

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Шведова Андрея Викторовича** «Исследование и разработка процессов модификации поверхности полимерных материалов микро- и оптоэлектроники на основе низкочастотного газового разряда плазмы атмосферного давления», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение)

Полимерные материалы становятся всё более востребованными в таких областях науки и техники как опто- и микроэлектроника, аэрокосмическая отрасль, биомедицина и др. Методы модификации полимеров во многом определяют жизненный цикл изделий, а также их функциональные свойства, поскольку они подвержены процессам деградации под воздействием агрессивной окружающей среды. Применение низкотемпературной плазмы атмосферного давления позволяет проводить обработку и осаждение плёнок из газовой фазы на поверхности полимерных материалов с целью минимизации воздействия окружающей среды и получения новых свойств.

Предлагаемый метод основан на использовании нестационарного низкочастотного (НЧ) плазмотрона атмосферного давления, который осуществляет точечную модификацию поверхности (локальный режим) с контролируемым влиянием атмосферы на протекающие процессы. Монтаж установки на блок ЧПУ обеспечивает перемещение выносной головки НЧ-плазмотрона для обработки изделий по всей площади в 2-х режимах: матричном (многоточечном) и динамическом (непрерывном).

Газовая смесь, состоящая из плазмообразующих газов (Ar, He), транспортных газов (Ar, He, CF<sub>4</sub>) и плёнкообразующего газа (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>), позволяет осаждать из газовой фазы на поверхности полимерного материала углеродные и фторуглеродные покрытия, которые формируют защитные слои. Это достигается благодаря возможности углерода формировать слои с практически полностью компенсированными валентными связями и химической активности фтора.

Цель данной работы состояла в исследовании процессов осаждения из газовой фазы и обработки поверхности различных материалов, применяемых для изделий опто- и микроэлектроники, при помощи нестационарного НЧ-плазмотрона низкотемпературной плазмы атмосферного давления.

Автором разработана экспериментальная установка, содержащая нестационарный НЧ-плазмотрон низкотемпературной плазмы, газовый блок и блок ЧПУ для проведения обработки поверхности материалов и осаждения плёнок из газовой фазы. Исследованы процессы формирования углеродных и фторуглеродных пленок в различных режимах нанесения (точечном, многоточечном и непрерывном) и установлены основные закономерности их роста на поверхности обрабатываемого материала.

Изучены оптические и физико-химические свойства углеродных и фторуглеродных покрытий:

– исследовано поглощение относительно исходного образца полиэтилентерефталата в ближнем УФ и видимом диапазонах, установлено влияние химического состава газовой смеси на амплитуду пиков, проведена оценка влияния атмосферного воздуха на получаемые покрытия, получены фторуглеродные покрытия с эффектом просветления, установлена ширина запрещённой зоны ( $E_g$ ) по методу Тауца, которая составляла  $E_g = 4,09 - 4,4$  эВ в зависимости от типа покрытия и режима осаждения;

– исследование химического состава с использованием РФЭС подтвердило влияние параметров работы экспериментальной установки на химический состав покрытий;

– установлена удельная полная поверхностная энергия покрытий и её составляющих (полярная и дисперсная) посредством измерения контактных углов смачивания и их взаимосвязь с параметрами осаждения из газовой фазы;

– исследована поверхность полученных структур методом АСМ и рассчитано среднеквадратичное отклонение шероховатости поверхности;

– проведено исследование нанотвёрдости покрытий, установлены величины модуля упругости Юнга ( $E$ ) и значение нанотвёрдости ( $H_{IT}$ ) на подложках из полимерных материалов.

Исследование процесса гидрофилизации углеродного электродного материала экспериментальных накопителей энергии (сверхъёмких конденсаторных структур) продемонстрировало возможность увеличения удельных емкостных характеристик до 2-х раз.

Теоретическая и практическая значимость работы определяется как разработкой и исследованием процесса осаждения покрытий из газовой фазы с помощью НЧ-плазмотрона низкотемпературной плазмы атмосферного давления, так и возможностью защиты полимерных изделий и компонентов опто- и микроэлектроники, в том числе содержащих проводящие полимерные материалы, от воздействия окружающей среды, что существенно увеличивает их жизненный цикл.

Полученные результаты имеют практическую значимость в области радиоэлектроники: как для производства радиоэлектронных компонентов, так и для создания защитных покрытий, увеличивающих жизненный цикл готовых изделий. На основе спектральных характеристик могут быть созданы функциональные покрытия для оптоэлектронных устройств.

Результаты работы были внедрены в учебно-образовательный процесс подготовки бакалавров и магистров по направлению 11.03.03 и 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств».

Некоторым недостатком автореферата является недостаточно подробное описание экспериментальных результатов. Схемотехническое описание установки также проведено неполно и не отражает принципа генерации однополярного НЧ дугового газового разряда атмосферного давления.

Таким образом, диссертация Шведова Андрея Викторовича на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной

научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения и разработки, в частности: разработка основных принципов модификации поверхности различных материалов при помощи нестационарного НЧ-плазмотрона низкотемпературной плазмы атмосферного давления, получение фторуглеродных покрытий, обладающих просветляющим эффектом, создание физико-технологических основ технологии осаждения новых типов защитных покрытий из газовой фазы при атмосферном давлении.

На основании автореферата можно сделать вывод, что по актуальности, новизне и важности практических выводов и рекомендаций работа «Исследование и разработка процессов модификации поверхности полимерных материалов микро- и оптоэлектроники на основе низкочастотного газового разряда плазмы атмосферного давления» Шведова Андрея Викторовича полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а Шведов Андрей Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение).

Доктор технических наук, профессор  
Научный консультант  
Генерального директора  
ФГУП НИИР им. М.И. Кривошеева



Багдасарян  
Александр Сергеевич

24.11.2020

Почтовый адрес: 105064, г. Москва, ул. Казакова, д.16  
Контактный телефон: 8(916) 509-68-76  
Адрес электронной почты: badgassarian@mail.ru

Подпись Багдасаряна Александра Сергеевича заверяю

*Уполномоченный секретарь ФГУП НИИР*

*М. Смирнов = Смирнов М. С.*

