

«УТВЕРЖДАЮ»



Временный генеральный директор
АО «НИИ «Полус» им. М.Ф.Стельмаха»
доктор технических наук, профессор
Е.В. Кузнецов
«27» сентября 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Акционерного Общества «НИИ «Полус» им. М.Ф.Стельмаха» на диссертационную работу Волошина Андрея Сергеевича "Особенности акустооптического взаимодействия в кристаллах с сильной акустической анизотропией", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «радиофизика».

Диссертационная работа А.С. Волошина посвящена вопросу влияния акустической анизотропии на характеристики акустооптического (АО) взаимодействия. В современной акустооптике при изготовлении АО приборов в качестве АО среды используются преимущественно кристаллы, среди которых особое место занимают сильно анизотропные кристаллы: парателлурит (TeO_2), теллур (Te), каломель (Hg_2Cl_2), бромид ртути (Hg_2Br_2), ТАС (Tl_3AsSe_3). Акустическая анизотропия приводит к различным изменениям возбуждаемого акустического поля. Во-первых, меняет структура акустического поля. Во-вторых, появляется снос акустической энергии. Именно рассмотрению влияния этого эффекта и посвящена данная работа.

Акустический снос в сильно анизотропных средах может достигать крайне больших значений. Например, в парателлурите угол сноса достигает 74° , а в теллуре – 49° . Несмотря на большую величину данного эффекта, его влияние на характеристики АО взаимодействия не было досконально изучено. Публикации, посвященные изучению этого эффекта, появляются только лишь в последнее время и в них рассмотрены частные случаи, которые не позволяют сделать общие выводы.

Следует отметить, что проблема дифракции света на акустическом пучке со сном близка к задаче дифракции света на наклонной (косой) дифракционной решетке, создаваемой голографическим методом в толстослойной фотоэмульсии или в фоторефрактивном кристалле. В настоящее время область применения статических брэгговских решеток очень широка. Но в существующей литературе рассмотрена изотропная дифракция света и полученные результаты не могут быть применены к АО приборам, в которых дифракционные решетки являются

принципиально перестраиваемыми.

Таким образом, хотя задача дифракции света на наклонном акустическом столбе не является абсолютно новой и была частично исследована ранее, а также имеет прямой аналог в оптике голографических решеток, в диссертационной работе А.С. Волошина приведено подробное многостороннее исследование влияние сноса акустической энергии на АО дифракцию света. В диссертационной работе разработан подход к решению АО задач, в рамках которого оказалось возможным произвести учет сноса акустической энергии и проанализировать его влияние. Оказалось, что рассматриваемый эффект качественно и количественно сказывается на характеристиках дифракционного спектра. Получено большое количество аналитических, численных и экспериментальных результатов, подтверждающих выводы диссертационной работы. Более того, разработанный подход позволил рассмотреть анизотропную дифракцию света в акустическом поле, обладающим периодической пространственной неоднородностью, и продемонстрировать возможность создания АО устройств для управления неполяризованным светом.

Таким образом, предпринятое в диссертации А.С. Волошина исследование особенностей акустооптического взаимодействия в средах, обладающих большой анизотропией, как оптических и акустических свойств, является, несомненно, **актуальным** для различных областей современной оптики и **важным** как с точки зрения расширения представлений о физических процессах, обуславливающих рассеяние света на ультразвуке в анизотропных средах, так и для создания новых АО устройств.

Рукопись диссертации Волошина А.С. состоит из введения, пяти глав и заключения. Содержит 43 рисунка и 4 таблицы, библиографию из 165 наименований. Полный объем диссертации 132 страницы.

Во **введении** представлено обоснование актуальности темы исследований, описаны предмет исследования и цели диссертационной работы, приводится краткое содержание работы, отмечается научная новизна и практическая значимость проведенных исследований, формулируются основные положения, выносимые на защиту, приводятся сведения об апробации результатов работы.

Первая глава диссертации состоит из двух частей. Первая часть носит целиком обзорный характер. Вторая часть главы содержит оригинальные результаты. Представлено аналитическое рассмотрение задачи дифракции плоской световой волны на наклонном акустическом пучке. Получены модифицированные уравнения Рамана-Ната, описывающие дифракцию света на наклонном акустическом пучке. Автор вводит новые параметры – коэффициенты уширения частотного и углового диапазонов АО взаимодействия, описывающие влияние сноса акустического столба. Для варианта изотропной дифракции в режиме Брэгга получены

аналитические выражения для коэффициентов уширения. Приведено описание разработанного в ходе работы над диссертацией программного комплекса, включающего в себя несколько подпрограмм для решения задач анизотропной АО дифракции.

Во второй главе представлено подробное рассмотрение вопроса влияния сноса акустической энергии на характеристики АО взаимодействия на примере кристалла парателлуриата. Рассчитаны угловые и частотные характеристики АО взаимодействия в широком диапазоне брэгговских углов и частот ультразвука для трех различных срезов кристалла и различных поляризаций падающего света. Все расчеты проведены для двух случаев: в случае присутствия сноса акустической энергии и без него. Результаты численных расчетов были подтверждены в серии экспериментов по измерению частотных и угловых характеристик в АО ячейки из 10.5° -го среза кристалла парателлуриата. Построены зависимости введенных коэффициентов уширения частотного и углового диапазонов АО взаимодействия от частоты ультразвука для широкого диапазона рабочих точек, что позволило количественно проанализировать влияние сноса акустической энергии на характеристики АО дифракции. Минимальное значение оказалось равным – 0.059 (сужение диапазона работы в 17 раз), а максимальное – 2, т.е. уширение диапазона взаимодействия в 2 раза. Проведено исследование особенностей поведения коэффициентов уширения и дано качественное объяснение наблюдаемых эффектов.

В третьей главе рассмотрено влияние сноса акустической энергии на АО взаимодействия в кристалле теллура, который обладает более низким уровнем симметрии кристаллической решетки. Это позволило проанализировать влияние не только величины сноса акустической энергии, но и направления этого сноса. Для четырех срезов в главных плоскостях кристалла были рассчитаны акустические характеристики, коэффициенты АО качества, проанализированы частотные зависимости углов Брэгга и построены зависимости коэффициентов уширения для различных рабочих точек во всем выбранном диапазоне частот ультразвука и углов Брэгга. Обнаружены срезы, обладающие большой симметрией АО свойств и отличающиеся только направлением сноса акустической энергии. Продемонстрировано, что знак угла сноса кардинальным образом влияет на характеристики АО дифракции. Предложено правило выбора этого знака для АО ячеек.

Четвертая глава посвящена изучению дифракции светового пучка с ограниченным пространственным спектром на наклонном акустическом пучке. Рассмотрено влияние сноса акустической энергии на передаточные функции АО ячеек, изготовленных из кристалла парателлуриата и теллура, что позволило проанализировать влияние знака угла сноса. Обнаружено, что акустический снос может приводить как к увеличению, так и к уменьшению интегральной эффективности дифракции.

В пятой главе описанный в диссертации метод решения АО задач используется для

описания АО взаимодействия света с периодически неоднородным акустическим полем. Такое поле может быть создано при помощи фазированной решетки пьезопреобразователей, в работе рассмотрено только лишь противофазное возбуждение звука. Получены аналитические рекуррентные соотношения, позволяющие рассчитать дифракционный спектр на выходе из такой системы. Показано, что в этом случае возникают, так называемые, оптимальные углы падения света, при которых эффективность АО взаимодействия может достигать 100%. Зависимость оптимальных углов падения от частоты ультразвука существенно отличается от частотной зависимости углов Брэгга, что представляет большой интерес для решения прикладных задач акустооптики. В работе показано, что при определенном подборе параметров фазированного пьезопреобразователя и среза анизотропного кристалла можно обеспечить эффективную дифракцию неполяризованного оптического излучения в один дифракционный максимум. Это открывает возможность создания приборов для управления неполяризованным излучением.

В заключении сформулированы наиболее важные из полученных в диссертационной работе результатов.

Указанные выше результаты исследования А.С. Волошина составляют **научную новизну** диссертационной работы. **Достоверность** полученных в диссертации результатов, **обоснованность** сформулированных автором выводов сомнений не вызывает, поскольку базируется на строгой постановке задач и подтверждается согласием теоретических результатов с экспериментальными данными как самого автора, так и известными из научной литературы. **Практическая ценность** результатов диссертационной работы также несомненна; они могут найти применение при модификации уже существующих типов АО устройств, а также при разработке устройств нового типа.

К основным результатам диссертационной работы А.С. Волошина можно отнести следующее:

1. Рассмотрена задача дифракции света на наклонном акустическом столбе. Для случая изотропной брэгговской дифракции получены аналитические выражения для диапазона АО взаимодействия. Введены коэффициенты уширения для частотного и угловых диапазонов, позволяющие оценить влияние сноса акустической энергии на характеристики дифракционного спектра.

2. Влияние сноса было проанализировано для различных срезов кристаллов парателлурита и теллура для большого диапазона углов падения света и частот ультразвука. Показано, что снос неоднородным образом влияет на характеристики АО дифракции, приводит как к сужению, и так и к уширению диапазона АО взаимодействия. Обнаружено, что кроме самого значения акустического сноса, его направление также является важным параметром АО устройства.

3. Проведено анализ АО взаимодействия в акустическом поле, возбуждаемом антифазной

решеткой пьезопреобразователей. Показано, что антифазная решетка приводит к расщеплению угловых характеристик. В результате появляются области углов падения света и частот ультразвука, в которых падающий свет обеих собственных поляризаций дифрагирует в один порядок, что открывает возможности создания АО приборов для управления неполяризованным светом.

По работе А.С.Волошина можно сделать следующие замечания. Известно, что большинство материалов с сильной акустической анизотропией демонстрируют на высоких частотах значительные частотнозависимые акустические потери, причем теллур и парателлурит входят в их число. В этой связи было бы полезно на приведенных в работе графиках, описывающих угловые или частотные зависимости, отмечать области больших акустических потерь. Их учет при расчете и конструировании АО приборов заметно скажется на амплитудно-частотных характеристиках.

Использование фазированной решетки пьезопреобразователя (глава 5) для управления неполяризованным излучением, интересное в теоретическом плане, вряд ли будет востребовано на практике из-за наличия более простых решений.

Сделанные замечания не влияют на общую высокую оценку диссертации, представляющей собой оригинальное исследование, выполненное на высоком научном уровне. Результаты работы диссертанта известны специалистам, работающим в области акустооптики, радиофизики и оптоэлектроники. А.С.Волошин неоднократно выступал с докладами на ведущих отечественных и зарубежных конференциях. Результаты исследования собраны в 24 печатных работах, из них 7 – в рецензируемых изданиях из списка ВАК РФ. Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертационной работы могут найти применение в научных исследованиях и опытно-конструкторских разработках, проводимых на физическом факультете Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, в ИРЭ РАН, ГОИ им. С.И.Вавилова, НТЦ уникального приборостроения РАН, Институте автоматики и электрометрии СО РАН, Физико-техническом институте им. А.Ф.Иоффе РАН, ТУСУР (Томск), Институте космических исследований РАН и других организациях.

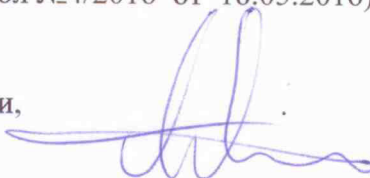
Заключение

На основании изложенного считаем, что по объему выполненных исследований, новизне предложенных подходов, значимости полученных результатов диссертация А.С.Волошина полностью удовлетворяет требования п.п. 9, 10, 11 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор заслуживает присуждения ему искомой степени по

специальности 01.04.03 – радиофизика.

Диссертация и отзыв обсуждены и одобрены на заседании секции НТС «Твердотельные лазеры, элементы и приборы» АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», состоявшемся 18 мая 2016 года (протокол №4/2016 от 18.05.2016).

Начальник акустооптической лаборатории,
доктор технических наук, с.н.с.



Магдич Л.Н

Ученый секретарь,
к.ф.-м.н., с.н.с.



Кротов Ю.А.

Организация: АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха»

Адрес: 117342 г. Москва ул. Введенского, д.3, корп. 1

Тел\факс: (495) 330-03-65

E-mail: bereg@niipolyus.ru

Сайт: <http://www.polyus.info/>