

УДК 529.232

Ю. А. Романов*¹ Е. В. Жариков¹, А. Е. Ануров², В. А. Плясунов²¹Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия, 125047, Москва, Миусская площадь, дом 9²ОАО «Российские космические системы», Москва, Россия

111250, Москва, ул. Авиамоторная, дом 53

* e-mail: romanoff.yuriy2016@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ НА РАВНОМЕРНОСТЬ ПОЛУЧАЕМЫХ ПЛЕНОК ДИОКСИДА КРЕМНИЯ**Аннотация**

В статье рассмотрено применение широтно-импульсной модуляции (ШИМ) в процессе осаждения слоев диоксида кремния и зависимость равномерности получаемых пленок от параметров ШИМ. Пленки диоксида кремния толщиной до 500 нм, полученные в реакторе плазмохимического осаждения, после отжига не уступают по своим свойствам (пробивные напряжения и C-V характеристики) пленкам, полученным пиролитическим методом. Показатель преломления полученных пленок составил 1.43-1.45.

Ключевые слова: плазмоактивированное химическое осаждение из газовой фазы, диэлектрик, диоксид кремния, микроэлектроника, широтно-импульсная модуляция, равномерность диэлектрических пленок

Введение

Высококачественные пленки диоксида кремния, осажденные при пониженной температуре, имеют значительное количество применений в микроэлектронике, такие, как пассивационные покрытия, межслойная изоляция, подзатворный диэлектрик. Использование высокотемпературных процессов для осаждения подобных слоев может быть неприемлемо вследствие того, что чрезмерный нагрев может изменить гетероструктуру, ранее нанесенную на подложку. Подчеркнем, что основное преимущество стимулированных плазмой реакций состоит в том, что они происходят при температурах, значительно меньших, чем в случае термических реакций [1].

Свойства осажденных пленок могут быть значительно улучшены как путем их отжига [2], так и с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ), при которой ВЧ мощность подается в реактор не постоянно, а периодически, в определенные временные промежутки.

Цель и объекты исследования.

Целью данной работы являлось исследование и оптимизация процесса получения пленок диоксида

кремния методом плазмохимического осаждения из газовой фазы.

Объекты исследования – пленки диоксида кремния, осажденные на кремниевые пластины диаметром 76 мм в реакторе плазмохимического осаждения установки «Изоплаз». Реактор представляет собой горизонтальную кварцевую трубу, в которой находится графитовая кассета с закрепленными внутри нее пластинами. Кассета состоит из пяти плоскопараллельных графитовых пластин. На рис.1 схематично показана кассета с кремниевыми пластинами и позиции, на которые они помещались в процессах 2 и 3 (см. ниже). Высота кассеты 150 мм, ширина 150 мм, длина 1 м, расстояние между пластинами 15 мм. При подаче ВЧ разряда плазма загорается между каждыми двумя соседними пластинами.

Состав газовой смеси включает в себя кислород, аргон и тетраэтоксисилан (ТЭОС). Аргон пропускается через барботер с ТЭОС, перенося его пары в реактор. Кислород и смесь паров тетраэтоксисилана и аргона подаются отдельно и смешиваются уже в самом реакторе на пути к кассете с пластинами.

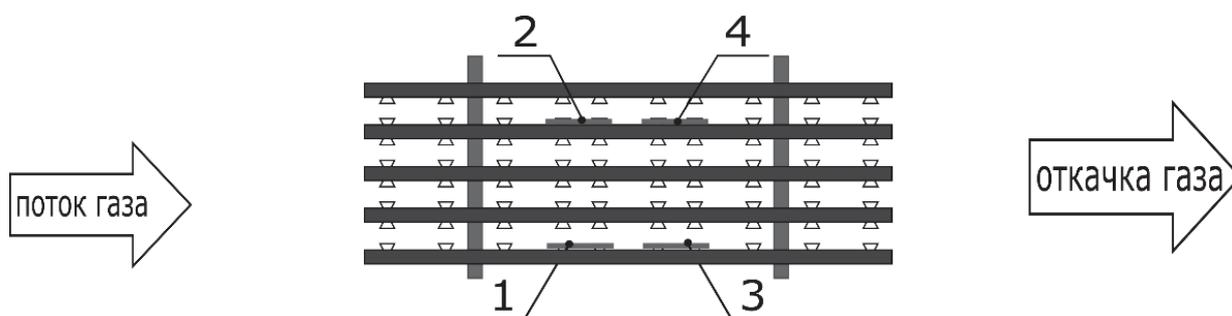


Рис. 1. Графитовая кассета

В работе использовалась «двойная» широтно-импульсная модуляция, обозначенная как ШИМ1 и ШИМ2. При ШИМ1 мощность модулируется с

периодом несколько миллисекунд, а при ШИМ2 – с периодом около 1 секунды. Таким образом, при одновременном их использовании в процессе №3, в

реактор периодически подавались «пакеты» коротких импульсов ВЧ мощности от генератора с частотой генерации 440 кГц.

Методы исследования

Для изучения тонких пленок диоксида кремния в различные позиции кассеты устанавливались пластины, после чего проводилось формирование пленок и измерялись их параметры.

Критерии качества пленок имеют две составляющие:

1. Качество материала пленки. О нем можно судить по показателю преломления и пробивным напряжениям. Полученные пленки имели коэффициент преломления 1.43-1.45 (близкий к коэффициенту преломления кварцевого стекла) и пробивное

напряжение (без дополнительной обработки) приблизительно 11 МВ/см, что лучше, чем достигнутое в работе [2].

2. Равномерность свойств пленки по пластине и по партии пластин. Именно ее предстояло улучшить.

Контроль качества получаемых пленок диоксида кремния осуществлялся методом спектральной эллисометрии на приборе «Эллипс-1891 САГ». Напряжение пробоя определялось при помощи измерителя полупроводниковых структур.

Результаты исследования

Вначале был проведен процесс №1 осаждения пленок диоксида кремния без применения ШИМ. Его параметры указаны в таблице 1.

Таблица 1. Параметры процесса №1

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Расход кислорода	19 л/час	Температура процесса	350 ⁰ С
Расход аргона	5.4 л/час	Мощность разряда	900 Вт
Давление в реакторе	80 Па	Время процесса	30 мин

Пленки осаждали на две пластины, первая была расположена вблизи зоны подачи газов, вторая вблизи зоны откачки. На первой пластине средняя толщина пленки составила 680 нм, на второй - 240 нм, отличие в 2.8 раза. Толщина пленки на отдельной пластине в различных местах отличалась в 2.9 раза.

В процессе №2 для улучшения качества пленок была применена ШИМ2. Параметры процесса №2 указаны в таблице 2, расположение пластин - на рис. 1.

В таблице 3 представлены результаты процесса №2. Толщина пленки измерялась в трех точках с

получением величин s_1, s_2, s_3 . Средняя толщина A определялась по формуле (1).

$$A = (s_1 + s_2 + s_3) / 3 \quad (1)$$

Неравномерность U определялась по формуле (2).

$$U = (|A - s_1| + |A - s_2| + |A - s_3|) / 3 \quad (2)$$

В процессе №3 для дальнейшего улучшения равномерности были одновременно применены ШИМ1 и ШИМ2. Параметры процесса указаны в таблице 4, расположение пластин на рис. 1.

Таблица 2. Параметры процесса №2

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Расход кислорода	36 л/час	Температура процесса	350 ⁰ С
Расход аргона	5.4 л/час	Мощность разряда	800 Вт
Давление в реакторе	80 Па	Время процесса	1 час
Время импульса ШИМ2	0,1 с	Время паузы ШИМ2	1 с

Таблица 3. Результаты процесса №2

Номер позиции	Средняя толщина, нм	Неравномерность, нм	Неравномерность, % от средней толщины пленки.
1	343	19	5,5
2	274	9	3,3
3	326	23	7,1
4	303	12	4,0

Таблица 4. Параметры процесса №3

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Расход кислорода	36 л/час	Температура процесса	350 ⁰ С
Расход аргона	5.4 л/час	Мощность разряда	800 Вт
Давление в реакторе	80 Па	Время процесса	1 час
Время импульса ШИМ2	0,1 с	Время паузы ШИМ2	1 с
Время импульса ШИМ1	1 мс	Время паузы ШИМ1	2 мс

В таблице 5 приведены результаты процесса №3

Таблица 5. Результаты процесса №3

Номер позиции	Средняя толщина, нм	Неравномерность, нм	Неравномерность, % от средней толщины пленки.
1	207	7	3,4
2	157	7	4,5
3	207	3	1,4
4	167	7	4,2

Выводы

1. Применение ШИМ с указанными параметрами перспективно для дальнейшей оптимизации процесса осаждения слоев диоксида кремния.
2. ШИМ1 влияет, в основном, на равномерность пленки по пластине, а ШИМ2 – на равномерность пленки по кассете.

Романов Юрий Александрович студент кафедры химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия, Москва

Жариков Евгений Васильевич профессор, д. т. н. кафедры химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия, Москва

Ануров Алексей Евгеньевич начальник сектора, ОАО «Российские космические системы», Россия Москва

Плясунов Виктор Алексеевич, инженер, ОАО «Российские космические системы», Россия Москва

Литература

1. Н. Айнспрук, Д. Браун. Плазменная технология в производстве СБИС. - М.: Мир, 1987 - С.73-75
2. Viana, C.E. Annealing effects in the PECVD SiO₂ thin films deposited using TEOS, Ar and O₂ mixture. / C.E. Viana, N.I. Morimoto, O. Bonnaud// Microelectronics Reliability – 2000. № 40. - P. 613-616.

Romanow Yuriy Aleksandrovich, Zharikov Evgeniy Vasiliyevich Andreev Andrey Andreevich**

D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia.

“Russian Space Systems“, Moscow, Russia.

*e-mail: romanoff.yurij2016@yandex.ru

INFLUENCE OF PULSE-WIDTH MODULATION ON UNIFORMITY OF SILICON DIOXIDE THIN FILMS**Abstract**

In this paper, the use of pulse-width modulation was performed and dependence of film uniformity on PWM parameters are discussed. Thin films with thickness up to 500 nm were fabricated in PE CVD reactor and after annealing they have characteristics (breakdown voltage and C-V curves) not worse than thin films fabricated by pyrolytical methods. The refractive index of thin films prepared in PE CVD reactor was 1.43..1.45.

Key words: plasma enhanced chemical vapor deposition, dielectric, silicon dioxide, microelectronics, pulse-width modulation, uniformity of dielectric films