

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 537.525.72

Мысливец  
Александр Сергеевич

Нанесение просветляющих покрытий на основе соединения кремния с  
применением плазмы высокой плотности

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-41 80 03 «Нанотехнологии и наноматериалы  
(в электронике)»

---

Научный руководитель  
Котов Дмитрий Анатольевич  
кандидат технических наук  
доцент кафедры микро- и  
наноэлектроники

---

Минск 2016

## ВВЕДЕНИЕ

Просветляющее покрытие – это однослойная или многослойная оптическая структура на поверхности оптической системы, улучшающая ее пропускную способность за счет уменьшения отражения падающего света. Просветляющее покрытие позволяет увеличить контрастность и чёткость изображения на экранах электронных устройств, в частности в момент их нахождения под воздействием прямых солнечных лучей. Одной из целевых ниш применения такого покрытия являются сенсорные экраны мобильных телефонов, музыкальных плееров, электронных книг, планшетов, ноутбуков, которые являются потребительскими товарами массового производства.

В данной работе рассмотрены некоторые особенности осаждения пленок нитрида и оксида кремния методом химического осаждения из газовой фазы (ХОГФ), стимулированного плазмой высокой плотности. Данный метод обладает рядом преимуществ по сравнению с методами физического осаждения при применении в серийном и массовом производстве: упрощается процедура сервисного обслуживания оборудования, так как не требуется замена мишеней распыляемого материала; межсервисный интервал может быть значительно увеличен, так как частичная или полная очистка камеры может проводиться плазмохимическим травлением, а осаждаемые на поверхность камеры пленки имеют низкие механические напряжения и дольше удерживаются на элементах оснастки, не загрязняя своими частями формируемое покрытие.

При осаждении оптических слоев, так же имеется ряд требований, которые не учитываются в технологии микроэлектроники, где метод плазмохимического осаждения используется уже несколько десятилетий. Основными из них является: сведение до минимума коэффициента поглощения, за счет управления стехиометрией слоев и снижения дефектности; стабилизация коэффициента преломления под воздействием перепадов влажности и температуры за счет повышения плотности формируемых слоев.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы магистерской диссертации.**

Одной из целевых ниш применения просветляющего покрытия – сенсорные экраны мобильных телефонов, музыкальных плееров, электронных книг, планшетов, ноутбуков, которые являются потребительскими электронными товарами массового производства. Высокая производительность технологического процесса - это обязательное требование при разработке процесса производства покрытий на сенсорные экраны перечисленных устройств. Актуальность работы заключается в необходимости разработки низкотемпературного метода получения диэлектрических просветляющих покрытий высокого качества для массового производства. Особенно остро эта проблема стоит при нанесении покрытий на сверхтонкие и термически нестабильные подложки.

### **Цель и задачи исследования**

Цель работы – разработка технологии нанесения просветляющих покрытий методом химического осаждения из газовой фазы с применением плазмы высокой плотности, приспособленного для массового производства.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Проведение аналитических исследований существующих в настоящее время методов получения просветляющих покрытий.
2. Разработка экспериментального комплекса.
3. Исследование влияния параметров технологического процесса на свойства пленок оксида и нитрида кремния.
4. Расчет и формирование многослойного просветляющего покрытия на основе полученных пленок оксида и нитрида кремния.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования является процесс получения просветляющего покрытия. Предметом исследования являются параметры технологических процессов для нанесения просветляющих покрытий методом химического осаждения из газовой фазы, активированного плазмой высокой плотности.

**Связь работы с приоритетными направлениями научных исследований и запросами реального сектора экономики.**

Работа выполнялась совместно на кафедре Микро- и наноэлектроники БГУИР и в научно-технической компании ИЗОВАК для разработки технологии нанесения просветляющего покрытия с применением плазмы высокой плотности и соответствует подразделу 12.2 «Физика

фундаментальных взаимодействий, высоких энергий и экстремальных состояний вещества, плазма и ее применение, плазменно-пучковые технологии» перечня приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2011-2015 гг., утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь 19 апреля 2010 г. №585.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту.**

На защиту выносятся следующие основные результаты:

1. Методика получения пленок оксида и нитрида кремния с применением плазмы высокой плотности в едином вакуумном цикле.
2. Результаты экспериментального исследования влияния технологических параметров осаждения на оптические свойства, структуру и равномерность пленок нитрида и оксида кремния.
3. Технология формирования многослойного просветляющего покрытия в диапазоне 400-700нм на основе полученных пленок нитрида и оксида кремния.

**Личный вклад соискателя.**

Все основные результаты и выводы получены соискателем самостоятельно. Аналитическое исследование современных методов нанесения просветляющих покрытий проводилось соискателем лично. Разработка схемы проведения технологического процесса осуществлялась совместно с сотрудниками компании “ИЗОВАК”. Во время работы над диссертацией соискателем были проведены сборка экспериментального реактора и эксперименты по напылению тонких пленок в различных режимах для определения влияния технологических факторов на их свойства. Разработка технологии получения просветляющего покрытия и вакуумного оборудования для массового производства проводилась совместно с сотрудниками компании “ИЗОВАК” и научным руководителем кандидатом технических наук Котовым Д.А.

**Публикации.** Основные положения работы и результаты диссертации изложены в 2 опубликованных работах, представленных в материалах научных конференций (см. список опубликованных работ).

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения и списка использованных источников, включающего 32 наименования. Общий объем диссертации составляет 62 страницы.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приводится аналитическое исследование современного оборудования и методов нанесения просветляющих покрытий, приспособленных для массового производства, рассматриваются преимущества и недостатки методов получения тонких пленок, а так же основные материалы для получения широкозонных просветляющих покрытий в видимом диапазоне. На основе этого исследования делается вывод о перспективности использования такого метода нанесения просветляющих покрытий как химическое осаждение из газовой фазы, активированное плазмой высокой плотности.

Во второй главе описано экспериментальное и измерительное оборудование, а также методики экспериментов. Представлена схема экспериментальной установки, разработанной на основе вакуумного оборудования «Ортус 700» производства компании «ИЗОВАК». Для проведения плазмохимического осаждения данная установка была модернизирована и оптимизирована под необходимые технологические условия. Плазма генерировалась в цилиндрическом реакторе из нержавеющей стали внутренним диаметром 500 мм. В нём соосно размещены генератор плазмы, состоящий из антенной системы в виде четырехзаходной спирали диаметром антенны 220 мм, работающий на частоте 13,56 МГц, и газораспределитель. В реакторе были установлены два охлаждаемых водой соленоида, которые обеспечивают генерацию магнитного поля в разрядной зоне в диапазоне от 0,3 до 3 мТ. Для осаждения пленки нитрида кремния через систему газораспределения в вакуумную технологическую камеру подавалась смесь рабочих газов  $\text{SiH}_4$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{Ar}$ , до давления в диапазоне 0,5–3 Па и включался генератор плазмы. Для осаждения оксида кремния изменялся состав газовой смеси заменой азота на кислород.

В третьей главе приведены результаты экспериментального исследования влияния технологических параметров на свойства пленок нитрида и оксида кремния. В результате проведения экспериментов были построены зависимости изменения коэффициента преломления, коэффициента поглощения, скорости нанесения, а так же равномерности нанесения пленок для нитрида и оксида кремния от таких технологических параметров как: ВЧ мощность разряда, отношение потока рабочих газов, рабочего давления в реакторе. Были выбраны оптимальные режимы нанесения нитрида кремния с коэффициентом преломления 1,82 и оксида кремния с коэффициентом преломления 1,46 с минимальным поглощением в

пленках. На основе полученных пленок нитрида и оксида кремния было рассчитано и сформировано восьмислойное просветляющее покрытие с интегральным значением отражения  $R \leq 0,8\%$  в диапазоне длин волн 400-700нм на диаметре подложки 200мм с равномерностью нанесения  $\leq \pm 1,5\%$

В четвертой главе приводятся результаты применения технологии нанесения просветляющего покрытия на основе метода химического осаждения из газовой фазы, стимулированного плазмой высокой плотности. Приводится описание промышленной установки. Изложены результаты климатических и механических тестов.

В заключении кратко изложены основные результаты магистерской диссертации, приведены результаты экспериментов по получению пленок нитрида и оксида кремния, и просветляющего покрытия на основе этих материалов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведения аналитических исследований были определены недостатки существующих методов нанесения просветляющих покрытий и приведены способы решения их с применением метода химического осаждения из газовой фазы, стимулированного плазмой высокой плотности.

Проведено исследование влияния технологических параметров на оптические свойства, скорость нанесения и равномерность нитрида и оксида кремния, и выбраны оптимальные режимы технологического процесса.

В ходе экспериментальных исследований были получены:

- нитрид кремния  $\text{SiN}_x$  с максимальным коэффициентом преломления 1,82 без поглощения излучения в диапазоне длин волн 400-700 нм при скорости осаждения 0,92 нм/с;

- оксид кремния  $\text{SiO}_x$  с коэффициентом преломления 1,46 без поглощения излучения в диапазоне длин волн 400-700 нм при скорости осаждения 1,3 нм/с.

На основе полученных пленок было рассчитано и получено восьмислойное просветляющее покрытие высокого качества с интегральным значением отражения  $R \leq 0,8\%$  на диаметре подложки 200мм с равномерностью нанесения  $\leq \pm 1,5\%$  в диапазоне длин волн 400-700 нм. Данные покрытия прошли климатические и механические тесты.

Исходя из результатов представленных исследований, можно говорить о применимости метода химического осаждения из газовой фазы, стимулированного плазмой высокой плотности, для формирования просветляющих покрытий высокого качества в массовом производстве.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. А. С. Мысливец, А. А. Ясюнас, Е. А. Хохлов, Д.А. Котов Плазмохимическое осаждение пленок оксида и нитрида кремния для создания просветляющих покрытий / XII Международная научная конференция “Молодежь в науке – 2015”. Минск: НАН, 2015.

2. А. С. Мысливец, Е. А. Хохлов, А. Г. Смирнов Формирование непрозрачного диэлектрического декоративного покрытия для сенсорных дисплеев / Минск: БГУИР, 2014.

Библиотека БГУИР