

УДК 681.785

ОПТИЧЕСКАЯ МИКРОСКОПИЯ АЛМАЗОПОДОБНЫХ СЛОЕВ НИТРИДА УГЛЕРОДА

Свиридов В.В., к.ф.-м.н., доц., Радкевич Н.А.,

Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко, г. Луганск

91011 г. Луганск, ул. Оборонная, 2

E-mail: lgpu.lg.ua

Шемченко Е.И., м.н.с.

Физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины, г. Донецк

83000 г. Донецк, ул. Р. Люксембург, 72

E-mail: fti.ac.donetsk.ua

Вельченко А.А., магистр физики, преподаватель.

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск

91034 г. Луганск, кв. Молодежный 20а

E-mail: uni@snu.edu.ua

Проведено мікроскопічне дослідження алмазоподібних шарів нітриду вуглеця. Встановлена відповідність з результатами по спектрофотометричному вимірюванню нормального відбиття. Підтверджена оптична неоднорідність шарів, отриманих за обраними умовами іонно-плазмового розпилення.

Ключевые слова: оптична мікроскопія, спектрофотометрія, алмазоподібні шари, іонно-плазмове розпилення.

Microscopical research of similar to diamondlike layers of nitride of carbon was conducted. It was determined the accordance with the results in spectrophotometric dimensions of normal reflection. It was determined the Optical heterogeneity of layers which was found under chosen conditions of ionic plasmic sputtering.

Key words: optical microscopy, spectrophotometry, diamondlike layers.

Введение. Работа является продолжением наших исследований алмазоподобных слоев нитрида углерода [1-4].

Анализ предыдущих исследований. Слои нитрида углерода были получены методом ионно-плазменного распыления углеродной мишени в азотной атмосфере. Для этого применялся магнетрон постоянного тока с индукционной стабилизацией плазмы. В качестве подложек были использованы пластины из кварца КУ-1, которые обработаны не хуже 14 класса чистоты обработки поверхности и волнистостью в 2 интерференционных кольца. Частично одна из сторон пластин была заматована с неоптимизированной шероховатостью, но так, что диаграмма направленности рассеянного отраженного света на базе в 0,5 м оптической установки [2] не подсвечивала образец.

В оптике тонких слоев используется теория, в которой рассматриваются две модели: первая модель – модель одного однородного слоя на некоторой подложке; вторая модель – модель большого количества однородных слоев на некоторой подложке. Модели предполагают, что слои системы однородны, изотропны, имеют строго параллельные границы и бесконечную протяженность по площади, т.е. вариации поля в этих направлениях отсутствуют. Окаймляющие среды также предполагаются однородными и изотропными. Зондирующее излучение считается таким, что оно описывается плоской линейно-поляризованной монохроматической волной с фронтом бесконечной ширины. Угол преломления в j -ом

слое связан с углом падения излучения соотношением Снеллиуса [5-8]. В рамках таких моделей оптические свойства структуры полностью определяются заданием оптических параметров (комплексным показателем преломления и толщиной слоев).

На практике при эллипсометрических измерениях и спектрофотометрических измерениях нормального отражения большой трудностью является определение модели [5,7].

В рамках однослойной модели спектрофотометрический метод позволяет определить толщину и оптические постоянные слоя по экспериментально измеренному спектральному коэффициенту отражения $\rho(\lambda)$ системы слой-подложка. Формула для коэффициента отражения системы слой-поверхность подложки при нормальном зондировании, полученная с учетом многолучевой интерференции в слое имеет следующий вид:

$$\rho(\lambda) = \frac{r_{12}^2 + r_{23}^2 + 2r_{12}r_{23} \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda} \cdot n_2 d_2\right)}{1 + r_{12}^2 r_{23}^2 + 2r_{12}r_{23} \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda} \cdot n_2 d_2\right)}, \quad (1)$$

где r_{12} , r_{23} – амплитудные коэффициенты отражения границ раздела воздух-слой и слой-подложка. Графики, соответствующие формуле (1) при $n_2 > n_3$ и $n_2 < n_3$, приведены на рис. 1. Здесь $\rho_{\text{под}}$ – коэффициент отражения чистой поверхности подложки. Измеряя длины волн

$(\lambda_m, \lambda_{m+1})$, соответствующие двум экстремумам $\rho(\lambda)$, и значение экстремума ρ_m , можно определить параметры прозрачного слоя по следующим формулам:

$$n_2 = \sqrt{n_1 n_3 \frac{1 + \sqrt{\rho_m}}{1 - \sqrt{\rho_m}}};$$

$$d_2 = \frac{\lambda_m \lambda_{m+1}}{4n_2(\lambda_{m+1} - \lambda_m)},$$

где $\rho_m = \rho_{\min}$ при $n_2 < n_3$; $\rho_m = \rho_{\max}$ при $n_2 > n_3$.

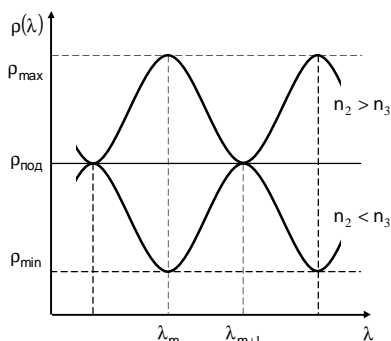


Рисунок 1 – Теоретическая спектральная зависимость коэффициента отражения монослоя на некоторой подложке

В рамках многослойной модели спектральная зависимость коэффициента отражения периодической многослойной системы схематически показана на рис. 2, где штриховой линией обозначены огибающие экстремумов коэффициента отражения в полосах пропускания. В интервале $v_1 \leq v \leq v_2$ и $v_3 \leq v \leq v_4$ расположены полосы заграждения.

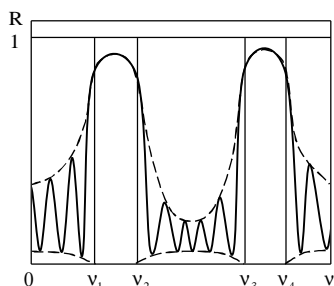


Рисунок 2 – Теоретическая спектральная зависимость коэффициента отражения многослойной периодической системы

Такие модельные зависимости спектрального коэффициента отражения должны выполняться для каждого разрешенного элемента поверхности из площади сечения пучка на образце. В действительности этого может и не быть вследствие неоднородности показателя преломления слоев (и/или их геометрии). Последнее обстоятельство дает возможность судить о величине и характере неоднородности слоев по спектрофотометрическим кривым коэффициентов отражения.

Оптические исследования были проведены на оптической установке для эллипсометрических и спектрофотометрических измерений [2,4]. Установка позволяет выполнять сканирование по поверхности образца, по углу падения и по спектру.

На рис. 3 приведены результаты численного моделирования спектральной зависимости коэффициента отражения монослоя CN_x на подложке SiO_2 , а на рис. 4 – экспериментальная зависимость.

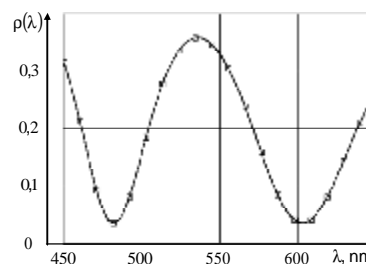


Рисунок 3 – Численное моделирование спектральной зависимости коэффициента отражения монослоя CN_x на подложке SiO_2

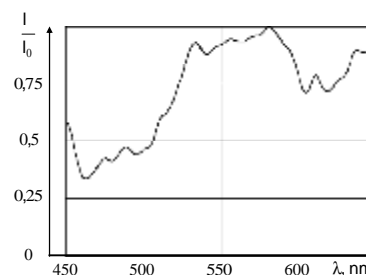


Рисунок 4 – Экспериментальная спектральная зависимость коэффициента отражения слоя CN_x на подложке SiO_2

Из сравнения этих зависимостей следует, что ни однослойную, ни многослойную модель нельзя применять для определения оптических параметров системы $CN_x - SiO_2$, полученной при выбранных режимах ионно-плазменного распыления.

Из практики оптической промышленности известно, что полученный вид спектральной зависимости коэффициента отражения при нормальном падении указывает на наличие многослойной непериодической системы. Кроме того, «негладкость» экспериментальной кривой свидетельствует о присутствии в такой системе образований с размерами, сравнимыми с длиной волны света. Последнее обстоятельство определяет возможность применения оптической микроскопии.

Цель работы. Обнаружение в слоях систем $CN_x - SiO_2$ неоднородностей и оценка их геометрических размеров.

Материал и результаты исследований. При стандартных условиях наблюдения и освещения образца решить поставленную задачу не удастся.

Для получения микрофотографий использовался поляризационный микроскоп с цифровой камерой. Авторы применили комбинированное освещение образца двумя осветителями (рис. 5), работающими по принципу Келера. Основной осветитель – штатный осветитель микроскопа, работающий на отражение. Вспомогательный осветитель работает на прохождение. Оси осветителей взаимно перпендикулярны. Источники света разные. В основном осветителе использован светодиод с максимумом $\lambda = 462 \text{ nm}$ спектра излучения. Во вспомогательном осветителе использован «белый светодиод». Масштаб определялся стандартным объектным микрометром с ценой деления 10 mkm .

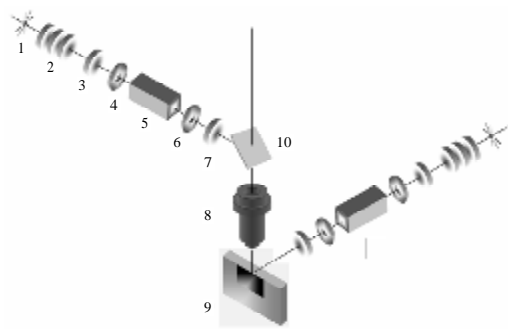


Рисунок 5 – Схема наблюдения

1 – светодиод; 2 – трехлинзовый конденсор; 3 – осветительная линза; 4 – апертурная диафрагма; 5 – поляризационная призма; 6 – диафрагма поля зрения; 7 – коллекторная линза; 8 – объектив микроскопа; 9 – образец; 10 – плоскопараллельная пластинка

Вспомогательный осветитель потребовался для увеличения азимутального эффекта. Пространственное положение вспомогательного осветителя устанавливается экспериментально по факту выявления лучшего рельефа объекта. Относительно объектива микроскопа скол образца располагался так, как это показано на рис. 5. Таким образом, вследствие малых свободных рабочих расстояний объективов и комбинированного освещения реализуется некоторое подобие условий ультрамикроскопии.

На рис. 6 приведен фрагмент микрофотографии общего обзора. Выбран участок максимальной толщины $\sim 25 \text{ mkm}$. При переходе от подложки формируется очередность неодинаковых слоев, которая заканчивается образованиями, которые показаны на последующих рисунках.

На рис. 7 приведен фрагмент микрофотографии участка, где не наблюдается рассмотренная структурность слоев. Вид и геометрические размеры наблюдаемых образований могут свидетельствовать о нарушении картины роста при возможном нарушении параметров плазмы.

На рис. 8-13 приведены фрагменты микрофотографий границы слой-воздух. На рис. 8 под углом $\sim 2^\circ$ наблюдается сложная картина формирования

поверхности. При цветной печати видны результаты дисперсии белого света вспомогательного осветителя. На рис. 9-12 наблюдается вторичное формирование образований без признаков огранки, а на рис. 13 – ограненное образование размером $\sim 5 \text{ mkm}$.

На рис. 14, 15 различимы образования, «зародившиеся» в глубине поверхностного слоя.

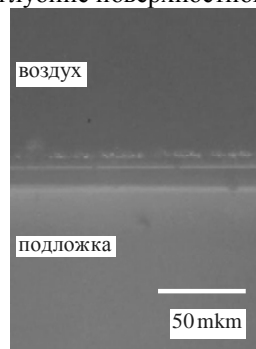


Рисунок 6

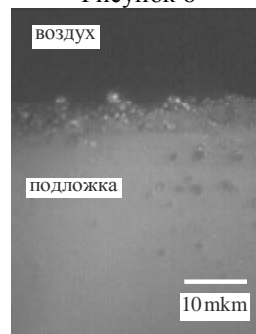


Рисунок 7

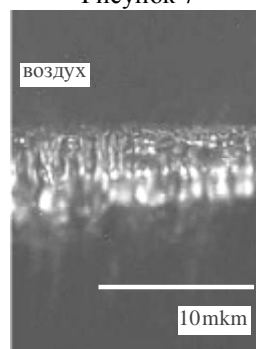


Рисунок 8

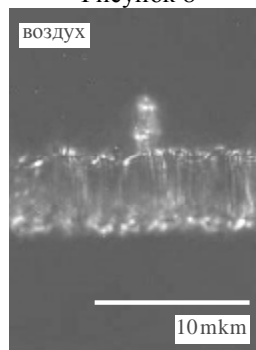


Рисунок 9

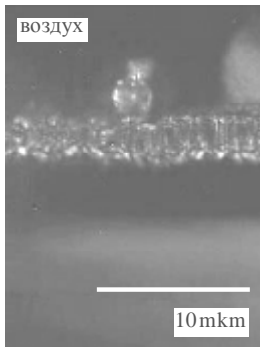


Рисунок 10

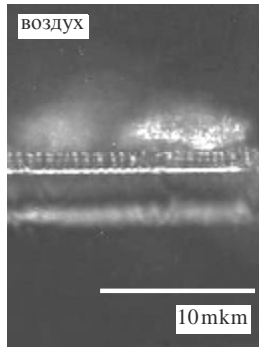


Рисунок 11

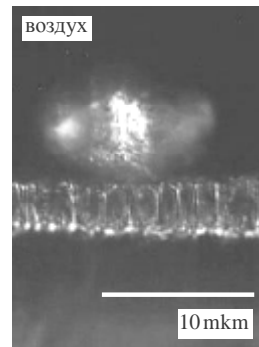


Рисунок 12

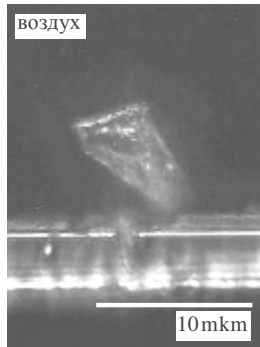


Рисунок 13

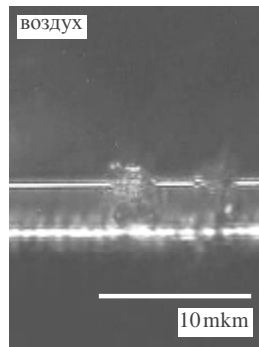


Рисунок 14

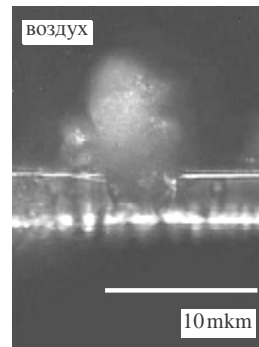


Рисунок 15

Выводы. При выбранных режимах ионно-плазменного распыления:

1) слои нитрида углерода (система $CN_x - SiO_2$) формируются сложным образом с характерными размерами образований 5 мкм;

2) зависимость геометрических размеров образований от газового состава от 100% N_2 до 50% N_2 и 50% Ar не устанавливается;

3) оптические параметры слоя не могут быть рассчитаны на основе однослойной и многослойной модели, что подтверждает результаты по спектрофотометрическому измерению нормального отражения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варюхин В.Н., Дьяченко Т.А., Окунев В.Д., Пафомов Н.Н., Плехов А.Л., Шемченко Е.И.// Письма в ЖТФ. 2005. - Т.31, №6.

2. Свиридов В.В., Радкевич Н.А., Жихарев И.В.//ФТВД. -2006. - Т.16, №2. С. 43-49.

3. Свиридов В.В., Радкевич Н.А., Романченко С.П.// Вісник СХУ. – 2006, Ч.2. - №6 (100) - С.151-155.

4. Свиридов В.В., Радкевич Н.А.//Вісник СХУ. – 2008, Ч.2. - №9 (127). - С. 147-151.

5. Azzam R.M.A., Bashara N.M. Ellipsometry and Polarized Light. – Amsterdam, New York, Oxford: North-Holland Publishing Co, 1977.

6. Ржанов А.В., Свиташев К.К., Семенов А.И. и др. Основы эллипсометрии. – Новосибирск: Наука, Новосибирское отд-ние, 1979.

7. Яковлев П.П., Мешков Б.Б. Проектирование интерференционных покрытий. – М.: Машиностроение, 1987.

8. Топорец А.С. Оптика шероховатой поверхности. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988.

Стаття надійшла 30.09.2008 р.
Рекомендовано до друку д.ф.-м.н., проф.
Єлізаровим О.І.