

## ОСОБЕННОСТИ НАНЕСЕНИЯ ПЛЕНОК $\text{SiN}_x$ МЕТОДОМ ICP CVD В ОБЛАСТИ ПОВЫШЕННОГО ДАВЛЕНИЯ

Демидович С.А.<sup>1,2</sup>, Юник А.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ковальчук Н.С – к.т.н., доцент, доцент кафедры ЭТТ

**Аннотация.** Экспериментально исследован процесс нанесения диэлектрических пленок нитрида кремния методом плазмохимического осаждения из газовой фазы в индуктивно-связанной плазме (ICP CVD) в области повышенного давления. Установлено, что значительное повышение рабочего давления в камере приводит к появлению на поверхности подложек дефектов в виде матовых образований (пятен). Наиболее вероятной причиной их появления является недостаточная скорость десорбции продуктов реакции с поверхности подложки. Основными факторами, препятствующими появлению данных образований, являются увеличение температуры подложки и мощности ICP. Получены режимы осаждения пленки  $\text{SiN}_x$  в области повышенных рабочих давлений без появления матовых дефектов.

**Ключевые слова:** пленки  $\text{SiN}_x$ , индуктивно-связанная плазма, десорбция продуктов реакции, рабочее давление

**Введение.** В настоящее время наблюдается устойчивый рост интереса к диэлектрическим слоям, получаемым плазмохимическим осаждением из газовой фазы, а также оборудованию для его реализации. Наряду с прогрессом в технологии литографии и формирования микрорисунка качественное улучшение ИМС невозможно без совершенствования в технологии тонких пленок [1]. Известно, что увеличение рабочего давления и мощности ICP способствует снижению содержания кислорода и других примесей в пленке нитрида кремния, а также нейтрализует дрейф остаточных напряжений в пленке [2].

Целью данной работы является исследование влияния повышенного давления на свойства пленки нитрида кремния.

**Методика.** Для разработки технологии формирования межслойных диэлектрических слоев использовали низкотемпературное плазмохимическое осаждение на установке STE ICP200D (SemiTEq, Санкт-Петербург) с реактором индуктивно-связанной плазмы.

Плазмохимическое осаждение производилось на пластинах монокристаллического кремния КДБ–12 диаметром 100 мм. Перед процессом пластины обрабатывались в растворе КАРО, ПАР-5. Дополнительно перед процессом осаждения использовали ионную очистку в среде аргона в течение 30 секунд.

Анализ поверхности пленки проводился с помощью сканирующей электронной микроскопии (SEM) на электронном микроскопе Hitachi S 4800. Содержание кислорода в  $\text{SiN}_x$  определялось на рентгеновском микроанализаторе (EDX Brucker), совмещенном со сканирующим электронным микроскопом Hitachi S 4800.

Конструктивные особенности установки STE ICP200D позволяют нагревать подложкодержатель до 500°C включительно. В работе рассматривается диапазон рабочих давлений от 15 до 20 Па.

**Результаты и их обсуждение.** Установлено, что повышение рабочего давления (P) выше 15 Па при температуре осаждения (T) менее 400°C приводит к тому, что на поверхности подложки образуются дефекты в виде матовых пятен. Их размер и характер варьируется в зависимости от режима осаждения (рисунок 1, а-г).

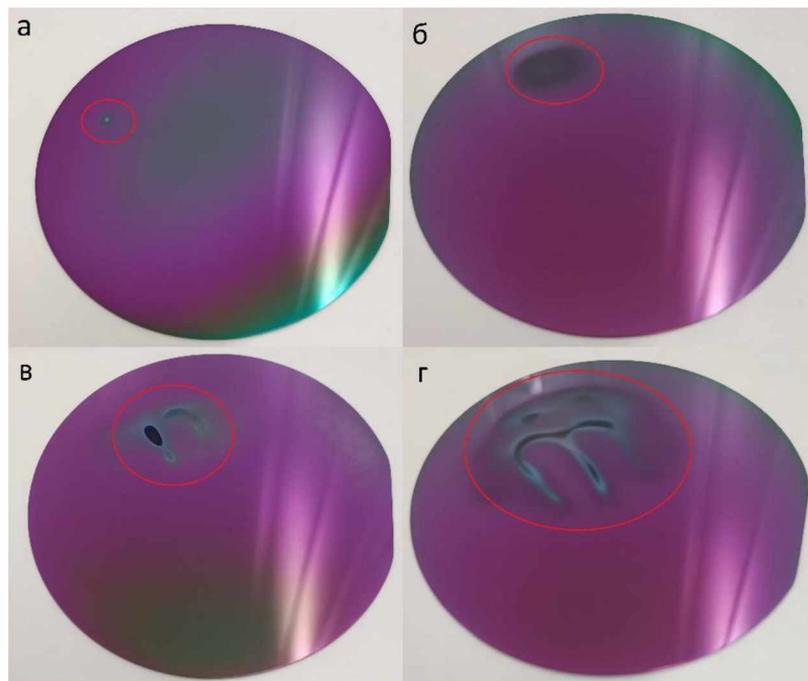


Рисунок 1 – Фото “матовых пятен” при различных режимах осаждения: P=15 Па, T=350°C (а), P=17,5 Па, T=400°C (б), P=20 Па, T=400°C (в), P=20 Па, T=450°C (г)

На рисунке 2 (а, б, в) показан анализ данных пятен с помощью сканирующей электронной микроскопии, а также анализ, проведенный в области нитрида кремния без дефектов (рисунок 2, г). Из рисунка 2 (а, б, в) видно, что пятна представляют собой густую сыпь округлой формы диаметром до 200 нм.

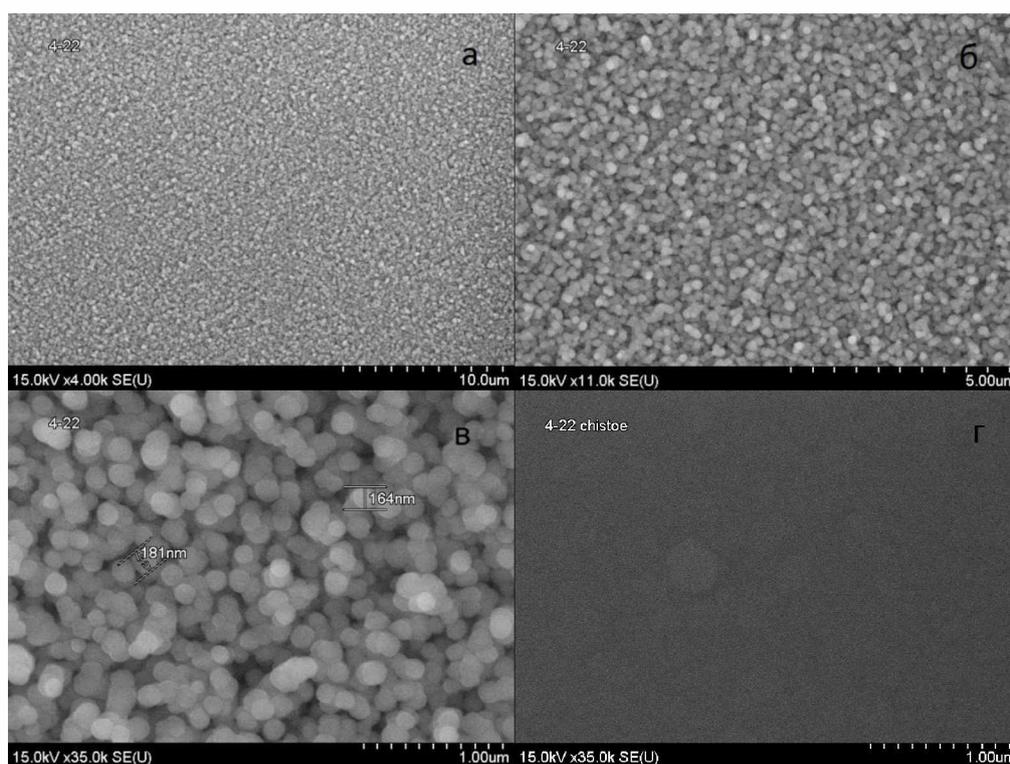


Рисунок 2 – SEM-анализ матовых пятен при увеличении 4к (а), 11к (б), 35к (в), 35к в чистой области (г)

На рисунке 3 изображен, проведенный с помощью энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX) анализ в области пятна (рисунок 3, а) и за пределами области пятна (рисунок 3, б).

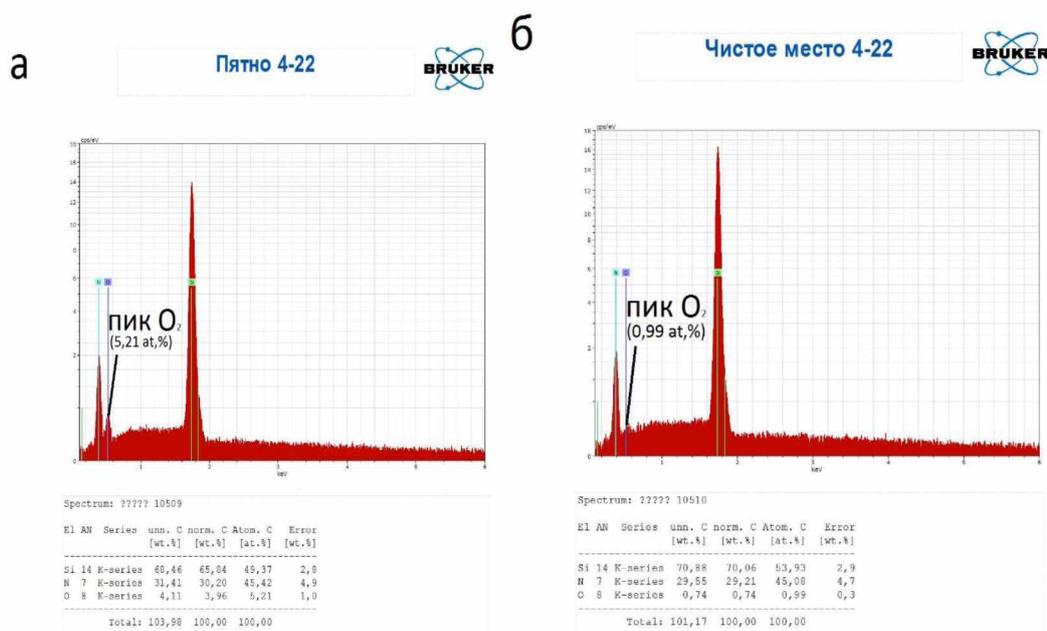


Рисунок 3 – EDX-анализ области пятна (а) и чистой области (б)

Из рисунка 3 (а, б) видно, что в области пятна количественное содержание кислорода увеличено более чем в 5 раз по сравнению с чистой пленкой.

Наиболее существенным фактором появления дефектов является увеличение рабочего давления в процессе осаждения пленки нитрида кремния, а факторами, препятствующими их появлению – увеличение температуры подложки и мощности ICP. Второстепенную роль играют соотношение подаваемых газов SiH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub>, вид подложкодержателя и диаметр подложки. Вероятной причиной появления данных дефектов является недостаточная скорость десорбции продуктов реакции с поверхности подложки. Скорости десорбции и диффузии сильно зависят от температуры подложки, при большей температуре получают пленки с меньшей концентрацией захваченных продуктов реакции, большей плотностью и более однородным составом. Кроме этого процессы десорбции могут стимулироваться ионной, электронной и фотонной бомбардировкой [3].

Исходя из факторов, описанных выше, были разработаны режимы осаждения пленки SiN<sub>x</sub> с изменением соотношений рабочих газов SiH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub> для 3-ех заданных давлений и температур соответственно. В таблице 1 представлены установленные граничные по рабочему давлению и температуре режимы осаждения пленок SiN<sub>x</sub> без образования дефектов в виде матовых пятен.

Таблица 1 – Граничные по рабочему давлению и температуре режимы осаждения пленок SiN<sub>x</sub>

Рабочее давление, Па	Мощность ICP, Вт	Температура подложкодержателя, °C	Соотношение N <sub>2</sub> /SiH <sub>4</sub>
15	1100	400	1,43-1,88
17,5		450	
20		500	

Максимальное рабочее давление при осаждении нитрида кремния, без появления дефектов в виде матовых пятен, составило 20 Па при температуре 500°C и мощности

ICP=1100 Вт. Для процессов с рабочим давлением от 15 до 17,5 Па температура подложкодержателя должна быть не менее 450°C. Соотношение газов SiH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub> варьировалось в пределах 1,43-1,88 для всех вариантов давлений.

**Заключение.** Экспериментально исследован процесс нанесения диэлектрических пленок нитрида кремния методом плазмохимического осаждения из газовой фазы в индуктивно-связанной плазме (ICP CVD) в области повышенного давления.

Установлены факторы, влияющие на качество пленки при повышенных давлениях. На их основе подобраны граничные рабочие режимы осаждения пленок SiN<sub>x</sub>. Максимальное рабочее давление при осаждении нитрида кремния, без появления дефектов в виде матовых пятен, составило 20 Па при температуре 500°C и мощности ICP=1100 Вт.

### *Список литературы*

1. В.А. Емельянов, А.С. Турцевич, О.Ю. Наливайко / Оборудование для химического осаждения из газовой фазы функциональных слоев / Минск: Белорус. наука, 2007, 255 с.
2. Механические напряжения в пленках SiN<sub>x</sub> при химическом осаждении из газовой фазы в плазме высокой плотности / Н.С. Ковальчук, С.А. Демидович, Л.А. Власукова, И.Н. Пархоменко, Ф.Ф. Комаров // Неорганические материалы, 2022, том 58, № 9, с. 938-944.
3. Лабуда А. А., Никифорова Н. Н. Физическая микроэлектроника / Курс лекций. Мн.: БГУ. 2002. 130 с.

UDC 539.25; 538.91; 538.97

## **FEATURES OF APPLICATION OF SINX FILMS BY ICP CVD METHOD IN THE AREA OF HIGH PRESSURE**

*Demidovich S., Yunik A.*

*Joint Stock Company "Integral"  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,  
Minsk, Republic of Belarus*

*Koval'chuk N. – Cand. of Sci., Associate Professor of the Department of ETT*

**Annotation.** The process of deposition of dielectric films of silicon nitride by plasma-chemical vapor deposition in inductively coupled plasma (ICP CVD) in the high-pressure region was experimentally studied. It has been established that a significant increase in the operating pressure in the chamber leads to the appearance of defects in the form of matte formations (spots) on the surface of the substrates. The most likely reason for their appearance is the insufficient rate of desorption of reaction products from the surface of the substrate. The main factors preventing the appearance of these formations are an increase in the substrate temperature and ICP power. Regimes of SiN<sub>x</sub> film deposition in the region of elevated operating pressures without the appearance of matte defects were obtained.

**Keywords:** SiN<sub>x</sub> films, inductively coupled plasma, desorption of reaction products, operating pressure