

## Отзыв

**официального оппонента на диссертационную работу Крука Александра Александровича «Структурный беспорядок и оптические процессы в кристаллах ниобата лития с низким эффектом фоторефракции», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 –Физика конденсированного состояния».**

Монокристаллы ниобата лития представляют собой уникальный материал, перспективный для многих приложений, связанных с сегнетоэлектрическими, пьезоэлектрическими, нелинейно-оптическими, акусто-оптическими и электро-оптическими свойствами. Главная особенность этого кристалла состоит в существовании в ниобате лития аномально большой спонтанной поляризации ( $P_s = 5 \times 10^{-5}$  Кул/см<sup>2</sup>), существующей в широкой области температур: температура перехода в параэлектрическое состояние составляет 1210 С. Важным свойством кристаллов ниобата лития является также аномально высокое значение эффективного сечения комбинационного рассеяния света ( $\sigma \approx 10^{-26}$  см<sup>2</sup>). Такая особенность открывает возможность для наблюдения вынужденного комбинационного рассеяния света с многочастотным преобразованием возбуждающего лазерного излучения в видимом и инфракрасном спектральном диапазонах.

Как выяснилось в результате экспериментальных исследований в кристаллах ниобата лития наблюдается эффект фоторефракции, называемый также фотоиндуцированным рассеянием света (ФИРС). Экспериментальные исследования показали, что эффект ФИРС существенным образом зависит от состава ниобата лития, а также от присутствия различных примесей и дефектов в кристаллической решётке этого соединения.

Эффективное использование монокристаллов ниобата лития в качестве оптического элемента существенным образом зависит от характеристик ФИРС в конкретных образцах. Таким образом, возникает задача установления особенностей явления фоторефракции в различных типах образцов ниобата лития, отличающихся типом введённых примесей и присутствующих в объёме образца дефектов. До настоящего времени систематических исследований для решения такой задачи не проводилось.

В диссертационной работе Крука Александра Александровича была поставлена цель исследовать закономерности ФИРС в кристаллах ниобата лития, отличающихся по составу и количеству специально вводимых примесей различными методами. Таким образом, задача, решаемая в

диссертационной работе Крука А.А. является весьма актуальной как с научной, так и с практической точек зрения.

Для решения поставленной задачи диссертантом были выполнены систематические исследования по трём направлениям. Были установлены пространственные и временные характеристики индикатрисы рассеяния в монокристаллах ниобата лития, отличающихся составом, а также присутствием в объёме образцов специально вводимых примесей: Gd, Mg, Ta, Zn, V, Cu, Y, Mg. Были использованы три метода для характеристики процессов фоторефракции в исследованных образцах: исследования пространственного распределения рассеянного в монокристаллах ниобата лития лазерного излучения с различными длинами волн и при различных температурах образцов; исследования закономерностей спонтанного комбинационного рассеяния света при различных поляризационных установках монокристаллов; исследования вида коноскопических фигур. Измерения характеристик рассеянного в монокристаллах ниобата лития излучения проводилось на современных лазерных установках с достаточно высокой точностью. Высокий уровень используемой спектральной и измерительной аппаратуры и детектирующих устройств свидетельствует о надёжности и достоверности полученных экспериментальных результатов. Оригинальность выполненных исследований обеспечена использованием специально подготовленных монокристаллов высокого качества со специально вводимыми примесями различных типов.

В результате выполненных экспериментальных исследований были получены следующие научные результаты.

Было установлено, что все изученные монокристаллы различного состава и легированные различными примесями можно разбить на три группы. В первой группе кристаллов ( $\text{LiNbO}_3\text{:Gd-0.51}$  вес %;  $\text{LiNbO}_3\text{:Mg-0.078}$  вес %;  $\text{LiNbO}_3\text{:Fe-0.036;Mg-0.086}$  вес %;  $\text{LiNbO}_3\text{:Gd-0.2;Mg-0.75}$  вес %;  $\text{LiNbO}_3\text{:Ta-113;Mg-0.011}$  вес %;  $\text{LiNbO}_3\text{:Zn-0,03}$  вес %.) эффект фоторефракции существенно подавлен. При этом индикатриса ФИРС несущественно изменяется со временем и мало отличается от индикатрисы рассеяния в однородном оптическом материале. Для второй группы образцов монокристаллов ниобата лития ( $\text{LiNbO}_3$  – конгруэнтный состав;  $\text{LiNbO}_3\text{:V-0.12}$  вес %;  $\text{LiNbO}_3\text{:Cu-0.015}$  вес %;  $\text{LiNbO}_3\text{:Zn-0.62}$  вес %;  $\text{LiNbO}_3\text{: Ta-113;Mg-0.011}$  вес %;  $\text{LiNbO}_3\text{:Zn-0,03}$  вес %.) наблюдается отчётливый эффект ФИРС, сопровождающийся изменением индикатрисы за время 10 с. Для третьей группы образцов ( $\text{LiNbO}_3\text{:Y-0.46}$  вес %;  $\text{LiNbO}_3\text{:Y-0.24; Mg-0.63}$  вес %; ) наблюдается существенное искажение индикатрисы рассеяния света по сравнению с однородными образцами типа плавленого кварца. Таким образом, получен важный научный и практический результат о том, что

характеристиками ФИРС можно управлять изменением состава легирующих примесей. В частности, можно добиться существенного подавления эффекта фоторефракции, что необходимо для обеспечения условий синхронизма при генерации оптических гармоник, при параметрическом рассеянии света, а также для генерации продольных или поперечных волн в вынужденном комбинационном рассеянии в кристаллах ниобата лития.

На основе детальных исследований спектров спонтанного комбинационного рассеяния (КР) света в легированных и исходных образцах монокристаллов ниобата лития было обнаружено, что в условиях существования ФИРС наблюдаются запрещённые правилами отбора линии. Было показано, что в скрещенной поляризационной геометрии, для которой в спектре КР должны проявляться только Е-оптические моды, обнаруживается  $A_1$ - мода, которая должна проявляться лишь для параллельной ориентации поляризатора и анализатора при регистрации спектров.

Таким образом, установлена количественная характеристика эффекта фоторефракции. Как выяснилось в результате выполненных экспериментов в легированных образцах ниобата лития, обнаруживающих сильную фоторефракцию, в спектрах спонтанного КР появляется запрещённая правилами отбора псевдоскалярная мода типа  $A_2$ . Особенность такой моды состоит в том, что она является «тихой», т.е. запрещена правилами отбора как в КР, так и в спектрах инфракрасного поглощения. Другая важная закономерность, установленная в спектрах КР, состоит в подавлении эффекта фоторефракции при нагревании кристаллов. В этом случае оптические неоднородности, возникающие вследствие фоторефракции, рассасываются вследствие увеличения амплитуды тепловых колебаний кристаллической решётки. Анализ спектров КР в легированных кристаллах ниобата лития, выполненный автором диссертации, подтвердил результаты, полученные при исследованиях индикатрисы ФИРС. Таким образом, в диссертации установлена возможность количественного анализа процессов фоторефракции в кристаллах ниобата лития и найдены пути как повышения интенсивности ФИРС, так и устранения фоторефракции за счёт введения определённых типов примесей, а также путём нагревания образцов ниобата лития.

Основные научные результаты и выводы, представленные в диссертации хорошо обоснованы как с экспериментальной, так и с теоретической точек зрения. Это свидетельствует об их достоверности и научной значимости.

Практическая значимость работы Крука А.А. состоит в создании новых типов образцов ниобата лития, перспективных для приложений. В частности,

создание легированных монокристаллов ниобата лития с существенно пониженной эффективностью ФИРС открывает возможность для их более широкого использования в приборах по генерации оптических гармоник, в параметрических генераторах инфракрасного излучения, а также в устройствах преобразования частоты лазерного излучения на основе явления вынужденного КР.

Остановимся на некоторых недостатках, присутствующих в диссертационной работе Крука А.А.

1. В диссертации недостаточно чётко сформулированы микроскопические механизмы процессов ФИРС и модели влияния на эффективность фоторефракции различных типов примесей. В связи с этим остаётся неясным влияние типа примесей и их концентраций на характеристики ФИРС.

2. В диссертации не проводится анализ особенностей рассеяния света при направлениях возбуждающего и рассеянного излучения вдоль полярной оси: при  $Z(XX)Z$ ;  $Z(YY)Z$  (рассеяние «вперёд») и  $Z(XX)\underline{Z}$   $Z(YY)\underline{Z}$  (рассеяние «назад») геометриях. В соответствии с правилами отбора, в этом случае при КР возбуждаются продольные полярные моды типа  $A_1$ , исследование которых представляет большой интерес для вынужденного комбинационного рассеяния. Ожидается также, что для этой поляризационной геометрии эффект фоторефракции должен быть несущественным, но экспериментальные данные по этому вопросу практически отсутствуют.

3. В автореферате имеются опечатки, например, на стр. 13

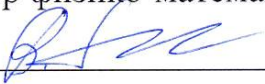
В целом, несмотря на отмеченные недостатки, диссертационная работа является целенаправленным научным исследованием, вносящим важный вклад в физику сегнетоэлектрических кристаллов и представляющим несомненную научную ценность для создания новых оптических и нелинейно-оптических приборов и устройств.

Результаты данной диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях и доложены на научных конференциях. Автореферат диссертации хорошо отражает её содержание и составлен в соответствии с правилами ВАК Российской Федерации.


Таким образом представленная работа Крука А.А. актуальна, обладает научной новизной, имеет важное практическое значение и отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям " в редакции Постановления №842 Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. о порядке присуждения ученых степеней" ВАК РФ, а ее автор, Крук Александр Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-

математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния».

14.05.2015 г.

Заслуженный деятель науки Российской Федерации,  
заведующий лабораторией ФИАН,  
доктор физико-математических наук,  
профессор  Горелик В.С.



Подпись руки В.С. Горелика заверяю.  
Учёный секретарь ФИАН,  
доктор физико-математических наук  
 (Н.Г. Полухина)

ФИО официального оппонента: Горелик Владимир Семенович

Ученая степень: доктор физико-математических наук

Специальность: 01.04.05. Оптика

Почтовый адрес: 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53

Телефон: 8(499) 135-78-80, 8(499) 132-67-68

Адрес электронной почты: [gorelik@sci.lebedev.ru](mailto:gorelik@sci.lebedev.ru)

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н.Лебедева Российской академии наук

Ученое звание: профессор. Должность: заведующий лабораторией