DOI: 10.17117/na.2016.06.02.152

<http://ucom.ru/doc/na.2016.06.02.152.pdf>

Поступила (Received): 22.06.2016

Попова К.В.**Механизм процесса осаждения защитных пленок SiO₂****Popova K.V.****Precipitation mechanism of SiO₂ protective films**

Настоящая работа посвящена разработке оптимизированного техпроцесса осаждения защитных пленок диоксида кремния. Рассмотрен механизм процесса плазмохимического осаждения защитных пленок диоксида кремния. Приведены особенности воздействия плазменного разряда на химические реакции. Произведен анализ оптимальных параметров процесса для равномерного осаждения

Ключевые слова: диэлектрик, осаждение, реактор, пленка, моносилан, разряд

Попова Кристина Владимировна

Студент

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (филиал)

г. Калуга, ул. Баженова, 2

This paper is devoted to the development of optimized process technology for the deposition of protective films of silicon dioxide. The mechanism of plasma-deposition of protective films of silicon dioxide is presented. The plasma discharge effects on chemical reactions was investigated. The results of optimization process for uniform deposition are presented

Key words: dielectric, deposition, reactor, film, monosilane, discharge

Popova Kristina Vladimirovna

Student

Moscow state technical university named N.E. Bauman (branch)

Kaluga, Bazhenov st., 2

Значительное место в технологическом процессе изготовления полупроводниковых приборов и ИМС занимают термические операции, с помощью которых формируют диэлектрические, монокристаллические и поликристаллические слои на поверхности полупроводниковых пластин, а также диффузионные слои в приповерхностной области.

Для получения заданных параметров этих слоев и обеспечения требуемых производительности, воспроизводимости и качества процессов необходимо выбирать оптимальные режимы термических операций, использовать автоматизированное управление процессами и контроль их параметров.

При формировании слоев применяют различные методы, оборудование и рабочие среды.

Диэлектрические слои получают термическим окислением и азотированием, а также пиролитическим и плазмохимическим осаждением (ПХО) [1].

Предметом данной работы является процесс осаждения защитных пленок SiO₂ в условиях низкотемпературной плазмы.

Благодаря низкой температуре и высокой скорости процесса осаждения, а также обеспечению таких свойств, как адгезия, низкая плотность сквозных дефектов, хорошее перекрытие ступенек рельефа, приемлемые электрические характеристики, пленки нитрида и диоксида кремния, полученные стимулированным плазмой осаждением, хорошо подходят для пассивации металлов с низкой температурой плавления, например алюминия. Они также могут использоваться в качестве планаризирующих покрытий при нанесении в толстых слоях, диэлектрического разделительного слоя в системах многоуровневой металлизации, промежуточного слоя в многослойных резистивных масках, применяемых в литографии с высоким разрешением. Все это делает данный метод очень заманчивым для изучения.

На сегодняшний день перед производством на АО «Восход»- КРЛЗ стоит задача освоения данного метода и подбор оптимальных параметров для получения более качественного защитного покрытия, с целью увеличить выход годных изделий и производительность.

Последние результаты в области стимулированного плазмой осаждения металлов и силицидов показали перспективность применения этих процессов для создания проводящих элементов СБИС [2].

При ПХО процесс разложения кремнийсодержащих соединений активизируется высокочастотным (ВЧ) разрядом, образующим в газовой среде при пониженном давлении низкотемпературную кислородную плазму.

Преимущество плазмохимических установок – высокая производительность и низкая температура процесса осаждения благодаря высокой химической активности газов-реагентов, которая стимулируется газовым разрядом, поэтому сам метод назван плазмохимическим.

Кроме температуры, состава газовой смеси, ее расхода, давления, геометрии реактора на скорость осаждения влияют ВЧ-мощность, напряжение и частота, геометрия электродов и расстояние между ними.

Механизм образования пленок при ПХО состоит из трех основных стадий: образования в зоне разряда радикалов и ионов, адсорбции их на поверхности пленки SiO_2 и перегруппировки (миграции) адсорбированных атомов. Перегруппировка адсорбированных поверхностью атомов и стабилизация их положения представляют важную стадию роста пленки.

Одновременно с образованием пленки происходит десорбция продуктов реакции с поверхности [1].

В качестве исходных реагентов при получении диоксида кремния обычно используется силан и закись азота или кислород:

Плазменные процессы позволяют не только улучшить свойства пленок, но и получить уникальные композиции с важными свойствами.

Прежде чем перейти к рассмотрению процессов ПХО пленок материалов, целесообразно рассмотреть специфику воздействия плазменного разряда на химические реакции. Обычно выделяют три эффекта воздействия плазмы низкого давления на процессы осаждения слоев из газовой фазы [3]:

1) Кинетический эффект, при котором происходит увеличение скорости протекания реакций. Воздействие плазмы открывает возможность для новых реакций, в которых участвуют радикалы, ионы и электроны. Разряд с низкой плотностью тока $< 1 \text{ мА/см}^2$, обычно достаточен для значительного увеличения скорости реакции.

2) Термодинамический эффект состоит в том, что в интенсивном плазменном разряде, с плотностью тока $> 100 \text{ мА/см}^2$, преобладают обратные реакции с участием радикалов, присутствующих в газовой смеси [3]. При плазменном возбуждении реагентов равновесие системы сдвигается и слои осаждаются при меньших температурах.

3) Эффект воздействия плазмы на структуру материала. При осаждении тонких слоев в плазме подложки могут находиться либо под потенциалом, близким к потенциалу плазмы, либо при большом отрицательном смещении [3]. Воздействие плазмы на химическую реакцию состоит, с одной стороны, в ее ускорении, а с другой – во влиянии на структуру образующего слоя материала. Влияние плазмы на протекание процессов осаждения тонких слоев сводится не только к изменению механизмов протекания химических реакций в газовой фазе и на поверхности подложек, но и к изменению тех характеристик процесса, которые отвечают за профили концентрации реакционных частиц в объеме реактора, за равномерность и дефектность осаждаемых слоев.

Как уже было сказано, в настоящее время АО «Восход»- КРЛЗ только осваивает данный метод. Реализация происходит на установке осаждения «Изотрон 3-150». Она представляет собой вакуумируемую камеру с плоскопараллельными электродами, между которыми поддерживается ВЧ-разряд. Газы протекают в продольном направлении кварцевого реактора, при этом пластины расположены вертикально.

Преимуществом реакторов продольного типа с вертикальным расположением пластин рабочей поверхностью друг к другу являются большая загрузка пластин и снижение возможности образования порошка.

На данной установке можно получать пассивирующие слои оксида кремния, нитрида кремния и оксинитрида при температуре 200-500°C [4].

Основными факторами, влияющими на скорость осаждения и равномерность пленки, являются ВЧ-мощность, расход газа и давление в камере.

За время подбора оптимальных параметров использовали их разные комбинации. Применялся интервал температуры 200-300°C, давление изменялось от 70 до 100 Па. Пробовали добавлять к моносилану с закисью азота кислород, но это не дало никакого эффекта. Также менялось соотношение моносилана к закиси азота: 1:2, 1:3, 1:3,5.

Процесс на АО «Восход»- КРЛЗ состоит из следующих операций.

Сформированная партия пластин перед загрузкой в реактор подвергается химической обработке.

Кассеты с подложками помещают на загрузчик, который затем перемещается в кварцевый реактор. Суммарное количество одновременно обрабатываемых подложек составляет 60 штук.

Основываясь на литературных источниках по получению пленок и проведенных исследованиях по осаждению оксида кремния плазмохимическим осаждением, установлены следующие значения:

1. Давление в реакционной камере в процессе осаждения составляет $\sim 80 \pm 0,5$ Па, что обеспечивает устойчивость тлеющего разряда.
2. Температурный режим $\sim 300^\circ\text{C}$.
3. Время осаждения пленки составляет 1 час. Предварительно реактор откачивают и выдерживают его в течение 30-40 мин для стабилизации температуры в рабочей зоне. Весь процесс длится около 4 часов.
4. Частота разряда 370 МГц.

Итак, производится откачка камеры на вакуум, продувка трубы нейтральным газом (азотом) и напуск реакционных газов, в качестве которых применяют соотношение моносилана к закиси азота как 1:3 (5%-й моносилан с аргонном и закись азота). В качестве основного окислителя используется закись азота так как она препятствует зародышеобразованию в газовой фазе и связанному с этим загрязнению подложки.

Высокочастотный блок подает напряжение между электродами и осуществляется ВЧ- разряд в струе реакционного газа, который возбуждает и нейтрализует частицы, осуществляя осаждение. Выращивается необходимая толщина диоксида кремния (0,8 мкм).

Система откачивается, продувается азотом и пластины выгружаются из рабочей камеры.

Травление для очистки реактора осуществляется тетрафторметаном (хладон 14, CF_4) и кислородом.

После выгрузки проводится оценка толщины защитной пленки и равномерность по пластине и по каналу.

Распределение толщины пленки по каналу "Изоплаз"

Рис. 1. График распределения толщины осажденного оксида по кассете

Был проведен анализ зависимости толщины пленки от расположения в кассете. При этом рабочее давление в камере и состав газовой смеси, оставались постоянными. Учитывалась толщина, замеренная в центре одной пластины из каждой разрядной ячейки. Это обусловлено тем, что в ячейке наблюдается цветовая симметрия толщины слоя на подложках, фото представлено на рис. 1.

На графике видно, что толщина пленки возрастает к переднему фланцу реактора приблизительно по линейному закону. Разброс толщин по реактору от 77 сотых до 1 мкм. Допуск на толщину составляет 10 %, т. е. пленки от 72 до 88 сотых мкм являются подходящими.

Дальнейший подбор параметров позволит добиться равномерности толщины пленки по пластине и в реакторе, но пока это не достигнуто, поэтому преимущества данного метода в сравнении с применяющимся на АО «Восход»-КРЛЗ методом пиролитического осаждения не доказаны.

Список используемых источников:

1. Никифорова-Денисова С.Н., Любушкин Е.Н. Термические процессы. М.: Высшая школа, 1989. 96 с.
2. Айнспрук Н., Браун. Д. Плазменная технология в производстве СБИС. Монография. М.: МИР, 1987. 471 с.
3. Данилина Т.И., Кагадей В.А. Технология СБИС. Томск: ТУСУР, 2007. 287 с.
4. Черняев В.Н. Технология производства ИМС и микропроцессоров. М.: Радио и связь, 1987. 376 с.

© 2016, Попова К.В.

Механизм процесса осаждения защитных пленок
SiO₂

© 2016, Popova K.V.

Precipitation mechanism of SiO₂ protective films