

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Буримова Николая Ивановича

«Динамические голограммы, упругие поля и акустические волны
в фоторефрактивных пьезокристаллах»,

представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических
наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика

Диссертационная работа **Буримова Николая Ивановича** посвящена развитию общего подхода к анализу динамических голограмм и акустических волн в фоторефрактивных кристаллах, обладающих пьезоэлектрическим эффектом, и детальному исследованию эффектов, в которых проявляется связь электрических и упругих полей. Кроме того, в диссертации рассматриваются задачи, связанные с использованием исследованных эффектов для акустоэлектроники, фоторефрактивной нелинейной оптики, динамической голографии и адаптивной голографической интерферометрии.

Фоторефрактивные кристаллы, в которых по условиям симметрии может существовать пьезоэффект, используются для создания динамических голограмм, которые позволяют создавать устройства для хранения, записи и считывания информации, для управления световыми пучками и обработки оптических сигналов. Хотя основные физические эффекты формирования динамических голограмм достаточно хорошо исследованы, те вклады в фоторефрактивные решетки, которые обусловлены присутствием пьезоэффекта, могут существенно изменить представление о физике процессов и привести к необходимости их учета, особенно если речь идет о возможных применениях. Именно комплексность поставленной задачи, которая требует всестороннего анализа всех процессов формирования динамических голограмм и определяет **актуальность избранной темы диссертации.**

Всесторонний теоретический анализ рассматриваемых физических процессов с максимально возможной степенью получения результата в аналитической форме, последующее численное моделирование, выбор адекватных моделей, основанный на грамотном анализе результатов предыдущих работ, проведение экспериментальных исследований с последующим сравнением результатов, полученных аналитически, с помощью компьютерного моделирования и физического эксперимента, свидетельствует **об обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации,**

Новизна полученных результатов связана с тем, что в работе реализован системный подход к описанию электрооптических, фотоупругих и пьезоэлектрических эффектов в фоторефрактивных средах, который позволяет не

только учитывать более тонкие эффекты взаимодействия волн, но и позволяет предложить новые физические механизмы для создания устройств записи, хранения и считывания информации, обработки не только оптических, но и электрических сигналов, для систем адаптивной голографической интерферометрии.

Достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций следует из точного анализа описываемых явлений, основанного как на построении моделей, аналитических решений, выборе необходимых методов численного моделирования, выборе и создании новых экспериментальных методов, а также сравнении результатов диссертации с результатами, полученными другими авторами.

Полученные результаты имеют не только **научную**, но и **практическую значимость**, поскольку они направлены на детальное исследование тех эффектов, которые способствуют использованию фоторефрактивных сред для практического применения. Они могут **найти применение** не только для систем обработки информации, но и для создания датчиков нового типа.

К основным научным и практическим результатам диссертационного исследования Н.И.Буримова можно отнести следующее:

Анализ упругих и электрических полей, создаваемых акустическими волнами и световыми пучками в фоторефрактивных пьезокристаллах. Экспериментально продемонстрированное возбуждение продольных волн с поверхности (001) кристалла $Ba_2NaNb_5O_{15}$ за счет нормальных к данной поверхности противофазных компонент электрического поля, создаваемых в зазоре щелевого пьезопреобразователя на краях его электродов.

Разработанный подход к теоретическому анализу широкополосного возбуждения поверхностных акустических волн рэлеевского типа торцевыми и квазипланарными пьезопреобразователями, основанный на использовании соотношений ортонормировки и распределений упругих и электрических полей поверхностных акустических волн. Выполненные исследования акустоэлектронных и акустооптических радиокомпонентов с торцевыми и квазипланарными пьезопреобразователями и разработанные устройства обработки широкополосных радиосигналов на их основе.

Развитый подход к анализу закономерностей формирования упругих и электрических полей динамических голограмм в приграничных областях полуограниченных фоторефрактивных пьезокристаллов при диффузионном, дрейфовом и фотогальваническом механизмах разделения заряда. Продемонстрированная возможность реализации голографических устройств, использующих в своей работе принцип энергообмена между взаимодействующими световыми волнами, на основе кристаллов силленитов среза (001) с приграничной областью, имеющей повышенную по отношению к объему темновую

проводимость, с приложением к кристаллу постоянного внешнего поля, направленного вдоль кристаллографического направления [110].

Развитый подход к анализу встречного взаимодействия световых волн в фоторефрактивных пьезокристаллах со сложной структурой дефектных центров, учитывающий анизотропию электрооптического и фотоупругого вкладов в фазовую модуляцию оптических свойств среды полем пространственного заряда и ее абсорбционную составляющую, эффекты поглощения света и истощения накачки. Экспериментально исследованное состояние поляризации сигнальной волны, которая взаимодействует с циркулярно поляризованной волной накачки, на отражательных голографических решетках в кристаллах титаната висмута срезов (112), (111) и (1 10).

Демонстрация на основе теоретической модели и экспериментальных исследований того, что наблюдаемые экспериментально в нелегированном кристалле титаната висмута среза (100) изменения в эффективном коэффициенте двухпучкового усиления, связанные с влиянием внешней некогерентной подсветки на длине волны 515 нм на формирование отражательной динамической голограммы лазерным излучением с длиной волны 633 нм, обусловлены изменениями как амплитуды, так и знака поля пространственного заряда данной голограммы.

Теоретическая интерпретация экспериментальных температурных зависимостей эффективности встречного взаимодействия световых волн на отражательных голограммах в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca}$ среза (100), формируемых при интерференции опорного пучка с отраженным от выходной грани образца сигнальным пучком.

Теоретический анализ вклада флексоэлектрического эффекта в фоторефрактивный отклик, наблюдаемый при встречном взаимодействии стационарной опорной волны с фазово-модулированной сигнальной волной в фоторефрактивных пьезокристаллах. Демонстрация того, что отражательные голограммы диффузионного типа в фоторефрактивных кристаллах содержат фазовую составляющую, сдвинутую относительно распределения интенсивности света в формирующей интерференционной картине.

Проведенные экспериментальные исследования, которые демонстрируют возможность применения принципов голографической интерферометрии, основанной на встречном взаимодействии световых волн на отражательных фоторефрактивных голограммах в кристаллах класса силленитов среза (100), для измерений параметров механических колебаний отражающих объектов.

Н.И. Буримов по теме диссертации опубликовал 86 работ, из них 3 статьи опубликованы в зарубежных журналах, индексируемых в системе «Web of Science», 18 статей в прочих журналах, включенных в Перечень ВАК. Результаты

работы содержатся в 2 патентах, монографии и широко обсуждались на различных конференциях, включая 11 зарубежных.

Опубликованные работы содержат основные результаты диссертации Н.И. Буримова, которые широко известны специалистам.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

В диссертационной работе можно отметить следующие **недостатки**:

В работе показано, что сложная структура электрических и упругих полей динамической голограммы вблизи границ фоторефрактивного пьезокристалла приводит к образованию поверхностного рельефа. Высота рельефа по оценкам не превосходит 0,1 нм, размер же элементарной ячейки порядка 1 нм (10 ангстрем), а для получения результата использовались уравнения механики сплошной среды. Хотя результаты расчета совпадают с ранее полученными экспериментальными данными, необходимо обсуждение применимости модели сплошной среды.

В диссертационной работе для определения состояния поляризации волн использовался метод, включающий только использование поляризатора как анализатора. Этот метод не позволяет определить знак циркулярной или эллиптической поляризации, хотя в тексте однозначно утверждается, что циркулярная поляризация является левой или правой без ссылки на то, как это определялось.

На стр. 245 предполагается, «что в исследованных кристаллах титаната висмута наряду с присущим силленитам циркулярным двулучепреломлением, имеет место слабое линейное двулучепреломление», хотя присутствие двулучепреломления можно легко проверить в кристалле, в котором решетка не записана.

На стр. 95 в подписи к рисунку 1.15 (Траектории распространения пучка со спекловой структурой ($\lambda_0 = 633$ нм, $\Delta\theta_f = 0.076$) в кристалле BaTiO_3 при различных углах падения пучка φ_0 на входную грань кристалла.) кривые на рисунке не обозначены в подписи к рисунку.

На стр. 178 в тексте «Соответствующие распределения упругих полей для данных голограмм приведены выше на рисунке 3.3. Из рисунка видно, что возмущения тензора диэлектрической проницаемости вблизи границы кристалла имеет сложную структуру, значительно отличающуюся от существующей в объеме кристалла.» в неявном виде дана ссылка на рис 3.3, на котором представлена структура упругих полей фоторефрактивной голограммы.

На стр. 239, 241 и других наряду с термином «поляризационное состояние» используется понятие «поляризационная структура» волны. Под поляризационной

структурой обычно понимают неоднородное распределение поляризации по сечению пучка, в диссертации такие исследования не проводились.

Перечисленные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Н.И. Буримова. Диссертация Н.И. Буримова является научно-квалификационной работой, в которой в соответствии с требованиями п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, проведены теоретические и экспериментальные исследования, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика».

Официальный оппонент
заведующая лабораторией нелинейной оптики
Института электрофизики Уральского отделения РАН,
доктор физико-математических наук (01.04.05 – Оптика),
профессор по специальности «Оптика»



Кундикова Наталия Дмитриевна
тел.: +7 (351) 267-91-37,
e-mail: kundikovand@susu.ru

24 ноября 2016 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук (620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, 106, тел.: +7(343) 267-87-96, e-mail: admin@ier.uran.ru, <http://www.ier.uran.ru>)

Подпись заведующей лабораторией нелинейной оптики,
доктора физико-математических наук
Наталии Дмитриевны Кундиковой подтверждаю:

Ученый секретарь ИЭФ УрО РАН




Е.Е. Кокорина