

Минобрнауки России

Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

им. Г.И. Будкера

Сибирского отделения Российской академии наук

(ИЯФ СО РАН)

Проспект ак. Лаврентьева, д. 11, г. Новосибирск, 630090

телефон: (383) 329-47-60, факс: (383) 330-71-63

<http://www.inp.nsk.su>, e-mail: inp@inp.nsk.su

ОКПО 03533872 ОГРН 1025403658136

ИНН/КПП 5408105577 / 540801001

от 30 НОЯ 2020 № 15311 – 34/6215.1-2050

на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЯФ СО РАН

академик РАН



В.В. Логачев

«30» ноября 2020 г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации на диссертационную работу Гарахина Сергея Александровича «Широкополосные рентгенооптические элементы на основе аперiodических многослойных структур для солнечной астрономии и управления аттосекундными импульсами электромагнитного излучения», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертация С.А. Гарахина посвящена развитию методов расчета, синтеза и характеристики аперiodических широкополосных зеркал для МР и ЭУФ диапазона, а также расширению рабочего диапазона этого класса зеркал в длинноволновую область. Речь идет о зеркалах, работающих на длинах волн 5-50 нм. В отличие от ставших традиционными периодических многослойных зеркал (ПМЗ), которые выделяют из первичного спектра, падающего на них, одиночную и сравнительно узкую спектральную полосу ($\Delta\lambda/\lambda \sim 0.1 - 10\%$), аперiodические (АМЗ) или стековые (СМЗ) многослойные зеркала могут иметь более сложную форму коэффициента спектрального отражения, например, в виде нескольких отдельно стоящих пиков, либо в виде плоского плато с шириной $\Delta\lambda/\lambda$ порядка 20-50%. Подобные структуры востребованы в первую очередь в аппаратах космического базирования, производящих наблюдения в ВУФ и МР областях. Таким образом, актуальность исследования обусловлена развитием наблюдательной астрономии МР и ВУФ диапазона. Также в работе рассмотрено

укорочение чирпированных импульсов МР диапазона при их отражении от широкополосных АМЗ..

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения. Полный объем диссертации составляет 152 страницы, включает 104 рисунка и 9 таблиц. Список литературы содержит 108 названий.

Во введении автор дает краткое обоснование актуальности темы диссертации, связанной со сложностями, которые возникают при создании многослойных структур с широкополосными спектральными коэффициентами отражения. Кроме того, автор формулирует основные принципы формирования аттосекундных импульсов с использованием многослойных апериодических структур. Далее автор обсуждает степень разработанности темы исследования и делает вывод о ее недостаточности, чем и обосновывает цель своего исследования, дает постановку задачи, подтверждает ее практическую значимость, научную новизну и формулирует основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена краткому обзору существующих расчетных методов, которые позволяют получать отражательные характеристики широкополосных АМЗ и приводит основные методы оптимизации таких расчетов. Рассмотрены степенной, аналитический, апериодический и стековый методы расчета, дана оценка эффективности и удобства применения каждого из них.

Во второй главе автор приводят результаты собственных исследований влияния на отражательные характеристики АМЗ особенностей, возникающих в их структуре при изготовлении. К таким характеристикам автор относит межслойную шероховатость, флуктуации толщин слоев, а также неопределенности в плотности материалов напыления. Далее, на основе математического моделирования, автор показывает, что указанные причины также могут привести к заметному и отклонению спектрального отражения от заданных параметров, либо, в случае применяя структуры для формирования коротких вспышек рентгеновского излучения, к существенному ухудшению эффективности временного сжатия аттосекундного импульса при отражении от такой структуры.

В третьей главе дается описание работ, проведенных с целью создания метрологического сопровождения при создании и аттестации синтезируемых АМЗ.

Описано устройство и принципы работы лабораторного рефлектометра с высоким (до 0.028 нм) спектральным разрешением, разработанного для этих целей. Детально описаны целевые параметры, устройство и система управления прибором, приведены результаты измерений, демонстрирующие его функциональность и параметры в различных режимах. Описаны методики выполнения измерений с использованием рефлектометра.

В четвертой главе описываются результаты разработки, изготовления и тестирования зеркал, являющихся прототипом для оптической системы солнечной обсерватории космического базирования «КОРТЕС». Дано описание конструкции спектрогелиографов обсерватории, принцип их действия, место АМЗ в конструкции и требования, предъявляемые к зеркалам. Описаны этапы разработки и изготовления зеркал, проведено сравнение стековых и аперидических многослойных зеркал для проекта, сделан вывод о предпочтительности использования стековых структур.

Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 17 печатных изданиях, включенных в список ВАК и входящих в международные базы данных Web of Science и Scopus. Основные результаты докладывались на 6 различных международных и всероссийских конференциях, по результатам которых опубликовано 12 тезисов докладов.

Диссертант проделал большой объем работ на современном уровне, характеризующем его как физика-экспериментатора высокой квалификации. Достоверность результатов, представленных в диссертации, не вызывает сомнений.

Научная новизна и практическая ценность представленной диссертации состоят в следующем:

- Впервые предложена и реализована на практике методика реконструкции внутреннего строения стековых структур по данным угловой зависимости коэффициента отражения на длине волны 0,154 нм и по спектральной кривой отражения в ЭУФ диапазоне.

- Впервые проведено сравнение рентгенооптических свойств аперидических и стековых многослойных широкополосных структур с

близкими спектральными полосами пропускания. Показано преимущество стековых структур по сравнению с аperiodическими.

- Созданы широкополосные зеркала стекового типа с рекордно большой, до 33 нм, рабочей длиной волны.

- Впервые изучено влияние структурных дефектов АМЗ, таких как межслоевая шероховатость, отличие плотности пленок от табличных значений, а также случайного отклонения толщин слоев от расчетных значений на форму и длительность отраженного chirпированного импульса электромагнитного излучения аттосекундной длительности.

- Впервые изучена в широких пределах зависимость плотности M_0 от толщины слоя. Показана необходимость учета изменения плотности при расчете структуры широкополосного зеркала.

Значимость полученных автором диссертации результатов определяется актуальностью задачи диссертации и возможностями развиваемых методов разработки, оптимизации и синтеза многослойных покрытий с заданными параметрами.

Диссертация хорошо структурирована и оставляет впечатление законченного комплексного исследования, проведенного на высоком уровне. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

По тексту диссертации имеется несколько замечаний:

1. Автор не всегда точно использует терминологию, относящуюся к классификации излучения по длинам волн. Так, в диссертации диапазон работы спектрогелиографов проекта «Кортес» (17-21 нм и 28-33 нм) называется мягким рентгеновским, в то время, как согласно классификации «ISO 21348 Definitions of Solar Irradiance Spectral Categories», этот диапазон отнесен к экстремальному ультрафиолетовому диапазону (EUV, $10 \leq \lambda \leq 121$ нм).
2. Поскольку разрабатываемые автором многослойные структуры предполагается использовать, в частности, в условиях околоземного

пространства, представляется актуальным вопрос их устойчивости к воздействию неблагоприятных внешних факторов, таких, как компоненты солнечного ветра, микроатмосфера вблизи космического аппарата, ВУФ излучение Солнца и т.д. В работе этому не уделено должного внимания.


Перечисленные замечания никак не влияют на общую положительную оценку диссертации, которая написана ясным и четким языком. Объем представленного материала говорит о высокой квалификации автора и комплексном подходе к поставленной задаче.

Диссертация С.А. Гарахина «Широкополосные рентгенооптические элементы на основе апериодических многослойных структур для солнечной астрономии и управления аттосекундными импульсами электромагнитного излучения» соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертации на соискания ученой степени кандидата физико-математических наук, установленным в разделе II Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842, а сам Сергей Александрович Гарахин – присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертация была рассмотрена на экспериментальном семинаре секции синхротронного излучения Института ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН 25 ноября 2020 г.

Отзыв подготовил

Старший научный сотрудник сектора 8-21 Института ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН, кандидат физико-математических наук


Николенко А.Д.
e-mail: a.d.nikolenko@inp.nsk.su

Тел. +7(383) 329-43-47