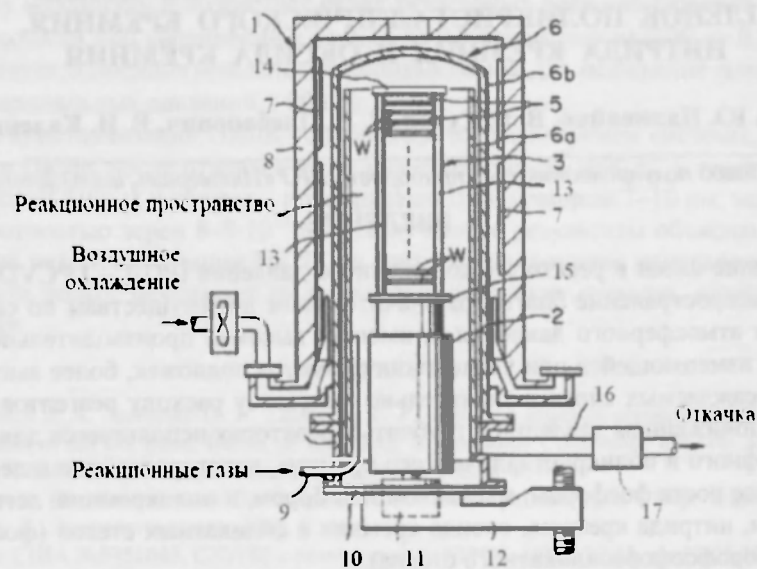


Рис. 1. Внутреннее устройство вертикального реактора пониженного давления [2]: 1 – нагреватель; 2 – изолирующая труба; 3 – операционная кассета (лодочка); 4 – нагреватель; 5 – ноги кассеты; 6 – кварцевая труба; 6а – наружная труба; 6б – внутренняя труба; 7 – нагревательная секция; 8 – изолятор; 9 – газоввод; 10 – фланец; 11 – механизм вращения; 12 – подъемник кассеты; 13 – столбики кассеты; 14, 15 – верхняя и нижняя части кассеты; 16 – выхлопной трубопровод; 17 – откачной ност; И-пластина

фланца реактора контролируется с целью исключения конденсации продуктов реакции.

Пластины загружаются в установку в кассетах, которые устанавливаются на платформу станции загрузки-выгрузки. Манипулятор кассет пересчитывает количество пластин в каждой кассете и перемещает кассеты в хранилище кассет. Хранилище состоит из нескольких платформ, расположенных друг над другом. Перемещение кассет в вертикальном направлении осуществляется при помощи элеватора. Далее манипулятор пластин, расположенный в камере загрузки пластин, перемещает пластины из транспортной кассеты в кварцевую лодочку. Загрузка осуществляется в соответствии с заданным шаблоном расположения пластин. Кассеты с балластными пластинами могут храниться внутри установки, а контрольные пластины загружаются в отдельной кассете. После окончания загрузки кварцевая лодочка загружается в реактор и начинается выполнение алгоритма процесса осаждения пленок. В зависимости от типа процесса лодочка может вращаться во время выполнения процесса для улучшения однородности толщины пленки по пластине. После окончания процесса лодочка выгружается из реакционной камеры и система ожидает полного остывания пластин. После остывания проводится выгрузка обработанных пластин, при этом каждая пластина возвращается в ту же кассету и в тот же паз кассеты, из которого она была загружена на обработку.

#### **МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА**

В настоящей работе проведено исследование процессов осаждения пленок поликристаллического кремния, нитрида кремния и оксида кремния в вертикальном реакторе пониженного давления Arogee фирмы Kokusai Electric. Каждая установка имеет один реактор, который предназначен для осаждения конкретного слоя.

В качестве подложек использовались кремниевые пластины КДБ-12 (100) диаметром 200 мм. Толщина и показатель преломления поликристаллического кремния, нитрида кремния и оксида кремния определялись на установке Optiprobe 2690UV. Контроль привносимой дефектности проводился с помощью установки SURFSCAN 6420, путем замера количества частиц, размером  $> 0,2$  мкм до и после проведения имитации процесса (загрузка пластин в реактор, откачка, продувка, напуск и выгрузка).

#### **ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

Использование автоматизированной загрузки позволяет исключить или существенно снизить влияние источников пылегенерации в технологическом процессе, и в первую очередь человека. Это также облегчает поиск источников дефектов при запуске оборудования. Привносимая дефектность на установках Arogee, используемых для осаждения пленок поликристаллического кремния, нитрида кремния и оксида кремния, не превышала  $0,08$  частиц/см<sup>2</sup>.

Осаждение пленок ПК проводилось при температуре  $610$  °С на пластинах с термическим оксидом кремния толщиной  $20 \pm 2$  нм. Подача моносилана в реактор проводилась по двум инжекторам с распределенным вводом вдоль реакционной зоны. Расстояние между пластинами в кварцевой лодочке составляет 5 мм. Скорость осаждения пленок ПК составила  $8,0$ – $8,5$  нм/мин. Разброс толщины пленки ПК по пластине не превышал  $\pm 1,1$  %, что намного ниже, чем в горизонтальном РПД «Изотрон-4-150» для пластин диаметром 150 мм ( $< \pm 2,3$  %). Это достигается за счет использования вра-

щения кварцевой лодочки во время осаждения. Разброс толщины пленки ПК по загрузке не превышал  $\pm 2,7\%$ , что также ниже, чем в горизонтальном РПД ( $\leq \pm 5,0\%$ ). Как видно из рис. 2, пленки ПК толщиной 250 нм, полученные в горизонтальном и вертикальном РПД, имеют практически одинаковый размер зерен (максимальный размер зерна около 100 нм). Полученные результаты показывают, что механизмы формирования пленок ПК в вертикальном и горизонтальном реакторах одинаковы. Однако использование вертикального РПД позволяет повысить однородность получаемых слоев, а также снизить привносимую дефектность.

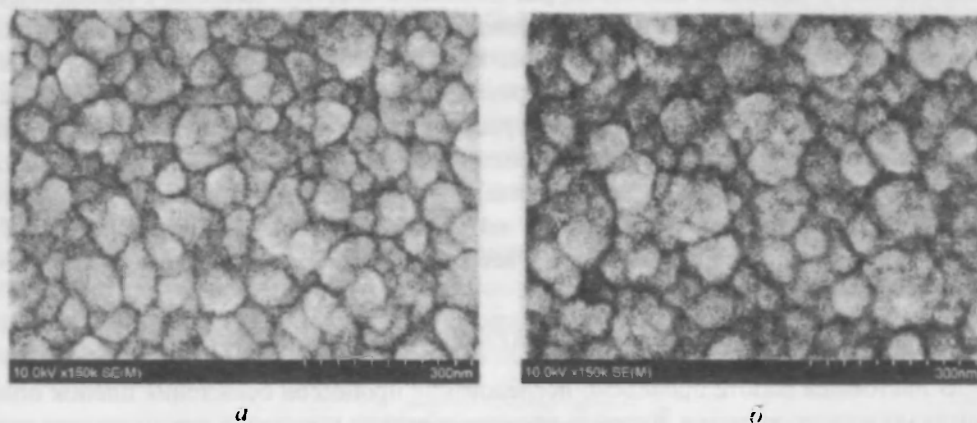


Рис. 2. Сравнение морфологии пленок поликристаллического кремния толщиной 250 нм, полученных при температуре 616 °С в горизонтальном РПД (а) и вертикальном РПД (б)

Осаждение пленок нитрида кремния осуществляли в диапазоне температур 720–825 °С. Подача дихлорсилана и аммиака в реактор осуществлялась через отдельные инжекторы на фланце реактора. Расстояние между пластинами в кварцевой лодочке составляет 5 мм. Скорость осаждения пленок нитрида при использовании температуры осаждения 770–825 °С составила  $2,3 \div 2,7$  нм/мин, а при температуре осаждения 720–755 °С –  $1,2 \div 1,3$  нм/мин. Разброс толщины пленок нитрида кремния по пластине не превышал  $\pm 4,5\%$  при температуре осаждения 770–825 °С и  $\pm 2,4\%$  при температуре осаждения 720–755 °С, что ниже, чем в горизонтальном РПД «Изофрон-4-150» для пластин диаметром 150 мм ( $\leq \pm 5,7\%$ ). Разброс толщины пленок нитрида кремния по загрузке не превышал  $\pm 5,0\%$  при температуре осаждения 770–825 °С и  $+3,0\%$  при температуре осаждения 720–755 °С, что также ниже, чем в горизонтальном РПД ( $\leq \pm 7,5\%$ ). Улучшение однородности толщины по пластине при снижении температуры осаждения связано со снижением скорости реакции, что облегчает своевременную доставку реагентов к месту реакции при одинаковых потоках и давлении. Повышение однородности толщины вдоль реактора достигается путем оптимизации профиля температуры вдоль реактора: при снижении температуры осаждения уменьшается разница температур между началом и концом реакционной зоны, необходимая для компенсации обеднения реагентов вдоль реактора. Показатель преломления пленок нитрида кремния при обеих исследованных температурах осаждения

находился в пределах  $2,0 \pm 0,02$ . Однако при более низкой температуре осаждения достигается меньший разброс значений показателя преломления ( $< \pm 0.005$  по загрузке), что хорошо согласуется с результатами работы [3].

Осаждение пленок среднетемпературного оксида кремния (СТО) проводилось при температуре 670–685 °С. Подача паров ТЭОС осуществлялась из питателя при температуре 70 °С через фланец реактора. Контроль потока паров ТЭОС осуществлялся при помощи контроллера потока паров, настроенного на работу при давлении в реакторе 46.5 Па. На данной установке используется вращение кварцевой лодочки во время осаждения, расстояние между пластинами в кварцевой кассете составляет 6,35 мм. Скорость осаждения пленок СТО составила 4,0–4,1 нм/мин. Разброс толщины пленки СТО по пластине не превышал + 2,05 %, что ниже, чем для пластин диаметром 150 мм при проведении процессов в горизонтальном РПД на установке «Изотрон – 4-150» ( $< \pm 3,5$  %). Для достижения однородного профиля вдоль реактора изменяли температуру осаждения по зонам, что позволило получить практически плоский профиль толщины вдоль реактора. Кроме того, в алгоритм процесса осаждения был введен специальный интервал для откачки паров ТЭОС (мимо реактора) из трубопровода между питателем и клапаном после контроллера паров ТЭОС. Это предотвращает бросок давления при включении подачи паров ТЭОС в следующем процессе и способствует повышению стабильности и воспроизводимости толщины пленок СТО. Разброс толщины пленок оксида кремния по загрузке не превышал  $\pm 3.3$  %, что ниже, чем в горизонтальном РПД ( $\leq \pm 5.0$  %). Показатель преломления пленок оксида кремния составлял 1,44–1,45.

Таким образом, впервые в СНГ проведено исследование процессов осаждения пленок поликристаллического кремния, нитрида кремния и оксида кремния в вертикальном РПД на пластинах диаметром 200 мм. Разработанные процессы осаждения пленок используются для производства изделий с проектными нормами 0,35 мкм и могут использоваться для изделий с проектными нормами 0,18 мкм.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kern W. Chapter 5: Chemical Vapor Deposition in Microelectronic Materials and Processes – New York.: by Kluwer Academic Publishers. 1989. P. 203–246.
2. Емельянов В. А., Турцевич А. С., Наливайко О. Ю. Оборудование для химического осаждения из газовой фазы функциональных слоев // Минск: Белорусская наука, 2007. 255 с.
3. Турцевич А. С., Ануфриев Л. П., Наливайко О. Ю. Процесс осаждения пленок нитрида кремния аммонолизом дихлорсилана в реакторе пониженного давления «Карат» // Материалы IX Междунар. науч.-техн. конф. «Современные средства связи», 27.09–1.10 2004. Нарочь. Беларусь // Известия Белорусской инженерной академии. 2004. № 2(18)/2. С. 104–106.