

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОЦЕССОВ ВАКУУМНОГО НАНЕСЕНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Каученко Л.Н.

Лазаренков А. М.- д-р техн. наук, профессор

Целью работы является исследование методики формирования оптического покрытия методами ионно-ассистированного электронно-лучевого испарения.

Внедрение передовых оптических приборов и оптических методов исследований в различные области науки и техники приводит к необходимости создания многослойных диэлектрических и металлодиэлектрических систем не только с повышенными требованиями к их свойствам, но и к необходимости их сочетания по механическим, оптическим и другим функциональным параметрам. В первую очередь интерес представляют оптические свойства. Задачей, связанной со свойствами оптических материалов, является осаждение покрытий на нестойких стеклах, кристаллах и полимерах. Также критичны химические свойства и физико-механические характеристики формируемых функциональных покрытий, обусловленные как большим рядом материалов подложек и покрытий, так и спецификой их применения.

Основная сложность, которая возникает при изготовлении перечисленных выше покрытий, заключается в нестабильности показателей преломления слоёв, входящих в состав диэлектрических и металлодиэлектрических систем, а также в недостаточной точности контроля толщины слоёв в процессе осаждения. Поэтому в представленной работе даются технологические приемы и методики формирования многослойного покрытия и контроля их характеристик, с предварительным изучением существующих технологий и методов получения тонкопленочных покрытий для многослойных оптических покрытий, рассматриваются способы обеспечения безопасности данных процессов.

Достоинствами электронно-лучевого метода являются: возможность нанесения пленок металлов (в том числе тугоплавких), сплавов, полупроводниковых соединений и диэлектрических пленок; высокая скорость испарения веществ и возможность регулирования ее в широких пределах за счет изменения подводимой к испарителю мощности; чистота процесса, позволяющая при наличии высокого (а при необходимости сверхвысокого) вакуума получать покрытия практически свободные от загрязнений атмосферы.

Исходя из выше приведенного представляет интерес отработка технологии нанесения покрытия отрезающего фильтра методом электронно-лучевого испарения с ионным ассистированием.

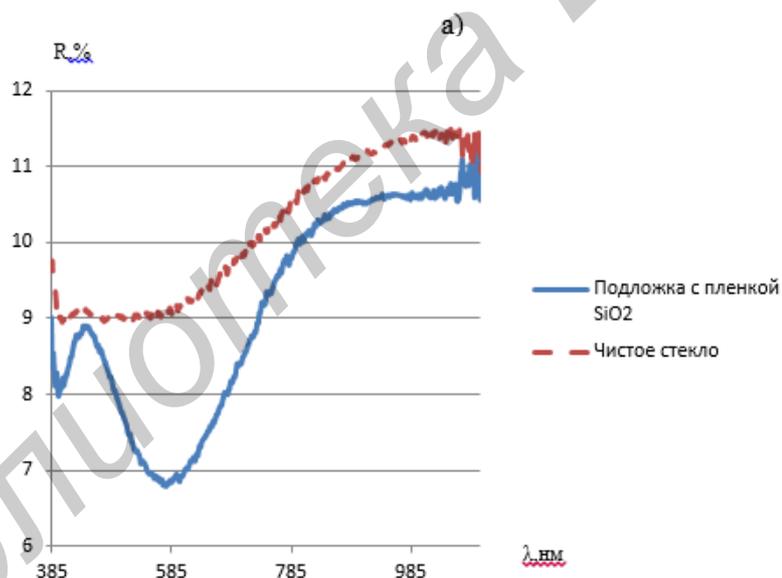
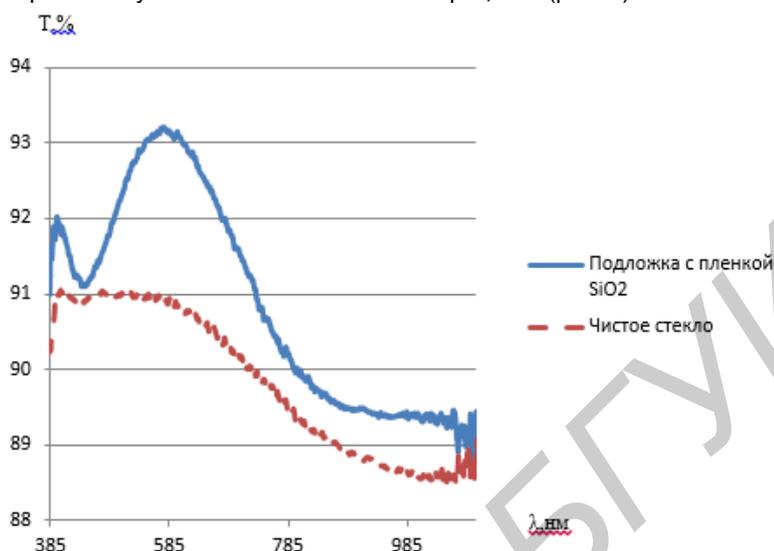
Проведено экспериментальное исследование параметров оптических покрытий, полученных методом испарения, а именно – оптические просветляющие покрытия наносились на подложки из стекла Asashi glass ГОСТ 3514-94 0,7 мм размером 5x5 мм. Применялся метод осаждения пленок - ионно-ассистированное электронно-лучевое испарение, реализованное на вакуумной установке



«Ortus-700» (рис. 1).

Рисунок 1 - Конфигурация расположения технологических устройств в вакуумной камере  
 1 – электронно-лучевой испаритель; 2 – ионный источник ассистирования «Стрелок-2»; 3 – планетарный подложкодержатель

Разработана методика формирования оптического покрытия методами ионно-ассистированного электронно-лучевого испарения, проведено исследование зависимости свойств просветляющих покрытий от условий технологического процесса (рис. 2).



б)

а – пропускание; б – отражение

Рисунок 2 - Спектральные графики пропускания и отражения для чистой подложки и подложки с пленкой  $\text{SiO}_2$ , полученной методом ЭЛИ

Критическими параметрами, влияющими на спектральные характеристики образцов, при испарении являются: энергетика бомбардирующих ионов, ток эмиссии электронного пучка, скорость напыления технологических слоев, степень окисления материалов в тигле, остаточное давление в камере.

Установлено, что при увеличении энергетика осаждаемых частиц и молекул ухудшаются значения показателя пропускания, увеличиваются значения поглощения и отражения. Сделаны выводы о целесообразности дальнейшего исследования данного метода осаждения и внедрения

его в производство. Внесены предложения по обеспечению безопасной работы оператора вакуумной установки при работе на вакуумных установках.

Список использованных источников:

- [1] Ландсберг, Г. С. Оптика : учебное пособие / Г. С. Ландсберг. – М. : Физматлит, 2003. – 848 с.
- [2] Путилин, Э. С. Оптические покрытия : учебное пособие / Э.С. Путилин – СПб. : СПбГУИТМО, 2010. – 227 с.
- [3] Данилин, Б. С. Получение тонкопленочных элементов микросхем / Б. С. Данилин – М. : Энергия, 1977. – 136 с.
- [4] Данилин, Б. С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок / Б. С. Данилин. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 328 с.
- [5] Кудинов, В. В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование / В. В.Кудинов, Г. В. Бобров – М. : Металлургия, 1992. – 431 с.
- [6] Вакуумное нанесение пленок в квазизамкнутом объеме / Ю. З. Бубнов [и др.]. М. : Советское радио, 1975. - 160 с.
- [7] Григорьев, Ф. И. Осаждение тонких пленок из низкотемпературной плазмы и ионных пучков в технологии микроэлектроники : учебное пособие / Ф. И. Григорьев. – М. : МГИЭМ, 2006. – 35 с.
- [8] Вакуумное технологическое оборудование Ортус-700 : руководство по эксплуатации. ООО «Изовак», 2012. – 86 с.
- [9] Зуев, Д. А. Импульсное лазерное осаждение тонких пленок ИТО и их характеристики / Д. А. Зуев [и др.] // Физика и техника полупроводников. – 2012. – Т. 46, № 3. – С. 425–429.
- [10] Майссел, Р. Технология тонких пленок : перевод с английского / Р. Майссел, Г. Грэйг – М. : Советское радио, 1977. – 664 с.
- [11] Никитин, М. М. Технология и оборудование вакуумного напыления / М. М. Никитин. – М. : Металлургия, 1992. – 112 с.
- [12] Белый, А. В. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев / А. В. Белый, Г. Д. Карпенко, Н. К. Мышкин. – М. : Машиностроение, 1991. 208 с.
- [13] Francis, F. Industrial applications of low – temperatures plasma physics / F. Francis // Physics Plasmas. – 1995. – Vol. 2, N. 6. – P. 2164–2175.
- [14] Арцимович, Л. А. Плазменные ускорители / Л. А Арцимовича.–М.: Машиностроение, 1973. – 311 с.
- [15] Попов, В. Ф. Процессы и установки электронно-ионной технологии / В. Ф. Попов, Ю. Н. Горин. – М. : Высш. шк., 1988. – 225 с.
- [16] Совершенствование конструкции одноступенчатого ускорителя с анодным слоем (УАС) / В. И. Гаркуша [и др.] // VI Всесоюзн. конф. Днепропетровск, 1986. – С. 11–12.
- [17] Ляпин, Е. А. Современное состояние исследований ускорителя с анодным слоем. Ионные инжекторы и плазменные ускорители : сб. науч. ст. / Е. А. Ляпин, А. В. Семенкин. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – С. 20-33.
- [18] Плешивцев, Н. В. Катодное распыление / Н. В. Плешивцев. – М. : Атомиздат, 1968. – 213 с.
- [19] Ляпин, Е. А. Ускоритель с вынесенным анодным слоем / Е. А. Ляпин, А. В. Семенкин // VII Всесоюзн. конф. по плазменным ускорителям и ионным инжекторам. – Харьков, 1989. – С. 210-211.
- [20] Garner, C. E. Experimental Evaluation of Russian Anode Layer Thrusters. 30 th AIAA Joint Propulsion Conference. Indianapolis. June 27-29, 1994. – P. 47-52.
- [21] Вакуумное технологическое оборудование Аспира-150 : руководство по эксплуатации. ООО «Изовак». – 2014. – 104 с.
- [22] Система оптического контроля «Invisio M» : руководство по эксплуатации. ООО «Изовак». – 2012. – 40 с.
- [23] Носенко, А. А. – Методические указания по технико-экономическому обоснованию дипломных проектов инженерного профиля / А.А. Носенко Минск: БГУИР, 2010. – 23 с.
- [24] Максимов, Г. Т. Технико-экономическое обоснование дипломных проектов. Методическое пособие в 4-х частях. Часть 1. Научно-исследовательские проекты / Г.Т. Максимов. – Минск: БГУИР, 2003. – 44с.
- [25] Охрана труда в оптическом производстве. Специальные технологические операции / М. М. Кузнецов [и др.]. – Новосибирск : СГГА, 2012. – 107 с.
- [26] Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению безопасности и безвредности воздействия на работников производственных источников ультрафиолетового излучения» : Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь, 14 декабря 2012 г., № 198 // Эталон – Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. – Минск, 2014.
- [27] Об утверждении Типовой инструкции по безопасности и охране труда при наполнении баллонов кислородом и обращении с ними потребителей по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь и Министерства труда Республики Беларусь, 18 сентября 1998 г., № 88/79 // Эталон – Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. – Минск, 2014.
- [28] Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Перечень регламентированных в воздухе рабочей зоны вредных веществ» : Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь, 31 декабря 2008 г., № 240 // Эталон – Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. – Минск, 2014.
- [29] Айнспрук, Н. Плазменная технология в производстве СБИС : перевод с английского / Н. Айнспрук, Д. Браун. – М. : Мир, 1987. – 471 с.