

Применение ионной очистки перед нанесением пассивирующего слоя позволяет повысить адгезию последнего к арсениду галлия. Была проведена пассивация ПТБШ с предварительной очисткой поверхности GaAs ионами аргона с энергией 600–700 эВ и плотностью тока 100 мкА/см². Внешний вид поверхности кристалла и стоковые характеристики представлены на рисунках 7–8.

Наблюдалось несущественное увеличение тока стока, а также отсутствие нарушений сплошности пленки SiO₂.

Заключение

Таким образом, результаты исследований показывают, что использование реактивного ИЛР кремниевой мишени позволяет сформировать пассивирующие покрытия для ПТБШ на GaAs с высокой адгезией и низкой степенью воздействия на их стоковые характеристики, даже при наличии повышенной плотности поверхностных состояний на границе раздела гетероструктур SiO₂/n-GaAs/

Литература

1. Коротченков, Г.С. Барьеры Шотки, собственные окислы и МОП структуры на арсениде галлия / Г.С. Коротченков, И.П. Молодян. – Кишинев, Штиинца, 1984. – 115 с.
2. Телеш, Е.В. Пассивация полевых транзисторов с барьером Шоттки на арсениде галлия с применением ионно-лучевого распыления диэлектрических мишеней / Е.В. Телеш // Электроника–инфо. – 2015. – № 7(121). – С. 59–62.

Е.В. Телеш, О.В. Гуревич, А.Ю. Вашуров, С.В. Святохо

УВО «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники», Беларусь

СВОЙСТВА ПЛЕНОК SiO₂, ПОЛУЧЕННЫХ ПРЯМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ ИОННЫХ ПУЧКОВ

Введение

Задача синтеза высококачественных диэлектрических покрытий из диоксида кремния с высокой производительностью является актуальной для микроэлектроники, оптоэлектроники и оптики. Плазма тлеющего разряда в химически активных газах при низком давлении используется для создания целого ряда покрытий, применяемых в микроэлектронике [1]. Используемые в настоящее

время для осаждения пленок SiO_2 парогазовые смеси на основе кремнийорганических соединений типа алкоксисиланов – тетраэтоксисилана (ТЭОС), тетраметоксисилана (ТМОС), с добавками кислорода, озона или CO_2 позволяют получать покрытия с лучшим качеством и более высокой конформностью по сравнению с моносиланом [2]. Так, применение ВЧ плазмохимического осаждения на холодные кремниевые подложки в смеси ТЭОС и кислорода при мощности 300 Вт и давлении 0,27 Па, позволило при концентрации тетраэтоксисилана менее 35 % сформировать покрытия из SiO_2 с низким содержанием углерода и высокой плотностью [3].

В последние годы все больше внимания исследователей привлекают методы, основанные на нанесении тонкопленочных покрытий из ионных потоков или пучков [4,5]. При прямом ионном осаждении используется ионный источник, который способен выдавать широкий пучок ионов и направлять химически активные частицы на подложку для последующего осаждения. В работе [6] для получения пленок диоксида кремния использовались пучки из ионов моносилана и кислорода. Скорость нанесения находилась в диапазоне 0,21–0,58 $\text{нм}\cdot\text{см}^{-1}$. Покрытия обладали высокой (91 %) прозрачностью в видимом диапазоне.

В данной работе будет изучено влияние состава рабочего газа температуры подложки $T_{\text{п}}$ на характеристики покрытий из диоксида кремния, полученных прямым осаждением из ионных пучков ТЭОС и кислорода.

1. Методика эксперимента

Для нанесения покрытий использовалась модернизированная установка вакуумного напыления ВУ-1А, оснащенная ионным источником на основе торцевого холловского ускорителя (ТХУ). Покрытия наносились на подложки из оптического стекла К8 и кремния, устанавливаемые на неподвижный держатель с возможностью их предварительного нагрева. Нагрев осуществлялся резистивным нагревателем. Остаточный вакуум в процессе нанесения не превышал значения $3\cdot 10^{-3}$ Па. Режимы работы ионного источника были следующими: анодное напряжение – 55–75 В, ток разряда – 3,0 А, ток соленоида – 3–4 А, ток эмиттера электронов – 11–12 А.

Спектры оптического пропускания и поглощения определялись при помощи спектрофотометра MC-121 PROSCAN. Для измерения коэффициента преломления покрытий использовался эллипсометр ЛЭФ-3 ($\lambda = 633$ нм). Толщина покрытий определялась по цвету и с применением ЛЭФ-3. Измерение ИК спектров пропускания осуществлялось с помощью FTIR спектрометра Vertex 70 в диапазоне $400\text{...}2500$ см^{-1} .

Электрофизические параметры пленок (тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$, электрическая прочность $E_{\text{пр}}$) покрытий осуществляли путем измерения характеристик МДП – структуры.

2. Результаты и их обсуждение

Скорость нанесения V_n находилась в пределах от 2,08 до 4,33 $\text{нм}\cdot\text{см}^{-1}$ и зависела от состава газа и тока разряда. Следует отметить, что V_n была значительно выше, чем при использовании моносилана [6], а также при электронно-лучевом испарении кварца ($1,0 \text{ нм}\cdot\text{см}^{-1}$). На рисунке 1 приведены спектры пропускания пленок, полученных при отсутствии кислорода и при давлении кислорода $6,65 \cdot 10^{-3}$ Па.

Наблюдается существенное улучшение пропускания при добавке кислорода. Об этом свидетельствует и зависимость оптического пропускания T и поглощения α на $\lambda = 555 \text{ нм}$ от давления кислорода (рисунок 2). В тоже время нагрев подложки привел к значительному снижению прозрачности пленок и росту поглощения (рисунок 3).

Коэффициент преломления n покрытий снижался с ростом парциального давления кислорода с 1,53 до 1,50. Повышенное значение n можно объяснить тем, что энергия конденсирующихся частиц находилась в диапазоне 30...40 эВ. Это способствовало формированию более плотной структуры покрытий и росту коэффициента преломления.

При использовании в качестве рабочего газа SiH_4 повышение T_p , наоборот, способствовало улучшению оптических свойств [6].

Повышение T_p с 343 до 623 К привело к росту n с 1,52 до 1,86 при давлении кислорода $6,65 \cdot 10^{-3}$ Па. В работе [3] повышение n было связано с ростом парциального давления ТЭОС. Следовательно, в нашем случае может происходить десорбция кислорода из конденсата при высоких T_p .

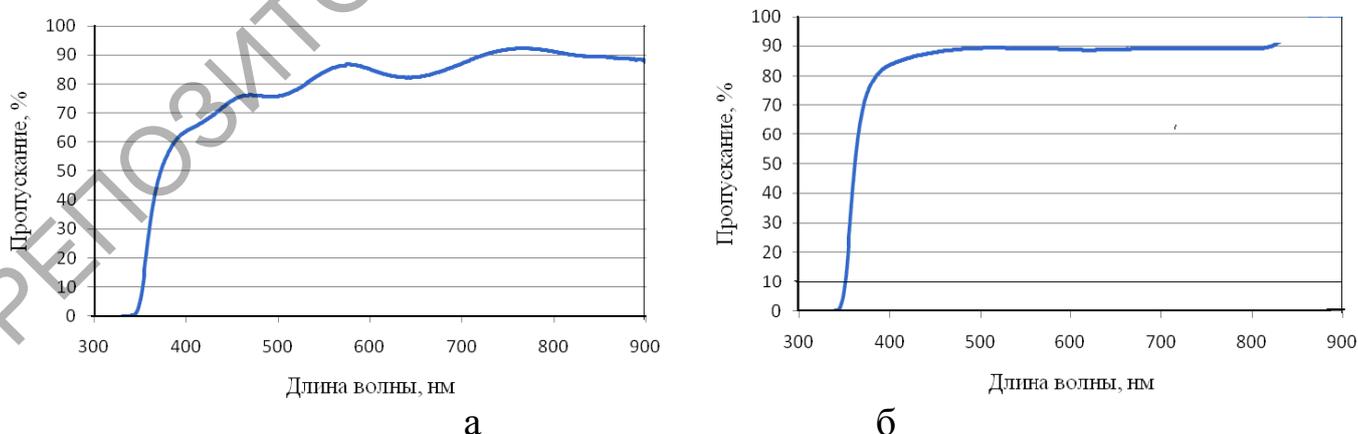


Рисунок 1 – Спектры пропускания пленок, синтезированных при отсутствии кислорода (а) и при давлении кислорода $6,65 \cdot 10^{-3}$ Па (б)

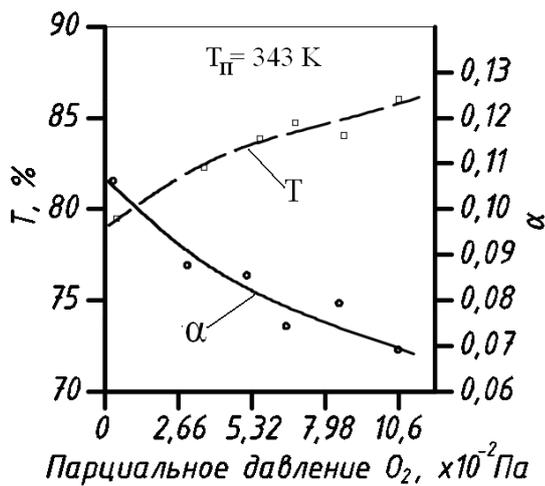


Рисунок 2 – Зависимость пропускания и поглощения от парциального давления кислорода

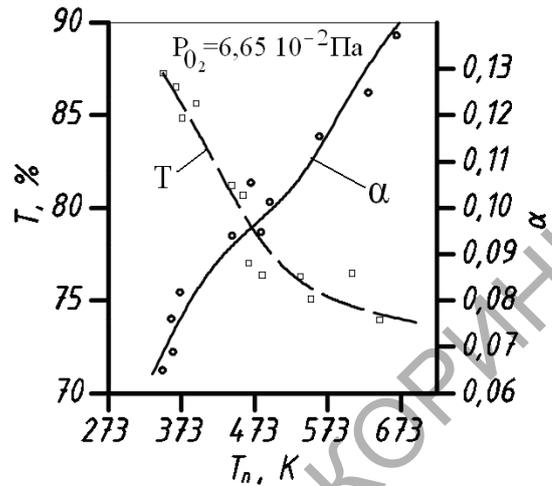


Рисунок 3 – Зависимость пропускания и поглощения от температуры подложки

Измерение электрофизических характеристик пленок показало, что повышение давления кислорода способствовало снижению $\text{tg}\delta$ и незначительному росту электрической прочности, что можно связать с дополнительным окислением кремния (рисунок 4). Нагрев подложки до 423 К привел к повышению $E_{\text{пр}}$ почти в 2 раза и к снижению потерь. Однако при $T_{\text{II}} > 473$ К происходит рост $\text{tg}\delta$ и уменьшение $E_{\text{пр}}$ (рисунок 5).

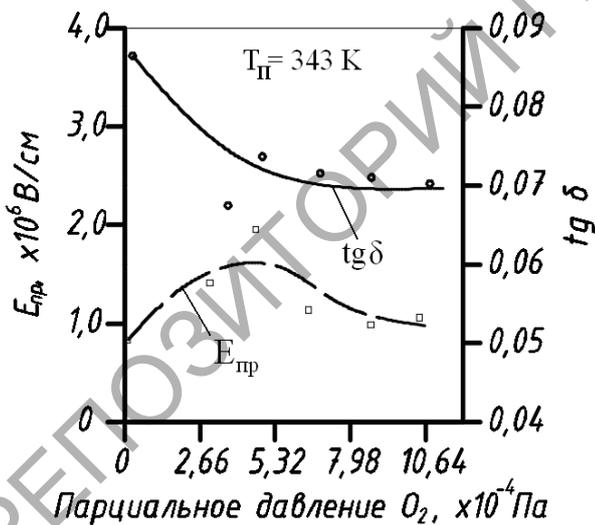


Рисунок 4 – Зависимость пропускания и поглощения от парциального давления кислорода

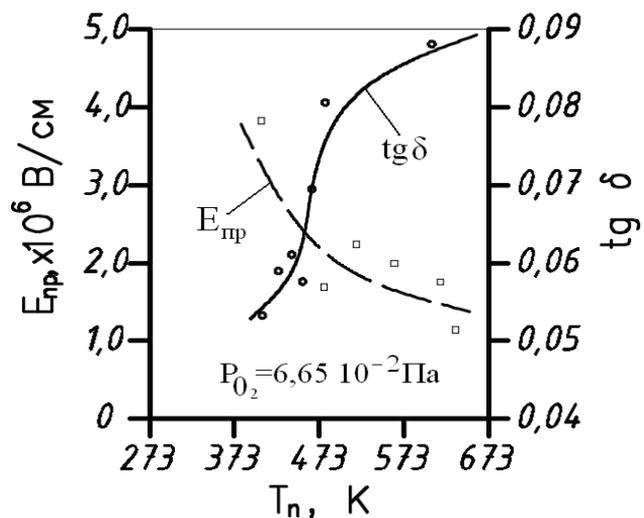


Рисунок 5 – Зависимость пропускания и поглощения от температуры подложки

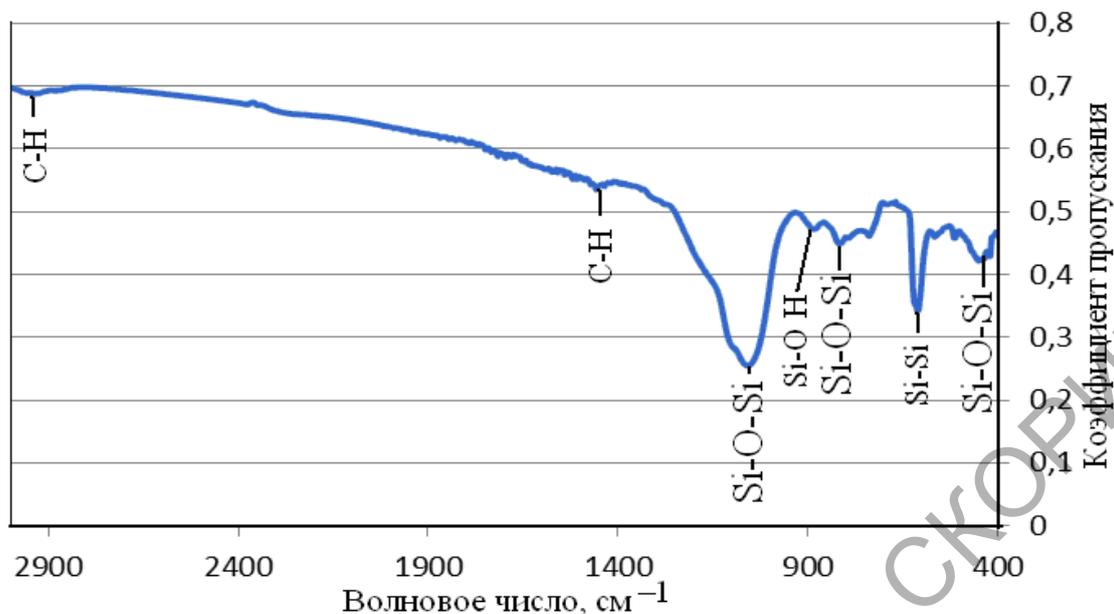


Рисунок 6 – ИК спектры пропускания пленок

Измерение ИК спектров пропускания показало, что пленки имели три полосы поглощения, присущие колебаниям кислородного мостика Si-O-Si: $\nu_s = 800 \text{ см}^{-1}$, $\nu_{as} = 1060 \text{ см}^{-1}$, $\delta_{as} = 450 \text{ см}^{-1}$, а также полосу поглощения кремния около $\sim 607 \text{ см}^{-1}$ (рисунок 6). Полученное покрытие представляло собой двухфазную смесь кремния и диоксида кремния.

Также на спектре были обнаружены полосы поглощения Si-OH на 950 см^{-1} и C-H на 1460 и 2930 см^{-1} . По положению основной полосы поглощения $\nu_{as} = 1060 \text{ см}^{-1}$ был определен состав покрытий, который соответствовал $\text{SiO}_{1,77\dots 1,78}$.

Заключение

Исследовано режимов нанесения на свойства покрытий из диоксида кремния, полученных прямым осаждением из ионных пучков ТЭОС и кислорода. Установлено, что увеличение давления кислорода приводит к росту пропускания и электрической прочности, уменьшению поглощения и диэлектрических потерь покрытий. Повышение температуры подложки не способствовало улучшению оптических характеристик покрытий. Нагрев подложки до 423 К привел к повышению $E_{пр}$ почти в 2 раза и к снижению потерь. Однако при $T_{п} > 473 \text{ К}$ происходит рост $\text{tg}\delta$ и уменьшение $E_{пр}$.

Литература

1. Fukuda, T. High-quality, high-rate SiO_2 and SiN films formed by 400 kHz bi-as electron cyclotron resonance-chemical vapor deposition / T. Fukuda, K. Saito, M. Ohue // Jap. J. Appl. Phys. Pt 2. – 1995. – Vol. 34. – № 7B. – P. 937–940.

2. Schlote, J. SiO₂ films from tetraethoxylane-based LPCVD: An experimental investigation of the by-product-inhibited deposition mechanism / J. Schlote, E. Bugiel, J. Arndt, G. Wahl // J. Electrochem. Soc. – 1999. – Vol. 146. – P. 3415–3419.

3. Vallee, C. Inorganic to organic crossover in thin films deposited from O₂/TEOS plasmas/ C. Vallee, A. Lee, J. Durand, C. Marlieve // J. of Non-Cryst. Solid. – 2000. – Vol. 272. – P. 163–173.

4. Meskinis, S. Dielectric properties of the ion beam deposited SiO_x doped DLC films / S. Meskinis, R. Gudaitis, S. Tamulevicius, V. Kopustinskas, M. Andrulevicius // Material Sci. – 2009. – Vol. 15. – № 1. – P. 3–6.

5. Телеш, Е.В. Формирование оптических покрытий прямым осаждением из ионных пучков / Е.В. Телеш, Н.К. Касинский // Контенант. – 2014. – Т. 13. – № 2. – С. 27–30.

6. Телеш, Е.В. Оптические характеристики тонких пленок диоксида кремния, полученных прямым осаждением из ионных пучков / Е.В. Телеш, А.П. Достанко, А.Ю. Вашуров // Доклады БГУИР. – 2015. – № 8(94). – С. 81–85.

О.И. Тихон, С.И. Мадвейко, С.В. Бордусов

УО «Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники», Минск, Беларусь

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЛАЗМЕННЫХ СИСТЕМ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Повышение требований к качеству изготовления компонентов при производстве изделий электронной техники требует решения новых задач в области микро- и наноэлектроники, в частности применения существующих и создания новых типов плазменных разрядов.

Ключевую роль в производстве полупроводниковых приборов уже долгое время играет плазма низкого давления. Ряд преимуществ, среди которых: возможность генерации высококонцентрированных реактивных частиц, способных травить и наносить тонкие плёнки на поверхность; получение равномерного свечения плазмы и низкая температура рабочего газа, позволяющая обрабатывать термочувствительные подложки, позволили плазме проникнуть практически на все этапы производства. Плазма низкого давления, однако, имеет ряд недостатков, к которым относится необходимость использования вакуумных систем, вы-