

ОТЗЫВ на автореферат диссертации на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук

Григорьева Федора Васильевича

на тему: «Математическое моделирование процесса напыления

тонких пленок, их структуры и свойств»

по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование,

численные методы и комплексы программ»

В диссертационной работе Григорьева Ф.В. изложен развитый им метод микроскопического классического моделирования процесса роста тонких оптических пленок, а также расчета их свойств. Актуальность работы обусловлена широким применением таких пленок в оптических устройствах широкого профиля с целью улучшения качества изображения. К достоинствам работы следует отнести систематическое использование технологий суперкомпьютерных вычислений, что позволило увеличить размеры области атомистического моделирования до технологически значимых величин – порядка четверти длины волны видимого света в прозрачной среде.

Выбор диоксида кремния в качестве пленкообразующего материала обусловлен его широким использованием в современных оптических и оптоэлектронных устройствах. В работе показано, что структурные свойства пленок – плотность, шероховатость, концентрация дефектов и др. существенно зависят от параметров напыления, прежде всего от энергии потока напыляемых атомов и температуры подложки. Напыление с высокой энергией – порядка энергии связи между атомами кислорода и кремния – обеспечивает рост плотных и однородных пленок. В то же время пленки, получаемые осаждением на подложку испаряемого из мишени материала, характеризуются высокой пористостью, что существенно влияет на их структурные, механические и оптические

свойства. Наличие примесей в порах может существенно влиять на поглощение света в заданном диапазоне длин волн.

Автором впервые проведено систематическое исследование зависимости механических напряжений, возникающих при росте пленок, от параметров напыления. Показано, что во всех случаях наблюдается напряжение сжатия, что соответствует экспериментальным данным. Абсолютная величина компонентов тензора напряжений растет с увеличением энергии напыляемых атомов. Надо заметить, что на достигнутой автором толщине пленки порядка 80 нм величины напряжений еще не вышли на насыщение, поэтому требуется проведение моделирования на больших толщинах.

Развитый метод применен к моделированию анизотропных пленок, образующихся при высокоэнергетическом напылении потоком атомов, почти параллельным подложке. Структурная анизотропия таких пленок обуславливает анизотропию их оптических свойств, что делает их перспективными для использования в оптических устройствах разнообразного назначения. Пленки, полученные таким способом, характеризуются низкой плотностью, и, как следствие, низким показателем преломления. При наличии тонкого защитного слоя такие пленки могут использоваться в качестве внешнего слоя многослойного оптического покрытия.

Работа отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к докторским диссертациям. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6

Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Григорьев Федор Васильевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Профессор Отделения нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике офиса образовательных программ Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», д.ф.-м.н.

Никитенко Владимир Роленович, 20.11.2019

Контактные данные:

тел.: +7 (495) 788-56-99, e-mail: VRNikitenko@mephi.ru

Адрес места работы: 115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31

Подпись сотрудника НИЯУ МИФИ Никитенко Владимира Роленовича удостоверяю:



Подпись удостоверяю
Заместитель начальника отдела
документационного обеспечения
НИЯУ МИФИ
А.А. Абатурова