

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ СПЕКТРОСКОПИИ
Российской академии наук
(ИСАН)**

142190, г.Москва, г.Троицк, ул.Физическая, д.5
Тел. +7 495 851 0579, факс +7 495 851 0886
isan@isan.troitsk.ru, www.isan.troitsk.ru

№ _____

На № _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель директора Федерального
государственного бюджетного учреждения
науки Институт спектроскопии РАН



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Цыбина Николая Николаевича «Многослойные абсорбционные фильтры для астрономии и проекционной литографии экстремального ультрафиолетового диапазона», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Актуальность темы диссертации

Свободновисящие тонкопленочные абсорбционные фильтры находят свое применение в оптических устройствах использующих источники мягкого рентгеновского и экстремального ультрафиолетового излучения. Наиболее распространенным источником коротковолнового излучения является плазма: в случае астрономических исследований - это корональная плазма звезд, в лабораторных условиях - это плазма, генерируемая мощным лазерным излучением, или плазма, генерируемая в высоковольтных вакуумных разрядах. Подобные плазменные источники, как правило, генерируют излучение в очень широком спектральном диапазоне - от мягкого рентгена и вплоть до инфракрасного излучения, в то время как практические приложения предъявляют высокие требования к спектральному составу излучения. Применение тонкопленочных абсорбционных фильтров позволяет блокировать нежелательное длинноволновое излучение (ультрафиолет, видимый свет и инфракрасное излучение), генерируемое плазменными источниками. Основными областями применения тонкопленочных абсорбционных фильтров являются изображающая спектроскопия солнечной короны, спектральная диагностика высокотемпературной плазмы, проекционная литография в экстремальном ультрафиолетовом диапазоне.

На протяжении длительного времени свободновисящие тонкие алюминиевые пленки использовались в качестве абсорбционных фильтров при спектральных космических наблюдениях за Солнцем в коротковолновом диапазоне. Однослойные молибденовые и циркониевые пленки используются в спектральных приборах для лабораторных спектральных исследованиях плазмы в мягком рентгеновском и экстремальном ультрафиолетовом диапазоне. Однако многие современные приложения предъявляют высокие требования к функциональным характеристикам абсорбционных фильтров, которым не удовлетворяют однослойные пленочные структуры. Например, в литографии существует потребность в фильтрах с большой рабочей апертурой и с высокой стабильностью по отношению к тепловым и механическим нагрузкам. Замена однослойных фильтров многослойными композициями, составленными из ультратонких, нанометровых, слоев позволяет удовлетворить высоким требованиям со стороны ряда важных приложений.

В связи со сказанным выше диссертационную работу Николая Николаевича Цыбина на тему «Многослойные абсорбционные фильтры для

астрономии и проекционной литографии экстремального ультрафиолетового диапазона», в которой решается как задача проектирования и производства свободностоящих тонкопленочных абсорбционных фильтров для коротковолнового излучения, так и задача исследования физических процессов ограничивающих срок службы таких фильтров, безусловно является актуальной. Изложенный в диссертации материал полностью соответствует специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Научная и прикладная значимость диссертации

К научным результатам диссертации Николая Николаевича Цыбина, обладающим фундаментальной значимостью, относятся

- Исследование спектральных характеристик свободностоящих многослойных структур, предназначенных для спектральной фильтрации экстремального ультрафиолетового излучения;
- Исследования взаимной диффузии материалов слоев многослойных структур, вызванной тепловыми нагрузками;

К практически значимым результатам диссертационной работы Цыбина Н. Н. относятся

- Методика изготовления свободностоящих многослойных структур с суммарной толщиной в диапазоне 40-200 нм и с числовой апертурой до 150 мм, основанная на магнетронном напылении на подложку жертвенного металлического подслоя и многослойного покрытия и последующем отделении многослойной структуры от подложки при помощи селективного травления подслоя
- Разработка ультратонких (толщина 1-3 нм) покрытий на основе рутения и силицида молибдена, позволяющих существенно замедлить деградацию фильтра, вызванную проникновением и диффузией вглубь многослойной структуры элементов остаточных газов из рабочей атмосферы
- Разработка свободностоящих фильтров на основе многослойной структуры Mo/ZrSi₂ с MoSi₂ защитными покрытиями для применения в проекционной литографии. Опытные образцы таких фильтров обладают коэффициентом пропускания на уровне 70% на рабочей длине волны 13.5 нм с рекордно высокой термической стабильностью.

Результаты диссертационной работы Цыбина Н.Н. можно рекомендовать к использованию в ряде научно-исследовательских институтов - в Физическом институте им. П. Н. Лебедева РАН, Институте спектроскопии РАН, а также в ряде высокотехнологических компаний в России и за рубежом - в ISTEQ, ASML, IMEC, TNO, Cymer, Gigaphoton, ЭУФ-Лабс, РнД-ИСАН. Кроме того, результаты данной диссертационной работы могут найти применение в учебном процессе в вузах и при подготовке специалистов в области оптики и приборостроения.

Апробация работы

Диссертация прошла следующую апробацию: результаты исследований, легших в основу работы, опубликованы в 13 печатных работах, из них 10 статей – в различных рецензируемых научных журналах и 3 работы – в нерецензируемом журнале американского общества оптики и фотоники (Proceedings of SPIE). Также результаты работы были представлены в качестве устных и стендовых докладов на 30 конференциях и симпозиумах, что отражено в сборниках материалов конференций и тезисов докладов.

Основные замечания по диссертационной работе

1. В работе описываются термически стойкие многослойные структуры на основе различных материалов. Однако в описании выбора материалов для таких структур отсутствует анализ процессов взаимодействия материалов, происходящих на границах раздела структур. Минимальный анализ таких процессов можно было бы произвести на основе анализа значений энтальпии образования соединений материалов, составляющих многослойную структуру.
2. При экспериментальных исследованиях отжига многослойных структур было показано, что кислород из рабочей атмосферы проникает вглубь многослойной структуры. Для полноты описания этого процесса было бы интересно провести количественный теоретический анализ диффузии кислорода в многослойных покрытиях с наноразмерными слоями.

Отмеченные замечания не являются принципиальными и в целом не снижают качества представленной диссертационной работы.

Итоговое заключение

В диссертации Цыбина Николая Николаевича «Многослойные абсорбционные фильтры для астрономии и проекционной литографии экстремального ультрафиолетового диапазона» решена актуальная задача по разработке и исследованию функциональных оптических элементов нового поколения - свободновисящих многослойных тонкопленочных фильтров для экстремального ультрафиолетового и мягкого рентгеновского излучения. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и практики. Диссертационная работа Цыбина Н. Н. удовлетворяет всем критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, согласно Постановлению Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842.

Автор диссертации Цыбин Николай Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Отзыв на диссертацию обсужден на научном семинаре Отдела атомной спектроскопии Института спектроскопии РАН под руководством д.ф.-м.н. А.Н. Рябцева 29 мая 2015 года.

Заведующий Отделом
атомной спектроскопии,
Институт Спектроскопии РАН


Д.ф.-м.н.



Рябцев Александр Николаевич

Подпись А.Н. Рябцева заверяю

Ученый секретарь ИСАН

 18.5. Терешин