

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Максима Валерьевича Поликарпова
«Алмазные преломляющие линзы для лазероподобных
рентгеновских источников», представленную на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики»

Применение синхротронного излучения для проведения исследований в самых различных областях науки, техники, а теперь и культуры сегодня уже настолько широко, что не требует никаких комментариев. Более того, получив время для проведения экспериментов на современных синхротронах, прибывающий туда к заранее означенному сроку исследователь получает в свое распоряжение экспериментальную станцию, наилучшим образом сконфигурированную для решения его конкретной задачи. При этом он (исследователь) часто не задумывается об усилиях, которые для создания такого положения вещей были затрачены. Не рассматривая всю ситуацию в деталях, отметим, что одним из центральных моментов здесь часто является создание в месте расположения исследуемого образца узкого рентгеновского пучка с наибольшей интенсивностью. Именно для этой цели успешно используются длиннофокусные рентгеновские линзы. К настоящему времени наиболее широко применяются бериллиевые составные линзы. В рамках настоящей диссертации, насколько мне известно,

впервые обоснована и реализована возможность применения для этих целей рентгеновских линз, изготовленных из синтетического алмаза с применением методов лазерной обработки для получения заданного профиля, и показаны их преимущества. Таким образом, являются несомненными актуальность и научная новизна представляемой работы. Выявление степени достоверности и обоснованности выносимых на защиту результатов и положений, однако, требуют более подробного анализа представляемого материала, который проведен ниже.

Диссертация состоит из введения и четырех основных глав. Во введении автор четко и логично формулирует поставленную научную задачу и определяет пути ее решения.

Первая глава диссертации по существу представляет собой обзор литературных данных и сведений, необходимых автору для выполнения работы. Несколько удивляет, что начинается она с описания широко известной конструкции и спектра излучения традиционной рентгеновской трубки. Возможно это может быть объяснено тем, что далее автор проводит ее сравнение с недавно разработанным источником с жидким анодом, который применялся в данной работе. Далее автор представляет особенности современных синхротронных источников, подробно останавливаясь на конструкции и экспериментальных возможностях, станции ID06 Европейского центра синхротронного излучения. Именно эта станция использовалась им для тестирования созданных рентгеновских линз.

Далее дается изложение основных рентгенооптических понятий, необходимых для понимания и описания принципов действия преломляющих линз. Кратко представлены полученные к настоящему времени результаты по применению составных бериллиевых линз. Обосновывается возможность и целесообразность использования алмаза для создания таких линз и проводится критический анализ ранее полученных в этой области результатов.

Глава вполне логично заканчивается постановкой задач, для выполняемых в данной работе исследований.

По материалам этой главы можно сделать два замечания. В таблице 1.1 число столбцов, должно соответствовать количеству представленных материалов анода, а оно явно меньше их приведенного там же числа.

Фраза, предшествующая разделу «Тепловая и радиационная стойкость материала алмаза», сформулирована неудачно и по существу этому разделу противоречит.

Вторая глава является центральной в данной диссертации, как по объему (64 страницы), так и по существу. В ней автор рассматривает различные возможности изготовления алмазных рентгеновских линз с применений технологии лазерной абляции, описывает структурные особенности изготовленных линз и применения этих линз для фокусировки синхротронного излучения, а также для получения с их помощью изображений.

В настоящей работе представлены, описаны и исследованы четыре различных конфигурации рентгеновских линз из синтетического алмаза, (полученного по различным технологиям), а именно:

- Набор плоских линз, изготовленных на одной пластинке, который включал
 - 3 линзы с радиусом кривизны параболы 50 мкм,
 - 6 линз с радиусом кривизны параболы 200 мкм,
 - 14 линз с радиусом кривизны параболы 500 мкм;
- Одномерные цилиндрические линзы с радиусом 500 мкм;
- «Полулинзы» с радиусом кривизны параболы 200 мкм;
- Двумерные одиночные линзы с радиусом кривизны параболы 200 мкм.

Структурные особенности данных линз изучались с применением методов оптической микроскопии, электронной растровой микроскопии, атомно-силовой микроскопии, лабораторной рентгеновской микротомографии,

радиографии, «Тальбо» интерферометрии (то и другое - на синхротронном источнике), «белой» интерферометрии и рамановской спектроскопии.

Электронно-микроскопические исследования выявили наличие второй фазы на обрабатываемых лазером поверхностях (в тех случаях, когда для этих целей использовался пикосекундный лазер). Рамановская спектроскопия показала, что эта фаза представляет собой включения графита (возникающие при лазерном нагреве обрабатываемой поверхности). В этой связи автором сделан важный для дальнейшего развития технологии вывод о том, что для получения нужного профиля алмазных линз следует использовать фемтосекундный лазер. В этом случае графитизированный слой более равномерно покрывает поверхность и может быть легко удален.

Остальные, названные выше методы исследования были использованы для выявления профиля получаемых линз, его искажений и оценки шероховатости. Эти исследования показали, что шероховатость поверхности линз находится на уровне от долей до десятков микронов и более. Сверх того имеет место искажение профиля поверхности по глубине линзы, обусловленное особенностями лазерной обработки.

Далее фокусирующие и изображающие свойства созданных линз были изучены на синхротроне ESRF. Во всех случаях фокусировка излучения наблюдалась, однако полученные значения оказались хуже расчетных и не являются исключительными. Это автор связывает, и как далее будет показано, справедливо, с названными выше дефектами обработки. Зато при использовании данных линз для получения изображений удалось на тестовых объектах устойчиво различить детали с характерным размером менее одного микрона, что является весьма достойным результатом. Неясно все же, в силу каких причин заметно (в разы, а то и на порядки) размеры сфокусированного фокусного пятна превосходят разрешение, получаемое в рентгеновском изображении.

Можно также отметить следующее. Не ясна причина, по которой были изготовлены одномерные цилиндрические линзы, а не линзы с параболическим профилем.

Количество примененных автором методов исследования впечатляет и явно превосходит средний уровень. С другой стороны объем полученных данных таков, что было бы уместно представить таблицу, где сравнивались бы предварительные (проектные) данные о разрабатываемых линзах с результатами их исследований. Отсутствие такой таблицы затрудняет восприятие и анализ полученных автором результатов.

Более того, обилие методов исследования не позволяет в полной мере оценить особенности каждого из них. Например, не проведен анализ средне квадратичного отклонения регистрируемого методом атомно-силовой микроскопии высоты рельефа поверхности от размера области сканирования, а эта величина при увеличении размера скана возрастает. В том, что касается рентгеновской микротомографии и «Тальбо» интерферометрии, отсутствует анализ возможных артефактов, связанных с алгоритмами реконструкции.

Тем ни менее полученные экспериментальные результаты в целом, видимо, справедливы. Это утверждение подтверждается модельными расчетами, представленными в третьей главе диссертации. Данные расчеты проведены автором именно с учетом им полученных количественных экспериментальных данных о несовершенстве поверхности и формы изготовленных линз. Они хорошо согласуются с результатами по фокусировке синхротронного излучения с помощью алмазных линз. Интересны представленные в этой главе соображения автора о возможной пост-обработке поверхностей алмазных линз методом ионного травления и его данные о дифракционных эффектах этих линз, изготовленных из монокристаллов. Отметим, однако, что применение метода ионного

травления требует большой аккуратности, поскольку в зависимости от энергии и фокусировки пучка ионов можно наблюдать как уменьшение, так и увеличение шероховатости обрабатываемой поверхности, вплоть до изменения ее геометрии. Ввиду поглощения ионов может происходить также изменение оптических констант обрабатываемого материала.

В четвертой главе описаны эксперименты по подавлению гармоник синхротронного излучения высших порядков с использованием алмазных линз. Идея этих экспериментов представляется настолько простой и естественной, что даже непонятно, как она не возникла и не была использована ранее. Однако полученные результаты впечатляют. Автору удалось снизить интенсивность гармоник на три порядка при том, что интенсивность основной гармоники уменьшилась лишь в пять раз.

Все изложенное позволяет мне с уверенностью заключить, что достоверность и обоснованность выносимых на защиту результатов и положений не вызывает сомнений.

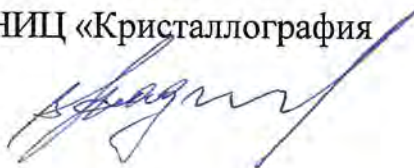
В то же время имеется ряд замечаний по тексту диссертации. На стр. 5 сказано, что «...рентгеновские линзы не меняют направления распространения рентгеновского излучения...». Такая формулировка не имеет смысла, либо не выражает ту мысль, которую автор хочет передать читателям. Видимо имеется ввиду, что не меняется направление главной оптической оси, вдоль которой распространяется излучение. На стр.6 и 128 автор использует, на мой взгляд, неудачный термин «поступательное изменение профиля поверхности линзы». На стр.57 следует читать не «размер фокуса» (как в тексте), а длина фокусного расстояния. На стр.98 указана не мощность, а энергия рентгеновского излучения. Наконец в тексте имеется незначительное число опечаток (стр.37, 41, 46).

Эти и другие замечания, отмеченные выше, не снижают в целом высокой оценки рецензируемой работы. Она закладывает фундамент и определяет направление для тех исследований, которые предстоит выполнить с тем, чтобы обеспечить широкую возможность применения

рефракционной оптики на мощных рентгеновских источниках следующих поколений, включая лазер на свободных электронах.

Диссертация соответствует требованиям ВАКа, а ее автор Максим Валерьевич Поликарпов достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Доктор физико-математических наук
(специальность 01.04.18 – «Кристаллография
и физика кристаллов, диплом ДК №021123),
профессор (специальность 01.04.07 - «Физика конденси-
рованного состояния, аттестат АПС №002265),
заведующий лабораторией рефлектометрии и
малоуглового рассеяния Института кристаллографии
им. А.В. Шубникова ФНИЦ «Кристаллография
и фотоника» РАН



(В.Е. Асадчиков)

119333, Москва, Ленинский пр., 59

Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

Тел. 8 499 135 22 00

8 916 705 46 04

E-mail: asad@crys.ras.ru

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ

Ученый секретарь
ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН
к.ф.-м.н.
 Ю.А. Дьякова

