

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

УДК 533.9.01

Полуйко  
Алексей Михайлович

Закономерности формирования гидрофобной поверхности оптических  
элементов на основе кремния

### **АВТОРЕФЕРАТ**

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

---

Научный руководитель  
Котов Дмитрий Анатольевич  
кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры микро- и  
наноэлектроники

---

Минск 2023

## ВВЕДЕНИЕ

Бурное развитие рынка мобильных телефонов, смартфонов, планшетов и других портативных электронных устройств, атрибутом которых является отображающий информацию сенсорный экран, используемый как универсальное устройство ввода-вывода, придает проблеме формирования защитных покрытий с гидрофобными свойствами статус критической.

За последнее время мировыми лидерами производства оптических элементов разработаны новые поколения стойких защитных покрытий, обладающих свойствами гидро- и олеофобности, для использования на дисплеях устройств отображения информации.

Основными требованиями к покрытиям сенсорных экранов ввода-вывода информации являются максимальная износостойкость, гидро- и олеофобность, обеспечивающие защиту от загрязнений и, в частности, препятствующие скоплению на экране кожного жира с отпечатков пальцев и упрощающие его удаление (так называемые *anti-fingerprint* свойства), а также высокая прозрачность в видимом диапазоне и отсутствие искажений сигнала со светодиодного дисплея.

Целью диссертации являлась разработка и оптимизация технологического процесса формирования наноструктурированных защитных покрытий с гидрофобными свойствами на устройствах отображения информации.

В работе описаны основные методы формирования защитных покрытий с гидрофобными свойствами, описаны методы придания поверхности сверхгидрофобных свойств благодаря созданию сопутствующего развитого микро- и нанорельефа, сформулированы методики тестирования защитных покрытий на устойчивость, приведены результаты моделирования магнитного поля в реакторе высокоплотной плазмы, приведены результаты получения структурированной поверхности при обработке низкотемпературной плазмой высокой плотности и диэлектрическим барьерным разрядом, а также результаты формирования наноструктурированных защитных покрытий с гидрофобными свойствами на устройствах отображения информации предложенным комбинированным физико-химическим методом.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы магистерской диссертации.** Актуальность работы определяется необходимостью разработки технологии формирования защитных покрытий с гидрофобными свойствами повышенной износостойкости на стекле для изделий оптической промышленности, приборов специального назначения,

экранов смартфонов, машиностроении. Улучшение функциональных свойств защитных покрытий может быть достигнуто за счет разработки новых методов их формирования, обеспечивающих совершенствование структуры покрытия на уровне молекулярных слоев

### **Цель и задачи исследования.**

Исследование технологии формирования гидрофобного покрытия на поверхности стекла. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Провести анализ современных и методов формирования гидрофобного покрытия на поверхности стекла.
2. Разработать экспериментальный комплекс и методики проведения исследований
3. Провести экспериментальные исследования для определения условий эффективных режимов формирования гидрофобного слоя на поверхности стеклянных подложек

### **Объект и предмет исследования.**

Объектом исследования является поверхность стекла обработанная в плазме, и с нанесенным после этого гидрофобным слоем, а также сами технологические процессы очистки поверхности и нанесения покрытия. Предметом исследования являются зависимости и закономерности изменения свойств поверхности от режимов обработки в плазме диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении и нанесении гидрофобного слоя.

### **Связь работы с приоритетными направлениями научных исследований и запросами реального сектора экономики**

Работа выполнялась в рамках ГБЦ №21-3070 «Разработка и исследование теоретических и экспериментальных основ создания высокоэффективных солнечных элементов и модулей на основе кремниевых и многослойных полупроводниковых материалов», подзадание «Гидрофобные и износостойкие оптические покрытия для видимого спектрального диапазона» ГПНИ «Фотоника и электроника для инноваций», подпрограмма «Опто- и СВЧ-электроника»

### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту.**

На защиту выносятся следующие основные результаты:

1. Разработана технология формирования гидрофобного покрытия на поверхности стеклянных подложек, с применением системы генерации плазмы при атмосферном давлении, нанесения гидрофобного покрытия методом центрифугирования и ИК термической стабилизации нанесенного гидрофобного агента позволила получить на стекле покрытия обеспечивающие угол смачивания 110-115° при условиях очистки и активации в плазме атмосферного разряда 40 – 50 с при мощности 40 Вт и рабочем расстоянии 15 мм, скорости

вращения центрифуги 2000 об/мин, времени термической стабилизации 180 секунд при температуре 200 °С.

### **Личный вклад соискателя**

Вклад соискателя состоит в постановке задач исследований, разработке методик и проведении экспериментальных исследований, формулировке выводов и практических рекомендаций, разработке и оформлении технологических решений в виде патентных материалов, обработке, анализе и интерпретации экспериментальных результатов, полученных автором лично и в соавторстве в БГУИР – М.В. Тумилович, Е.К. Железнова. Основные результаты диссертации получены автором лично. Научный руководитель кандидат технических наук, доцент Дмитрий Анатольевич Котов координировал и оказывал консультативную помощь при выполнении исследований, обсуждении и обобщении научных результатов.

**Апробация результатов диссертации.** Основные теоретические результаты и законченные этапы диссертационной работы, а также результаты прикладных исследований и разработок были доложены на 57-й научной конференции студентов, магистрантов, аспирантов БГУИР.

### **Публикации.**

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в материалах XXVIII международной научно-практической конференция аспирантов, магистрантов и студентов «Физика конденсированного состояния», 56-й и 57-й научных конференциях аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, II международной научно-технической конференции «ОПТО-, МИКРО- И СВЧ- ЭЛЕКТРОНИКА – 2022».

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав, заключения и списка использованных источников, включающего 28 наименований. Общий объем диссертации составляет 68 страниц.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы получения гидрофобных покрытий на поверхности оптических элементов, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **первой главе** приводится аналитическое исследование современных методов формирования гидрофобных покрытий. В ходе дальнейших исследований установлено, что наиболее перспективным методом получения гидрофобных покрытий является метод центрифугирования с предварительной обратной поверхностью подложки в плазме аргона при атмосферном давлении.

Во **второй главе** рассмотрен экспериментальный комплекс, при помощи которого осуществлялось формирование гидрофобного слоя на поверхность стеклянных подложек.

Для проведения предварительной обработки подложек использовалась разработанная система генерации атмосферной плазмы диэлектрического барьерного разряда.

Для дальнейшего формирования и термической стабилизации использовалась центрифуга, имеющая 2 режима работы по скоростям, а так же разработанное технологическое приспособление на основе отражателя с ИК-лампами.

Представлены методы и методики проведения исследований, включая такие приборы как: атомно-силовой микроскоп (АСМ) NT-206

В **третьей главе** приведены результаты экспериментальных исследований процесса формирования гидрофобных покрытий на поверхность оптических элементов.

Установлены оптимальные режимы предварительной очистки поверхности в плазме, нанесения гидрофобного агента с помощью центрифуги и его последующей термической стабилизации.

Изучены краевые углы смачивания до и после очистки в плазме аргона, нанесения гидрофобного агента и его отжиге.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной работе были проведены аналитические исследования методов модификации свойств поверхности. Установлено, что метод обработки поверхности в плазме атмосферного разряда является наиболее эффективным методом в сравнении с другими по многим показателям.

Исследовано влияние обработки поверхности оптического стекла К8 в плазме атмосферного разряда на адгезионные свойства. Для оценки модификации поверхности были выбраны методика измерения коэффициента трения консоли зонда с поверхностью стекла с помощью атомно-силовой микроскопии и методика измерения угла смачивания

Установлено, что при обработке поверхности в течении 2-3 минут достигается максимальный эффект от обработки в плазме атмосферного разряда. Также в данной работе были определены эффективные режимы обработки поверхности стекла в плазме атмосферного разряда при расстоянии от трубки 1,5 см, расходе газа 200 л/ч.

Полученные защитные покрытия с гидрофобными свойствами характеризуются статическими краевыми углами смачивания водой порядка 110–115°, при использовании центрифугирования с последующим отжигом.

Выявлено, что при данных условиях необходима предварительная обработка стеклянной подложки в атмосферной плазме диэлектрического барьерного разряда при времени обработки 40 – 50 с, расстоянии от трубки 1,5 см, расходе газа 200 л/ч, скорости вращения центрифуги порядка 2000 об/мин и последующей термической стабилизацией в течение 3 минут при температуре порядка 180°C.

Таким образом, было показано, что для увеличения качества гидрофобного покрытия, изначально необходимо провести очистку и активацию поверхности стекла при помощи плазмы диэлектрического барьерного разряда. А при последующем отжиге с целью стабилизации нанесенного гидрофобного агента наблюдалось незначительное повышение шероховатости поверхности, что вероятно связано с преимущественной вертикальной ориентацией молекул гидрофобного агента.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Полуйко А. М. Технология формирования гидрофобного покрытия на стекле/ А. М. Полуйко, Н. В. Жидкина // 57-я научная конференция студентов, магистрантов, аспирантов БГУИР. – Минск, 2021.
2. Полуйко А. М. Формирование гидрофобного покрытия для панелей солнечной батареи/ Полуйко А.М., Котов Д.А., Железнова Е.К. // II международная научно-техническая конференция «ОПТО-, МИКРО- И СВЧ- ЭЛЕКТРОНИКА – 2022» – Минск, 2022.