



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

Россия 141980 Дубна Московской области 141980 Dubna Moscow Region Russia
Telefax: (7-095) 975-23-81 Tel.: (7-09621) 65-059 AT: 205493 WOLNA RU E-mail: post@jinr.ru

_____ № _____ Г

на № _____ от _____

Г



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Объединенного Института
ядерных исследований,
доктор физико-математических наук,
профессор, академик РАН

 В.А.Матвеев

24 октября 2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Гжи Сергея Сергеевича «Анализ и фильтрация рентгеновских спектров с помощью призмной алмазной оптики и мозаичных кристаллов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика».

В настоящее время наиболее динамично развиваются различные импульсные системы генерации излучения от ИК до рентгеновского диапазона спектра. Такие системы широко используются как на практике, так и в научных исследованиях. При взаимодействии мощных импульсов излучения с различными объектами достигается гигантская плотность потока энергии и происходит каскад процессов возбуждения и релаксации среды. При этом указанные процессы могут происходить за чрезвычайно короткие промежутки времени от микросекундного до пикосекундного диапазона. Наиболее полная информация о структурных изменениях в объекте, диффузии элементов, составе и переносе массы может быть получена методами рентгеновской и нейтронной оптики.

Однако применяемые сейчас методы анализа структуры объектов и, в частности, слоистых наносистем, являются медленными и базируются на

инерционных системах механического перемещения или энергодисперсионных системах последовательной регистрации фотонов на основе полупроводниковых спектрометров. Для реализации быстрых измерений требуется создание безынерционных методов, в которых отсутствует механическое движение и исключена необходимость последовательной регистрации и обработки сигналов от отдельных фотонов. Одним из наиболее перспективных подходов для решения этой задачи является использование призмной рентгеновской оптики. Возможность реализации этого метода для исследования параметров слоистых наноструктур была впервые убедительно продемонстрирована автором в экспериментах на синхротроне ESRF. В связи с этим, актуальность и научная новизна работы С.С. Гижы не вызывает сомнений.

Текст диссертации содержит Введение, 4 главы, Заключение и список цитируемой литературы, включающий 89 наименований.

Во введении приведены цели и задачи работы, обоснована ее актуальность, новизна и практическая значимость. Представлены положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит обзор литературы, посвященной методам исследования параметров тонких пленок с помощью рентгеновской рефлектометрии, методам исследования элементного состава с помощью рентгенофлуоресцентного анализа, а также описываются рентгенооптические схемы, в которых применяется призмная рентгеновская оптика или мозаичные кристаллы высокоориентированного пиролитического графита.

Во второй главе приводятся результаты исследований свойств алмазной призмной оптики и демонстрируется измерительная схема, позволяющая проводить быстрый анализ параметров тонкопленочных наноструктур. Экспериментальные данные, описанные в этой главе получены на канале синхротрона ESRF (Гренобль, Франция). В первой части главы описывается способ введения рентгеновского пучка в алмазную призму, при котором получается максимальное энергетическое разрешение, близкое к предельно возможному, а также демонстрируется дифракционный эффект, зарегистрированный при прохождении монохроматического рентгеновского пучка через призму. Приводятся расчеты, показывающие, что данный эффект

проявляется вследствие параболического отклонения преломляющей грани призмы от плоскости. Во второй части главы описывается экспериментальная схема, позволяющая проводить измерения параметров тонкопленочных наноструктур за короткие времена. Приводятся экспериментальные данные, зарегистрированные за времена порядка 1 – 10 с., приводятся обоснования возможности применения данной рентгенооптической схемы для проведения измерений параметров тонкопленочных наноструктур за ультракороткие времена, вплоть до длительности импульса рентгеновского лазера.

Третья глава посвящена исследованию свойств мозаичных кристаллов и их применению для фильтрации, либо поляризации рентгеновского излучения. Исследованы азимутальные зависимости коэффициента дифракционного отражения для рентгеновских пучков с различным сечением. Экспериментально продемонстрировано, что пленки высокоориентированного пиролитического графита имеют резко анизотропную зависимость локальных дифракционных характеристик от угла азимутального поворота. Показано, что данную анизотропию можно уменьшить путем накатывания пленок на оптически гладкую поверхность. Показана возможность применения пленок высокоориентированного пиролитического графита для удаления спектральной полосы из полихроматического рентгеновского пучка, приводятся результаты измерений, при которых применение такой фильтрации позволяет обнаружить слабые флуоресцентные линии L- серии атомов свинца. Также показана возможность получения в лабораторных условиях интенсивных монохроматических поляризованных рентгеновских пучков на линии Cu K_{α} при помощи совместного использования поликапиллярной рентгеновской линзы и мозаичного кристалла алмаза с ориентацией плоскостей (311). Показаны результаты применения такого поляризованного пучка для уменьшения рассеянного фона при рентгенофлуоресцентном анализе.

Четвертая глава посвящена определению концентраций примесей тяжелых элементов в легких матрицах по величине скачков рентгеновского фотопоглощения. При этом фильтрация и оптимизация рабочего диапазона рентгеновского спектра осуществляется либо при помощи комбинации абсорбционных фильтров и рентгеновских зеркал, либо при помощи

использования механического качания пленок высокоориентированного пиролитического графита. Для решения обратной задачи минимизируется невязка для величины скачка коэффициента пропускания и для скачка первой производной коэффициента пропускания по энергии вблизи края фотопоглощения. При этом область XAFS - осцилляций аппроксимируется степенными функциями.

В Заключение сформулированы основные выводы диссертационной работы Гижы С.С.

Достоверность результатов, представленных в работе С.С. Гижы обеспечивается применением современного оборудования и методов измерений. Экспериментальные результаты, полученные на разных установках, находятся в соответствии между собой и с теоретическим обоснованием.

Результаты, изложенные в диссертации опубликованы в 7 научных статьях в журналах, индексируемых в базах Web of Science и Scopus, 1 научной статье в журнале из перечня ВАК, 5 сборниках тезисов конференций. Все они соответствуют специальности 01.04.05 – «Оптика».

Результаты диссертационной работы имеют большую значимость для развития рентгеновских методов анализа быстрых процессов, а также в целом для развития рентгеновской оптики.

Полученные результаты представляют несомненный интерес и могут быть рекомендованы для проведения совместных проектов с зарубежными (European XFEL, ESRF, SPRING-8) и отечественными (НИЦ «Курчатовский институт», ИЯФ СО РАН) синхротронными центрами. Предложенные в работе методы фильтрации рентгеновского спектра могут быть также использованы в различных научных лабораториях физического и химического профиля, применяющих полупроводниковую рентгеновскую спектрометрию для анализа элементного материалов.

Вместе с тем по диссертации можно высказать ряд замечаний:

1. Методы расчетов и методы проведения эксперимента, применяемые в рентгеновской оптике и при работе с холодными нейтронами, являются очень схожими, вследствие идентичных по порядку

величины длин волн и коэффициентов преломления сред, однако автором в обзоре литературы нейтронная оптика не упоминается.

2. Методы фильтрации рентгеновских спектров, а также методы анализа скачков фотопоглощения для оценки массового содержания химических элементов, описанные в третьей и четвертой главах, очевидно могут быть использованы также в экспериментах с призмной оптикой для проведения быстрых измерений, однако в тексте диссертации в явном виде это не указывается, вследствие чего размывается связь между главами диссертации.

Отмеченные замечания не влияют на достоверность и значимость полученных результатов и выводов, не снижают общую положительную оценку работы. Диссертация Гижы С.С. является законченной научно-квалификационной работой, новизна и достоверность работы не вызывает сомнений. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Гижы С.С. удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, а Гижы С.С. заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика».

Работа заслушана и поддержана на заседании НТС НЭО НИКС ЛНФ ОИЯИ от 23.10.2018.

Отзыв составлен:

Зам начальника Научно-экспериментального отдела

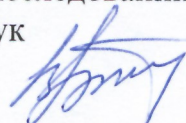
Комплекса спектрометров

Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка

Объединенного института Ядерных Исследований

Кандидат физико-математических наук

Боднарчук Виктор Иванович



24 октября 2018

Международная межправительственная организация «Объединенный институт ядерных исследований», ул. Жолио-Кюри, 6, г. Дубна, Московская обл., Россия, 141980

e-mail: bodnarch@nf.jinr.ru; тел: 8-916-354-81-42.

Зам. директора ЛНФ им. Франка ОИЯИ

к.ф.м.н. Куликов Отилия



СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

сотрудников Международной межправительственной организации Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ) по тематике защищаемой диссертации Гижы Сергея Сергеевича «Анализ и фильтрация рентгеновских спектров с помощью призмной алмазной оптики и мозаичных кристаллов», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика», в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Lorca, D., Martín-Albo, J., Laing, A., Ferrario, P., Gómez-Cadenas, J. J., Álvarez, V., ... & Cervera, A. (2014). Characterisation of NEXT-DEMO using xenon $K\alpha$ X-rays. *Journal of Instrumentation*, 9(10), P10007.
2. Faatz, B., Plönjes, E., Ackermann, S., Agababyan, A., Asgekar, V., Ayvazyan, V., ... & Bican, Y. (2016). Simultaneous operation of two soft x-ray free-electron lasers driven by one linear accelerator. *New journal of physics*, 18(6), 062002.
3. Malamud, F., Riffo, A. M., Alvarez, M. V., Vizcaino, P., Li, M. J., Liu, X., ... & Vasin, R. N. (2018). Characterization of crystallographic texture of Zirconium alloy components by neutron diffraction. *Journal of Nuclear Materials*, 510, 524-538
4. Medvedev, N., Volkov, A. E., & Ziaja, B. (2015). Electronic and atomic kinetics in solids irradiated with free-electron lasers or swift-heavy ions. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 365, 437-446.
5. Breier, R., Brudanin, V. B., Loaiza, P., Piquemal, F., Povinec, P. P., Rukhadze, E., ... & Štekl, I. (2018). Environmental radionuclides as contaminants of HPGe gamma-ray spectrometers: Monte Carlo simulations for Modane underground laboratory. *Journal of environmental radioactivity*, 190, 134-140.
6. Kozlenko, D., Kichanov, S., Lukin, E., & Savenko, B. (2018). The DN-6 Neutron Diffractometer for High-Pressure Research at Half a Megabar Scale. *Crystals*, 8(8), 331.
7. Todoran, D., Todoran, R., Szakács, Z., & Anitas, E. (2018). Electrical Conductivity and Optical Properties of Pulsed Laser Deposited LaNi₅ Nanoscale Films. *Materials*, 11(8), 1475.
8. Veligzhanin, A. A., Frey, D. I., Shulenina, A. V., Gruzinov, A. Y., Zubavichus, Y. V., & Avdeev, M. V. (2018). Characterization of aggregate state of polydisperse

- ferrofluids: Some aspects of anisotropy analysis of 2D SAXS in magnetic field. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 459, 285-289.
9. Mirzayev, M. N., Jabarov, S. H., Asgerov, E. B., Mehdiyeva, R. N., Thabethe, T. T., Biira, S., & Tiep, N. V. (2018). Crystal structure changes and weight kinetics of silicon-hexaboride under gamma irradiation dose. *Results in Physics*.
 10. Snegir, S. V., Artykulnyi, O. P., Petrenko, V. I., Krumova, M., Kutsenko, V. Y., Avdeev, M. V., ... & Bulavin, L. A. (2018). On the in-depth density distribution of layered assemblies of Au nanoparticles on planar interfaces. *Chemical Physics Letters*, 706, 601-606.
 11. Asgerov, E. B., Ismailov, D. I., Mehdiyeva, R. N., Jabarov, S. H., Mirzayev, M. N., Kerimova, E. M., & Dang, N. T. (2018). Differential-Thermal and X-Ray Analysis of TlFeS₂ and TlFeSe₂ Chalcogenides. *Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 12(4), 688-691.
 12. Sikolenko, V., Efimova, E., Franz, A., Ritter, C., Troyanchuk, I. O., Karpinsky, D., ... & Efimov, V. (2018). X-ray absorption spectroscopy and neutron diffraction study of the perovskite-type rare-earth cobaltites. *Physica B: Condensed Matter*, 536, 640-642.
 13. Gapon, I. V., Petrenko, V. I., Soltwedel, O., Khaydukov, Y. N., Kubovcikova, M., Kopcansky, P., ... & Avdeev, M. V. (2018, March). Crystallisation of aqueous ferrofluids at the free liquid interface investigated by specular and off-specular x-ray reflectometry. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 994, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.