

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТКИ В АТМОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ НА ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКИХ ПЛЕНОК ХРОМА

Яворчук Г.В., Горбунова М.А., Михолап А.А., Логунов К.Т.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Котов Д.А. – канд. техн. наук, доцент

В статье рассмотрено влияние предварительной очистки в атмосферной плазме диэлектрического барьерного разряда подложек из оптического стекла К8 на оптические характеристики тонких пленок хрома, формируемых методом магнетронного распыления при постоянном токе. Установлено, что с увеличением времени очистки подложек пропускание пленок хрома толщиной 20 нм уменьшается с 36 % для образца без очистки до 30 % для образцов обработанных 30 и 60 секунд на длине волны 550 нм. Также выявлено увеличение коэффициента отражения с 32 % без очистки до максимального значения 38 % для пленки обработанной 30 секунд на длине волны 550 нм.

В условиях перехода к более экологичным и эффективным производственным процессам очистка подложек остаётся критически важным этапом. Атмосферная плазма, благодаря своей универсальности, экономичности и безопасности, постепенно занимает ведущие позиции в промышленности. Она позволяет улучшить поверхностные свойства без негативного воздействия на окружающую среду, что делает её одним из самых перспективных методов очистки в современных технологиях. Кроме того, возможность комбинирования плазменной обработки с другими технологическими процессами, такими как склеивание и нанесение покрытий [1], делает этот метод ещё более востребованным в различных отраслях.

Также стоит отметить, что в случае работы с тонкими пленками очистка подложек в атмосферной плазме диэлектрического барьерного разряда имеет ряд преимуществ перед другими методами (например, ионной очисткой). В отличие от ионной очистки, где высокоэнергетичные ионы могут повреждать поверхность (вызывая аморфизацию, внедрение примесей или даже нагрев), атмосферная плазма работает при низкой энергии частиц (в основном за счёт активных радикалов, а не ионов). Это особенно важно для стекла, так как его структура может нарушаться при агрессивной обработке, что ухудшает адгезию плёнки. Кроме того, атмосферная плазма генерирует активные формы кислорода и азота ( $O$ ,  $O_3$ ,  $NO_x$ ), которые окисляют органические загрязнения (жиры, адсорбированные углеводороды), превращая их в летучие соединения ( $CO_2$ ,  $H_2O$ ). В то время как ионные методы могут лишь частично удалять органику, а в некоторых случаях даже разлагать её в трудноудаляемые углеродистые плёнки. Также создание полярных групп ( $-OH$ ,  $-COOH$ ,  $=O$ ) на поверхности стекла улучшает смачиваемость и адгезию плёнки, а ионная очистка может приводить к избыточной шероховатости или даже к стехиометрическим изменениям (например, обеднению поверхности кислородом в случае  $SiO_2$ ).

Значительный интерес представляют тонкие плёнки хрома благодаря уникальному сочетанию физико-химических свойств. Высокая температура плавления и твердость, инертность к воздействию агрессивных сред, жаропрочность, износостойкость, невысокая агрессивность к конструкционным материалам в сочетании с пожарной безопасностью делают хром востребованным во многих областях науки, техники, промышленности [2].

Для нанесения тонких пленок хрома использовался метод магнетронного распыления при постоянном токе, реализованный на базе модифицированной ВУ-1БСп. Использовалась сбалансированная магнетронная система с мишенью хрома диаметром 80 мм и толщиной 6 мм. Напыление пленок хрома происходило при напряжении 350 В, токе разряда 1 А, расстоянии мишень-подложка 150 мм и рабочем давлении в камере порядка 0,09 Па. Рабочим газом выступал аргон, в качестве подложки использовались квадраты из оптического стекла К8 со стороной 20 мм.

Для измерения оптических характеристик полученных тонких пленок хрома в диапазоне длин волн 330-1100 нм применялся спектрофотометр МС-122. При проведении исследований коэффициента пропускания использовался держатель тонких пленок С35. Первоначальная калибровка осуществлялась на держателе без образца. Для проведения исследований коэффициента направленного зеркального отражения для угла падения  $10^\circ$  использовалась приставка М10-1. Для калибровки прибора применялось плоское эталонное зеркало из стекла К8 ГОСТ 3514-94 с оптическим покрытием.

Полученные по результатам исследований графики представлены на рисунке 1. Также на графиках отображена контрольная подложка из оптического стекла К8 без покрытия.

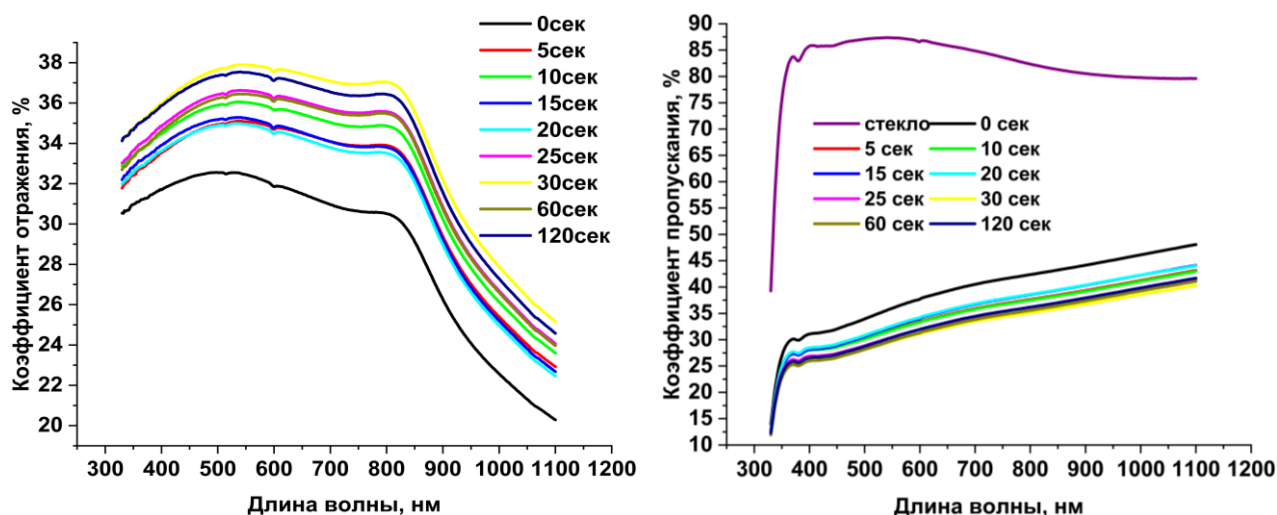


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента отражения (а) и пропускания (б) от длительности обработки в плазме диэлектрического барьерного разряда в атмосферной среде на различной длине волны

Для рисунка 1(а) обработка в плазме в целом увеличивает коэффициент отражения по сравнению с исходной пленкой (0 сек), особенно в диапазоне 300–800 нм. Это может быть связано с изменением оптических свойств поверхности, например, образованием тонкой оксидной пленки, которая влияет на интерференционные эффекты. При увеличении времени обработки (>60 сек) коэффициент отражения начинает снижаться на длинных волнах (>800 нм). Возможно, на этом этапе уже происходит значительное окисление хрома или изменение микроструктуры поверхности, влияющее на рассеяние света. Короткие времена обработки (5–30 сек) дают наибольший рост отражения, что может свидетельствовать о формировании тонкого оксидного слоя, обладающего высоким показателем преломления.

Полученные на рисунке 1(б) зависимости позволяют сделать вывод о влиянии времени обработки в атмосферной плазме на пропускание тонких пленок хрома. Чистое стекло представлено в качестве эталона и имеет самый высокий коэффициент пропускания (~85%) во всем спектральном диапазоне, линия "0 сек" соответствующая пленке хрома без предварительной обработки в атмосферной плазме показывает максимальное пропускание среди всех пленок хрома, но ниже, чем у чистого стекла. При увеличении времени обработки (5–120 сек) пропускание слегка уменьшается, но различия не слишком значительные. Для последующих кривых зависимость не столь однозначна, минимальное значение коэффициента пропускания достигается уже при 30 секундах предварительной обработки, после чего значения пропускания выходят на насыщение и наблюдаются лишь незначительные флуктуации, связанные с избыточным влиянием атмосферной плазмы диэлектрического барьерного разряда на поверхность подложки.

Кроме того, во всем диапазоне измерений (300–1100 нм) кривые показывают похожий характер: резкий рост от 300 до 500 нм и дальнейшее плавное увеличение. Обработка в атмосферной плазме могла изменить поверхностные свойства подложки, повлияв на смачиваемость, морфологию пленки и уровень ее окисления. Уменьшение пропускания с увеличением времени обработки может свидетельствовать о более плотном и однородном покрытии хрома.

#### Список использованных источников:

1. Взаимодействие излучений с твердым телом : материалы 15 науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Минск , 26-29 сентября 2023 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; А.В. Аксютин, Д.А. Котов, Б.З. Хамаде, Е.К. Железнова. – Минск : БГУИР, 2023. – 39 с.
2. КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ ХРОМА / Э. П. Суrowой, Т. М. Заиконникова // ЖУРНАЛ ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ. - Кемерово, Россия: 2014. - С. том 88, № 1, с. 86–92