

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Семенова Захара Владимировича на тему:
«Исследование метода непрямого контроля толщин многослойных покрытий в широком спектральном диапазоне»

Диссертация посвящена компьютерному моделированию метода непрямого широкополосного контроля нанесения диэлектрических слоёв и практической реализации данного метода на вакуумной установке «ВУ-2М», специализированной под задачи нанесения оптических покрытий методом электронно-лучевого испарения с ассистированием.

Метод непрямого широкополосного контроля – это, по сути, *оптический* метод измерения скорости осаждения и толщины осаждённого слоя на контрольной подложке и никак не связан со спектральными характеристиками осаждаемого многослойного оптического покрытия на рабочей подложке. В этом заключается его преимущество и основной недостаток. Преимущество в том, что точность нанесения слоя не зависит от дизайна оптического покрытия. Недостаток – оптический спектр покрытия не измеряется, а вычисляется из измеренных толщин нанесённых слоёв. Возникает вопрос: насколько точно можно восстановить реальный оптический спектр покрытия по измеренным оптическим методом толщинам слоёв? Семенов З.В. в своей диссертационной работе утверждает, что это можно сделать очень точно. Однако результаты, представленные в автореферате, не достаточно убедительны для такого утверждения, хотя ответ на этот вопрос является принципиально важным для метода непрямого широкополосного контроля, т.к. практической ценностью является оптический спектр покрытия, а не дизайн, с помощью которого достигнуты спектральные характеристики.

На рисунке 3 автореферата обсуждаются расчётные зависимости систематических погрешностей измерения толщины слоя методом непрямого контроля от толщины слоя материалов SiO_2 и TiO_2 . При этом показана случайная погрешность, например для SiO_2 , около 0.03нм. (Для сравнения, длина связи Si-O в кварце равна 0.162нм.) Очевидно, реальные плёнки имеют шероховатость и неоднородность по толщине существенно превышающие указанные величины. Для того чтобы данные с контрольной подложки можно было использовать для контроля толщин на рабочей подложке, эти параметры – шероховатость и неоднородность слоёв – должны совпадать на обеих подложках с точностью меньше 0.1нм. Однако это практически сложно сделать, учитывая такие факторы самого процесса напыления, как ассистирование, паразитное подпыление и неоднородность диаграммы потока частиц от источников материала. Но в этом заключается научно-техническая задача любого (не только оптического) непрямого контроля толщин многослойных покрытий. Но в работе (автореферате) этот вопрос не обсуждается. Кроме этого, не обсуждается как решается проблема гетерограниц между слоями в покрытии, ведь в оптической схеме расчёта толщины слоя на контрольной подложке гетерограницы отсутствуют. Если эти вопросы не выяснены, тогда зачем добиваться такой точности, выбирать оптимальные толщины материалов SiO_2 и TiO_2 ? Конечно, измерить оптическую толщину прозрачной плёнки на контрольной подложке, усреднённую по диаметру пятна 6мм с точностью 0.02нм, имея в руках хороший

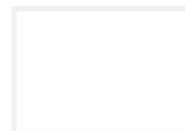
спектрофотометр, вполне реально. Но это не та проблема, которая важна для непрямого контроля толщин многослойных покрытий.

На первый взгляд наиболее сильной частью диссертационной работы является практическая реализация метода непрямого оптического контроля. Экспериментальные примеры нанесения конкретных оптических покрытий могли бы закрыть многие вопросы, перечисленные выше. Однако в автореферате явно не хватает экспериментальных результатов подтверждающих качество данного метода. Приведён всего лишь один спектр AR-фильтра, который можно выбрать из 10 неудачных спектров. Подтверждением эффективности метода является совокупность нескольких спектров покрытий с одним и тем же дизайном, но нанесённых независимо в различных технологических загрузках. В этом случае было бы возможно по воспроизводимости спектра оценить реальную точность и эффективность метода.

Есть вопросы к положениям, выносимым на защиту. «1. Компьютерная модель ...позволяет оценивать минимальный уровень случайных и систематических погрешностей контроля.» - не является положением, выносимым на защиту, а является тривиальным утверждением, не требующем ни экспериментального, ни теоретического обоснования, т.к. не содержит количественных параметров. Остальные положения скорее относятся к задаче достижения предельной точности определения толщины слоя на контрольной подложке, а не к задаче непрямого контроля нанесения многослойных покрытий.

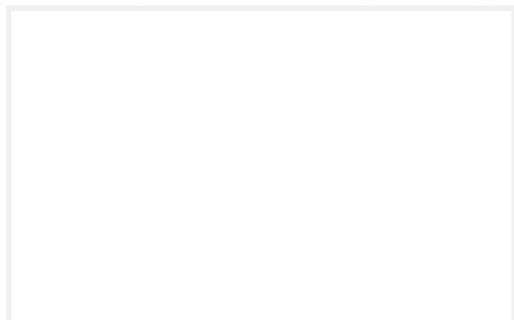
Общее впечатление от представленной в автореферате диссертационной работы Семенова Захара Владимировича, отрицательное.

Старший научный сотрудник,
кандидат химических наук



/Алиев В.Ш./
06.12.2019

Алиев Владимир Шакирович,
ИФП СО РАН
Пр. Академика Лаврентьева, д.13,
г. Новосибирск, 630090, Россия
р.т.: 330-69-44
aliev@isp.nsc.ru



В. Ш.
РЯЮ
в ИФП СО РАН
М.А. Золотарская

Отзыв получен 13.12.2019 А. Семенов М.И.