

ОТЗЫВ
официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Синько Антона Сергеевича
на тему: «Генерация и взаимодействие терагерцового излучения с
молекулярными кристаллами»
по специальности 1.3.19. – «лазерная физика»

Актуальность темы диссертации

В диссертационной работе А.С.Синько приведены результаты экспериментальных исследований нелинейно-оптических взаимодействий электромагнитного излучения с молекулярными кристаллами, а также рассмотрены механизмы генерации узкополосного ТГц излучения на основе резонансного фононного отклика в молекулярных кристаллах в результате ИК- и КР-активных молекулярных колебаний. Актуальность данного направления не вызывает сомнений из-за большого количества его возможных приложений среди которых: 2D и 3D визуализация материалов, медицинская диагностика, низкочастотная оптическая спектроскопия, нанотехнологии. Поэтому разработка новых нелинейно-оптических источников ТГц излучения является актуальным направлением для создания эффективных сверхбыстрых оптических и оптоэлектронных устройств указанного диапазона частот.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и 1 приложения. Полный объем диссертации составляет 161 страницу, включая 61 рисунок и 7 таблиц. Список литературы содержит 241 наименование.

Во **введении** обосновывается актуальность исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, формулируется цель, ставятся задачи работы, обсуждается научная новизна и практическая значимость представляемой работы, формулируются выносимые на защиту научные положения.

Первая глава посвящена литературному обзору и теоретическому описанию процесса генерации терагерцового излучения в нелинейно-оптических кристаллах, приводится также описание методов и особенностей генерации терагерцового излучения в нелинейно-оптических кристаллических средах. Рассматриваются наиболее актуальные кристаллические источники и схемы генерации в них терагерцового излучения.

Во **второй главе** описаны экспериментальные установки, созданные для детального изучения процесса генерации теагерцового излучения в молекулярных кристаллах. В частности, были созданы 2 типа терагерцовых спектрометров с использованием в качестве источника излучения лазерной плазмы в воздухе или полупроводниковых антенн с волоконной лазерной накачкой. Были достигнуты высокие для настоящего времени характеристики приборов: спектральный диапазон 0,2-3,6 ТГц, динамический диапазон >100 дБ, частотное разрешение <1,2 ГГц.

В **третьей главе** описываются спектры пропускания, а также параметры комбинационного рассеяния в молекулярном кристалле гидрофосфита гуанилмочевины (GUP) в терагерцовом диапазоне частот при температурах образцов в диапазоне 293К-10К и разной взаимной ориентации сканирующего излучения и диэлектрических осей кристалла. Приводятся кристаллографические параметры данного материала и анализируется их связь с колебательной динамикой излучения.

В **четвертой главе** приведено описание экспериментальных результатов по генерации терагерцового излучения в молекулярном кристалле GUP при возбуждении фемтосекундным лазерным излучением. Для интерпретации экспериментальных результатов предложена модель генерации терагерцового излучения в кристалле GUP как процесс трехволновой нелинейно-оптической генерации на разностной частоте с усилением нелинейности в области частот колебательных резонансов. Правильность

выбранной модели подтверждается экспериментально полученными спектрами генерации.

Пятая глава посвящена исследованию генерации узкополосного терагерцового излучения в молекулярных кристаллах бифталатов натрия, калия, рубидия, цезия и кристалле сахарозы. В частности, рекордные спектральные параметры генерации терагерцового излучения были получены для молекулярного кристалла бифталата рубидия (линия 1,549 ТГц): при температуре образца 6,3К ширина спектра генерации составила 2,2 ГГц. Приводятся результаты измерений процесса генерации терагерцового излучения в молекулярном кристалле сахарозы. В частности, при возбуждении фемтосекундными лазерными импульсами с центральной длиной волны 797 нм в кристалле сахарозы при температуре 293К наблюдается генерация терагерцового излучения с широкополосной компонентой, обусловленной нелинейностью быстрых электронов, и узкой линией, вызванной ИК- и КР- активной колебательной модой молекулярной решетки.

В заключении четко сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Результаты, полученные автором в рамках диссертационной работы опубликованы в рецензируемых научных журналах с высоким импакт фактором и доложены на различных международных конференциях. Полученные результаты соответствуют предложенным в работе физическим моделям, что указывает на достоверность и обоснованность научных положений, выносимых на защиту. Полученные в диссертации результаты обладают научной новизной, например, было предложено и впервые экспериментально осуществлено несколько эффективных схем генерации узкополосного терагерцового излучения в различных молекулярных кристаллах.

Диссертация является законченной научной работой. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

В то же время, работа А.С.Синько не лишена недостатков.

1. В работе исследованы эффекты генерации терагерцового излучения в молекулярных кристаллах, в которых наблюдаются колебательные фононные моды на терагерцовых частотах. Однако недостаточно четко описана практическая потребность как в изучении этих эффектов, так и в применении их в качестве конкурирующих аналогов другим источникам терагерцового излучения.
2. В работе представлено мало информации о качестве и однородности используемых молекулярных кристаллов. Также следовало описать повторяемость наблюдаемых параметров генерации для разных образцов кристаллов.
3. В главе 3 приводятся подробные результаты экспериментов по спонтанному комбинационному рассеянию в кристалле GUNP при различных взаимных ориентациях поляризации возбуждающего лазерного пучка, кристаллографических осей и поляризации детектируемого рассеянного излучения. Эта информация выглядит избыточной с точки зрения оптимизации процесса генерации терагерцового излучения в данном кристалле, поскольку не привязана к конкретным схемам экспериментов по генерации излучения.
4. В диссертации присутствуют странные словесные обороты и самодельные научные термины. Приведем некоторые из них: с.6 «более классическая альтернатива», с.30 «многие из современных нелинейно-оптических молекул», с.52 «аппроксимируются мультипиковой моделью Лоренцевых осцилляторов», с.57 «параметры измельчения структуры», с.67 «положение и ширина резонанса подчиняется статистике Бозе-Эйнштейна», с.81 «сильно

добротные пики, частота и ширина которых селективна», с.66 «структурно-резонансные среды».

5. На стр.48, рис.2.2 приведен подробный чертеж части коммерческого криостата фирмы SHI Cryogenics Group. Данный рисунок является избыточным и ничего не добавляет в понимание процессов генерации излучения ТГц.

Однако, указанные замечания не умаляют значимости диссертационной работы. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.19. – «лазерная физика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Синько Антон Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. – «лазерная физика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
Научный центр волновых исследований ФГБУН Федеральный
исследовательский центр Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,
заведующий лабораторией лазерной спектроскопии

Бункин Алексей Федорович

« 7 » 10 2023г.

Алексей Бункин

Контактные данные:

тел.: , e-mail: abunkin@kapella.gpi.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

1.3.6 – оптика

Адрес места работы:

119991, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38,

Научный центр волновых исследований ФГБУН Федеральный
исследовательский центр Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН