

УДК 621.91.02-06

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ

Н. Н. ФЕДОСЕНКО, кандидат технических наук, доцент

Н. А. АЛЕШКЕВИЧ, кандидат физико-математических наук, доцент

Д. Г. ПИЛИПЦОВ, кандидат технических наук

Т. Н. ФЕДОСЕНКО, научный сотрудник

*Учреждение образования «Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины», Республика Беларусь*

Рассмотрены возможности получения углеродных покрытий с определенными оптическими свойствами посредством изменения технологических параметров их вакуумно-плазменного синтеза. Показано, что комплексное изменение концентрации рабочего газа и частоты следования импульсов катодно-дугового испарителя позволяет эффективно управлять структурой и оптическими свойствами синтезируемых углеродных слоев.

Ключевые слова: углеродные покрытия, оптические свойства, легирование, показатель преломления, коэффициент пропускания.

Введение

Развитие технологий формирования углеродных покрытий в настоящее время обусловлено необходимостью разработки новых материалов для нужд электронной техники, оптики и медицины. Среди различных видов покрытий на основе углерода наиболее интересными, с точки зрения практического применения, являются алмазоподобные покрытия благодаря своим уникальным физико-техническим свойствам. Наряду с высокими физико-механическими характеристиками, такие покрытия обладают уникальными оптическими свойствами, что позволяет применять их в конструкции оптических элементов лазерной техники для одновременного просветления и защиты поверхности от механических повреждений [1]. Для получения покрытия с определенными оптическими и механическими свойствами, а также с определенной структурой необходимо детальное исследование влияния режимов нанесения покрытия на подложку, а также влияния легирующих элементов на структуру и оптические характеристики покрытия [2], [3]. Синтез такого рода покрытий предполагает использование современных методов исследования, обеспечивающих точный расчет и возможность определения основных оптических характеристик в требуемом спектральном диапазоне.

Целью работы являлось исследование зависимости оптических свойств углеродных покрытий, полученных методом вакуумно-плазменного напыления, от технологических параметров их синтеза.

Основная часть

Для получения легированных азотом углеродных покрытий была использована установка вакуумного напыления УВНИПА-1-001. Установка оборудована газовым ионным источником типа «АИДА», с помощью которого производится очистка и

нагрев подложек и введение в состав растущего покрытия азота, а также источник плазмы импульсного катодно-дугового разряда с катодом из графита, использующийся для нанесения углеродных покрытий.

Схема устройства для осаждения многослойных и легированных углеродных покрытий представлена на рисунке 1.

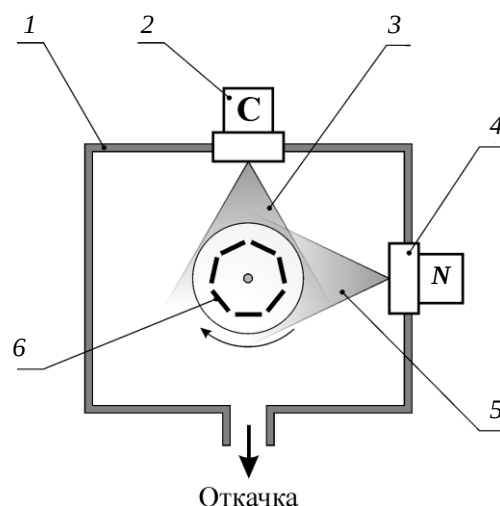


Рисунок 1 – Схема вакуумной установки, предназначенной для получения многослойных и легированных углеродных покрытий: 1 – вакуумная камера; 2 – источник плазмы импульсного катодно-дугового разряда с катодом из графита; 3 – поток углеродной плазмы; 4 – ионный источник; 5 – поток ионов азота; 6 – предметный стол

Формирование покрытий осуществлялось после откачки вакуумной камеры до остаточного давления $5 \cdot 10^{-3}$ Па. Очистка и нагрев подложек осуществлялись с помощью ионного источника АИДА. В качестве материала подложек для покрытий использовался кремний и кварцевое стекло.

Оптические параметры и толщины полученных покрытий исследовались методом лазерной эллипсометрии с помощью лазерного эллипсометра ЛЭФ-3-М и спектральной эллипсометрии на ESM-512 с бинарной модуляцией состояния поляризации по методике, описанной в работе [4]. Электронные спектры поглощения регистрировались на спектрофотометре Cary 50.

Рассчитанные оптические параметры (показатель преломления, коэффициент поглощения) углеродных покрытий, легированных атомами азота, при различных режимах напыления приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Оптические характеристики легированных азотом углеродных покрытий

Напряжение разряда, В	Количество импульсов	Частота следования импульсов, Гц	Давление азота, Па	Показатель преломления, n	Коэффициент поглощения, k
350	5000	3	1	2,15	0,17
			1×10^{-1}	2,05	0,20
			2×10^{-2}	1,89	0,19
			6×10^{-3}	1,94	0,20
			1×10^{-3}	1,67	0,19

Анализ результатов показывает, что с ростом концентрации азота в остаточной атмосфере вакуумной камеры значение показателя преломления также возрастает (рисунок 2), при этом коэффициент поглощения незначительно уменьшается.

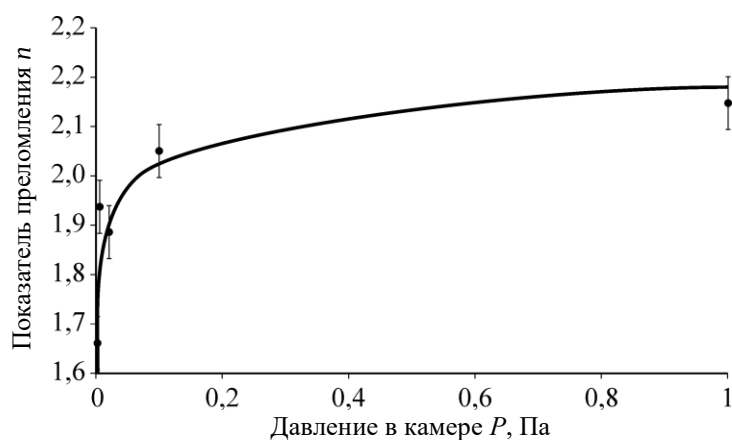


Рисунок 2 – Зависимости показателя преломления от давления азота

Для изучения зависимости оптических параметров от частоты следования импульсов были получены углеродные покрытия, легированные азотом при частоте следования импульса от 3 до 20 Гц при давлении 0,1 Па. На рисунке 3 представлены спектры пропускания углеродных покрытий в ультрафиолетовой и видимой области спектра при различных частотах импульсов ионного источника.

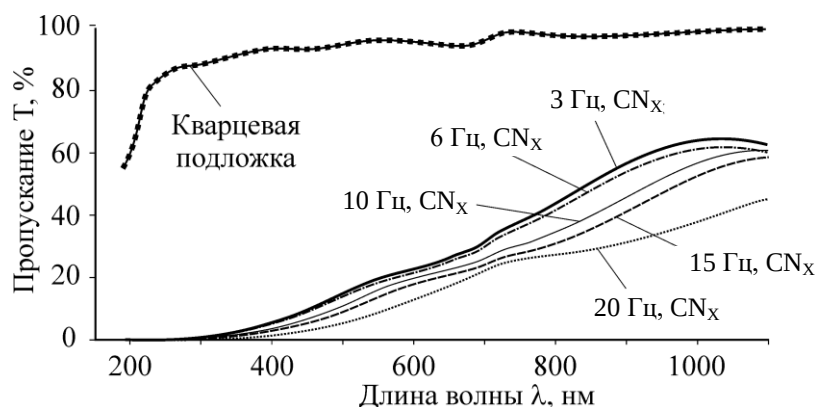


Рисунок 3 – Спектры пропускания легированных азотом углеродных покрытий при различных частотах следования импульсов

Как видно из графиков, коэффициент пропускания углеродных покрытий в области 400–1000 нм возрастает с увеличением длины волны и достигает самого высокого значения (~ 65 %) в ближней инфракрасной области спектра. В то же время следует отметить, что прозрачность покрытий уменьшается с увеличением частоты следования импульсов, что связано с увеличением содержания sp^2 -гибридизированных атомов углерода (графита) [5], [6].

Определение оптических параметров полученных покрытий осуществлялось методом лазерной эллипсометрии и посредством расчета оптических постоянных по спектральной интерференционной кривой коэффициента пропускания [7]. Результаты полученных данными методами показателей преломления и коэффициентов поглощения коррелируют, их усредненные значения представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимость оптических параметров покрытий от частоты следования импульса

Частота следования импульса, Гц	3	6	10	15	20
Показатель преломления	2,01	2,05	2,09	2,11	2,12
Коэффициент поглощения	0,198	0,199	0,199	0,203	0,204

На рисунке 4 представлена графическая зависимость показателя преломления легированных ионами азота углеродных покрытий от частоты следования импульсов источника углеродной плазмы.

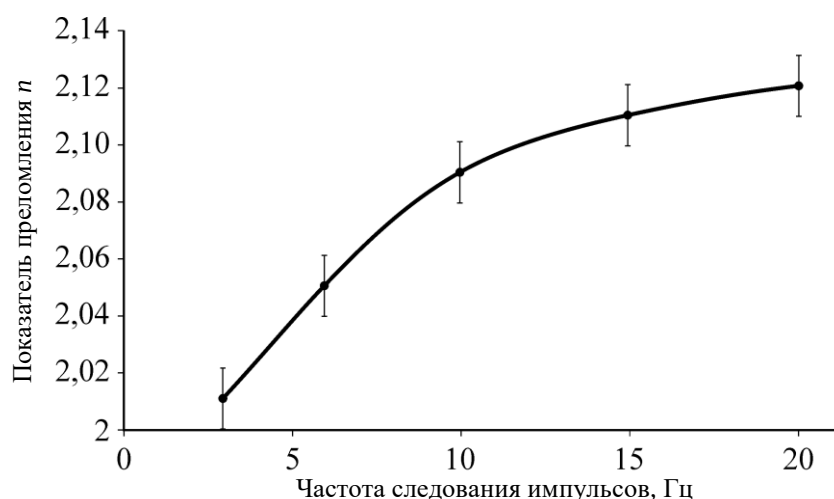


Рисунок 4 – График зависимости показателя преломления от частоты следования импульсов источника

Как видно из приведенных результатов, с увеличением частоты следования импульсов источника углеродной плазмы наблюдается заметное увеличение показателя преломления покрытий, сопровождающееся незначительным возрастанием коэффициента поглощения.

Достаточно высокая воспроизводимость экспериментальных результатов в пределах погрешностей методов позволяет сделать вывод о том, что изменяя технологические параметры синтеза углеродных покрытий, можно варьировать их оптические свойства, что расширяет возможности их практического использования.

Заключение

Таким образом, изменение концентрации рабочего газа и частоты следования импульсов катодно-дугового испарителя позволяет эффективно управлять структурой и оптическими свойствами синтезируемых углеродных слоев. Основываясь на результатах экспериментальных исследований углеродных покрытий, можно говорить о возможности использования исследуемых материалов в качестве покрытий с заранее прогнозируемыми оптическими свойствами, что может быть использовано при изготовлении многослойных интерференционных покрытий и оптических элементов для различных оптоэлектронных устройств. Приведенные результаты могут быть использованы при отработке технологических режимов нанесения покрытий, а также при определении взаимосвязей физико-химических свойств получаемых покрытий и их оптических характеристик.

Литература

- 1 Яковлев, П. П. Проектирование интерференционных покрытий / П. П. Яковлев, Б. Б. Мешков. – М. : Машиностроение, 1987. – 190 с.
- 2 Влияние природы металла на фазовые состояния легированных углеродных покрытий / Д. Г. Пилипцов [и др.] // Гомел. науч. семинар по теор. физике, посвящ. 100-летию со дня рождения Ф. И. Федорова : материалы. – Гомель, 2011. – С. 233–236.
- 3 Synthesis of diamond-like carbon film on copper and titanium interlayer by vacuum cathode arc evaporation / Bing Zhou, Xiaohong Jiang, Zhubo Liu, A. V. Rogachev, Ruiqi Shen, D. G. Piliptsov // Applied Mechanics and Materials. – 2012. – Vol. 189. – P. 167–171.
- 4 Ржанов, А. В. Эллипсометрия: теория, методы, приложения / А. В. Ржанов. – Новосибирск : Наука, 1987. – 191 с.
- 5 Erdemir, A. Superlubricity / A. Erdemir, J. R. Martin. – Amsterdam : Elsevier Science, 2007. – 512 p.
- 6 Robertson, J. Diamond-like amorphous carbon / J. Robertson // Material Science and Engineering. – 2002. – Vol. R, № 37. – P. 129–281.
- 7 Васильев, А. В. Измерение спектральной зависимости показателя преломления твердых материалов в области их высокой прозрачности / А. В. Васильев, В. В. Войцеховский, В. Г. Плотниченко // Высокочистые вещества. – 1991. – № 3. – С. 39–49.

Поступила в редакцию 14.10.2014

N. N. Fedosenko, N. A. Aleshkevich, D. G. Piliptsov, T. N. Fedosenko
EFFECT OF SYNTHESIS CONDITIONS ON THE OPTICAL PROPERTIES
OF CARBON COATINGS

The possibilities of obtaining carbon coatings with specific optical properties by varying the technological parameters of vacuum-plasma synthesis. It is shown that a complex change in the concentration of the working gas and the pulse repetition frequency cathodic arc evaporator, can effectively control the structure and optical properties of the synthesized.