

ОТЗЫВ

официального оппонента **В.С. Айрапетяна**

на диссертацию Ерушина Евгения Юрьевича на тему: «Лучевая стойкость и нелинейно-оптические характеристики кристаллов бариевых халькогенидов»,
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. – Оптика

Актуальность темы. Диссертация Е. Ю. Ерушина «Лучевая стойкость и нелинейно-оптические характеристики кристаллов бариевых халькогенидов» посвящена экспериментальному исследованию оптической прочности и нелинейно-оптических свойств кристаллов BaGa_4S_7 (BGS), BaGa_4Se_7 (BGSe), $\text{BaGa}_2\text{GeS}_6$ (BGGS), $\text{BaGa}_2\text{GeSe}_6$ (BGGSe) и $\text{Ba}_2\text{Ga}_8\text{GeS}_{16}$ (B2GGS), перспективных материалов для параметрического преобразования частоты (ППЧ) в средний ИК-диапазон. Перестраиваемые когерентные источники в этом спектральном диапазоне востребованы для мониторинга атмосферы, медицинской диагностики, тепловидения и лазерной хирургии. Их ключевым элементом является нелинейный кристалл, характеристики которого во многом определяют эффективность и эксплуатационные возможности ППЧ. Бариевые халькогениды рассматриваются как перспективная альтернатива коммерчески доступным кристаллам AgGaS_2 , AgGaSe_2 и ZnGeP_2 . Однако до настоящего времени данные об их оптической прочности и нелинейных характеристиках были малочисленными и недостаточно систематизированными, поэтому актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

Целью диссертационного исследования является исследование свойств кристаллов бариевых халькогенидов, определение порогов лазерного пробоя и измерение их нелинейно-оптических характеристик. Для достижения поставленной цели решены четыре задачи: измерены пороги лучевой стойкости пластин BGS, BGSe, BGGS, B2GGS и BGGSe при воздействии наносекундных импульсов с длинами волн 1 и 2 мкм при различных частотах

повторения; создана установка для Z-сканирования и проведена её апробация на кристалле ZnSe; измерены коэффициенты нелинейного поглощения и нелинейного преломления, а также исследованы их зависимости от интенсивности излучения и частоты повторения импульсов; исследованы параметры тепловой линзы и тепловой нелинейный показатель преломления кристалла BGGSe.

Краткая характеристика основного содержания диссертации. Диссертация Ерушина Е.Ю. состоит из перечня условных обозначений, введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 168 наименований. Её общий объём составляет 118 страниц, содержащих 42 рисунка и 11 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, представлены научная новизна и положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробациях и личном вкладе автора.

Первая глава представляет собой обзор литературы, посвящённый синтезу, оптическим, нелинейно-оптическим и теплофизическим свойствам бариевых халькогенидов, а также их применению в параметрических преобразователях частоты. Обзор написан, по существу, и подводит к постановке задач работы.

Во второй главе описаны исследуемые образцы и методы исследования. Для определения лучевой стойкости выбран метод «R-on-1», удобный при ограниченном числе и размерах образцов и учитывающий эффекты накопления. Для измерения нелинейного поглощения и нелинейного преломления использовано однолучевое Z-сканирование. Автором создана экспериментальная установка и проведена её проверка на хорошо изученном материале.

Третья глава посвящена лучевой стойкости бариевых халькогенидных кристаллов в наносекундном режиме на длинах волн 1,053 мкм и 2,091/2,128 мкм, с учётом влияния частоты следования импульсов. Автор сопоставляет серо- и селеносодержащие кристаллы, анализирует роль

накопления тепла и двухфотонного поглощения и сравнивает полученные результаты с литературными данными.

В четвёртой главе приведены результаты измерения нелинейного поглощения и нелинейного преломления, а также исследования тепловой линзы. Полученные значения сопоставлены с теоретическими расчётами, на их основе оценены критическая мощность самофокусировки и нелинейная восприимчивость третьего порядка.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

Научная новизна и практическая значимость. К основным научным результатам диссертации Е. Ю. Ерушина, обладающим научной новизной, относятся:

- систематическое исследование лучевой стойкости пяти бариевых халькогенидов, включая новый кристалл B2GGS, и выявление закономерностей, связывающих порог пробоя с химическим составом кристалла и частотой следования импульсов;
- обнаружение и количественное измерение двухфотонного поглощения в кристалле BGGSe при накачке на длине волны около 1 мкм;
- систематическое измерение нелинейных показателей преломления бариевых халькогенидов и их сопоставление с теоретической моделью;
- исследование электронного и теплового вкладов в нелинейный оптический отклик и определение условий, при которых измерения позволяют достоверно оценить электронную составляющую;
- расчёт критической мощности самофокусировки и оценка нелинейной восприимчивости третьего порядка исследованных кристаллов.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов при разработке параметрических преобразователей частоты среднего ИК-диапазона для обоснованного выбора нелинейного кристалла и режима накачки с учётом требований к эффективности преобразования и лучевой стойкости. Полученные данные

позволяют оценивать допустимые уровни лазерного излучения, обеспечивающие работу кристаллов без повреждения. Результаты исследования также могут быть использованы при численном моделировании параметрических преобразователей частоты, а разработанная методика Z-сканирования применима для экспериментального исследования нелинейно-оптических характеристик других материалов.

Достоверность результатов и обоснованность научных положений и выводов. Достоверность результатов подтверждается использованием общепризнанных методик, проверкой установок на известных эталонных материалах, согласием экспериментальных данных с теоретическими оценками и литературными данными, а также публикациями результатов в высокорейтинговых научных журналах, в том числе относящихся к первому квартилю (Q1). Положения, выносимые на защиту, подтверждены экспериментальными результатами, представленными в главах 3 и 4, а выводы соответствуют поставленным задачам. Основные результаты диссертации опубликованы в 23 работах, включая 9 статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК, и неоднократно докладывались на российских и международных научных конференциях. Диссертация написана ясно и логично, структура работы соответствует поставленным задачам.

По диссертации имеются следующие замечания и вопросы:

1. Стр. 4. Читаем: «Нелинейное поглощение и нелинейная рефракция, возникающие в кристаллах при воздействии интенсивного лазерного излучения, могут вызывать изменения поперечного профиля интенсивности лазерного луча внутри кристалла. Это, в свою очередь, может привести к эффектам самофокусировки, изменения параметров оптического резонатора и, в конечном итоге, к снижению эффективности преобразования». Это можно понимать как: «могут вызвать изменения, а могут и не вызвать изменения....».

И в продолжении: каким образом это приводит к изменению параметров оптического резонатора?

2. В автореферате и в диссертации неоднократно указывается исследование порогов лучевой стойкости нелинейно-оптических кристаллов к излучению с длиной волны 1 мкм и 2 мкм. Однако, для оптимизации работы и обеспечения долговечности кристаллов в системах, ориентированных на дальний ИК диапазон (свыше 5 мкм), критически важно проводить исследования их стойкости к более длинноволновому излучению.

3. Тепловые свойства нелинейно-оптических кристаллов играют ключевую роль в их применении для параметрического преобразования частоты лазерного излучения. Именно эти свойства определяют стабильность генерируемого излучения, его спектральные характеристики и общую эффективность процесса.

Тем не менее, в данной диссертации недостаточной степени представлены результаты экспериментальных исследований теплофизических свойств нелинейных кристаллов при воздействии интенсивного лазерного излучения. В частности, в проведённых экспериментах отсутствовал температурный контроль исследуемых образцов, что является критически важным для точной оценки изменения их структуры в условиях лазерного воздействия. Отсутствие детального анализа тепловых характеристик исследуемых кристаллов ограничивает возможность их полного применения в качестве активного элемента в параметрических лазерах.

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы

Заключение

Диссертация Е. Ю. Ерушина представляет собой законченное научное исследование, выполненное на высоком научном уровне. Результаты обладают научной новизной и практической значимостью, опубликованы в зарубежных и российских научных изданиях. Автореферат отражает основное содержание диссертации и сформулированные в ней выводы.

Диссертационная работа «Лучевая стойкость и нелинейно-оптические характеристики кристаллов бариевых халькогенидов» соответствует требованиям ВАК, установленных в пп. 9-14 «Положение о присуждении ученых степеней», предъявляемых к кандидатским диссертациям, а её автор, Ерушин Евгений Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 – Оптика.

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой «Специальных устройств и технологий» Сибирского государственного университета геосистем и технологий (СГУГиТ)
доктор технических наук (специальность 01.04.05 – Оптика), профессор



Айрапетян Валерик Сергеевич

19 октября 2026 г.

Подпись В.С. Айрапетяна удостоверяю.

Ученый секретарь Ученого совета СГУГиТ,

кандидат технических наук, доцент



Радченко Людмила Константиновна

19 октября 2026 г.

Сибирский государственный университет геосистем и технологий (СГУГиТ)
Россия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10
Тел.: +7 (383) 343-39-39, +7 (383) 361-07-31
e-mail: v.s.ayrapetyan@ssga.ru