

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

УДК 544.653.23; 53.082.64

Товт
Павел Дмитриевич

Формирование алмазоподобных углеродных покрытия оптического
назначения с использованием индуктивно-связанной плазмы

АВТОРЕФЕРАТ
на соискание степени магистра
по специальности 1-41 80 01 «Микро- и наноэлектроника»

Научный руководитель
кандидат технических наук, доцент
Котов Д. А.

Минск 2024

Работа выполнена на кафедре микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель:

Котов Дмитрий Анатольевич,
кандидат технических наук, доцент кафедры микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент:

Власова Галина Александровна,
кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «25» января 2024 г. в 9⁰⁰ часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, 1 уч. корп., ауд. 114, тел.: 293-89-26, e-mail: kafme@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ВВЕДЕНИЕ

Алмазоподобное углеродное покрытие является одним из востребованных оптических покрытий, благодаря его уникальным свойствам, таким как высокое пропускание в ИК спектре и рассеивание ИК-излучения, высокая теплопроводность и электрическое сопротивление, сопротивление к стиранию и высокая стойкость к кислотам, щелочам, солям, что важно для приборов ночного видения, мобильных транспортных средств передвижения. Применение алмазоподобных углеродных покрытий в оптике обусловлено эффектом просветления кремниевой оптики в диапазоне 3-5 мкм и германиевой оптики в диапазоне 8-14 мкм, а также защитой оптических элементов от внешних воздействий.

Основные преимущества химического осаждения и парогазовой фазы с применением индуктивно связанной плазмы, по сравнению с физическо-химическими методами осаждения: хорошая адгезия пленок к нижележащим слоям; широкий спектр химических реакций и источников для реакций с благоприятными термодинамикой и кинетикой. Индуктивно связанная плазма высокой плотности обеспечивает получение различных метастабильных состояний вещества с уникальными механическими и физическими свойствами, а именно управление формированием соотношения sp^3 / sp^2 фазы углерода и достижением содержания sp^3 фазы более 60%.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы магистерской диссертации.

Алмазоподобное углеродное (АПУ) покрытие, является защитным и просветляющим оптическим покрытием. Оно отличается высокой химической инертностью, механической прочностью, а также имеет окна пропускания в ИК диапазоне. Высокая механическая твёрдость и низкий коэффициент трения делают данную плёнку чрезвычайно стойкой к абразивным воздействиям. АПУ покрытие имеет очень хорошую адгезию к германию и кремнию, что делает его перспективным для использования в германиевой ИК-оптике.

Цель работы – Получение АПУ с заданными параметрами методом химического осаждения из газовой фазы с применением плазмы высокой плотности;

Для достижения требовалось решить следующие задачи:

1. Провести аналитические исследования алмазоподобных углеродных покрытий, методы их получения и оценки характеристик получаемых покрытий;

2. Провести разработку экспериментального комплекса для получения алмазоподобных углеродных покрытий;

3. Провести экспериментальные исследования процесса формирования алмазоподобного углеродного покрытия пригодного для применения в создании элементов ИК оптики;

Объект исследования – алмазоподобные углеродные покрытия и процесс их получения методом осаждения из газовой фазы с применением индуктивно-связанной плазмы.

Предмет исследования – зависимости и закономерности оптических и структурных свойств получаемых алмазоподобных углеродных покрытий от режимов их осаждения.

Область исследования: Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-41 80 01 «Микро и нанoeлектроники».

Научная новизна диссертационной работы заключается в установленных особенностях технологии формирования, а также в особенностях определения свойств алмазоподобных углеродных покрытий.

Положение, выносимое на защиту:

1. Алмазоподобные углеродные покрытия, сформированные при отношении концентраций рабочего газа к ацетилену в камере 4,75 и общей подаче газа в 94 мл/мин имеют содержание sp^3 фазы 55-60%.

2. Алмазоподобные углеродные покрытия, сформированные при отношении концентраций рабочего газа к ацетилену в камере 4,75 и общей подаче газа в 94 мл/мин являются полупрозрачными в видимом диапазоне.

Личный вклад магистранта состоял в проведении, анализа литературы, напылении алмазоподобных углеродных покрытий, измерения характеристик

полученных покрытий, обработка результатов исследования.

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты исследования были представлены на конференциях: «Радиотехника и электроника» (БГУИР2023),

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследований. Работа состоит из введения, четырех глав и заключения, библиографического списка. Общий объем диссертации – 59 страниц. Работа содержит 4 таблицы, 47 рисунков и два приложения. Библиографический список включает 25 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассмотрены перспективы использования алмазоподобных углеродных покрытий оптического назначения

В общей характеристике работы сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В первой главе приведен анализ научно-исследовательской литературы по теме диссертационной работы. Рассматриваются структура, основные методы получения, а также динамика роста алмазоподобных углеродных покрытий.

Во второй главе описан экспериментальный комплекс, используемый для получения покрытий, а также рассмотрены основные методики исследования полученных образцов.

В третьей главе представлены результаты исследования режимов работы источника индуктивно-связанной плазмы. Представлены результаты исследования полученных образцов, а также анализ результатов исследования их свойств.

В приложении приведена проверка на антиплагиат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Алмазоподобное углеродное покрытие является перспективным материалом для многих отраслей промышленности. Его механические свойства, например, как высокая износостойкость, может быть применена в механизмах с трущимися элементами, тем самым увеличивая их срок службы и уменьшая затраты на смазочные материалы. Добавив к износостойкости оптические свойства таких покрытий, получается отличное покрытие для объективов оптоэлектроники.

В данной работе были произведены аналитические исследования свойств алмазоподобных углеродных покрытий, их структуры, методы получения и механизм роста. Также получены образцы методом *PECVD*. Для данной технологии и экспериментального комплекса были выработаны режимы осаждения алмазоподобного покрытия обеспечивающие высокую воспроизводимую результатов. Аналитическое исследование позволило выработать методику качественной оценки алмазоподобных углеродных покрытий.

Полученные в данном дипломном проекте образцы имели концентрацию *sp³*-связей до 55%, данная конфигурация пленки имеет высокую износостойкость в сочетании с достаточно низким коэффициентом трения. Это подтверждают карты трения, полученные с помощью АСМ. Также в ходе исследования покрытия было установлено, что полученные образцы являются прозрачными или полупрозрачными для видимого спектра излучений. Всё это дает возможность практического применения данных покрытий в оптоэлектронике.

СПИСОК СОБСТВЕННЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

1 – Леонович Н. В., Товт П. Д., Формирование алмазоподобных углеродных покрытий методом химического осаждения в плазме высокой плотности=Formation of Diamond-Like Carbon Coatings by Chemical Deposition in High Density Plasma / Н. В. Леонович, П. Д. Товт, Д. А. Котов // Доклады БГУИР. – 2023. – Т. 21, № 4. – С. 33–39.

2 – Товт, П. Д. Влияние внешнего магнитного поля в реакторе осаждения алмазоподобных углеродных покрытий на генерацию индуктивно связанной плазмы = Effect of an external magnetic field in a reactor for the deposition of diamond-like carbon coatings on the generation of an inductively coupled plasma / П. Д. Товт, Н. В. Леонович, Д. А. Котов // Радиотехника и электроника : сборник материалов 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, апрель 2023 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2023. – С. 154–156.

3 – Леонович, Н. В., Товт П. Д., Процесс формирования алмазоподобных углеродных покрытий с применением плазмы высокой плотности / Леонович Н. В., Товт П. Д., Логунов К. Т. // Радиотехника и электроника : сборник тезисов докладов 57-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, апрель 2021 года / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР, 2021. – С. 101–103.