

СПЕКТРАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ФОТООТКЛИКА В СЭНДВИЧНОЙ СТРУКТУРЕ МЕТАЛ-СЕГНЕТОЭЛЕКТРИК-МЕТАЛЛ

Виноградова П.В.¹, Брюханова Т.Н.², Иванов В.И.¹, Ливашвили А.И.¹

¹ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Хабаровск, Россия (680021, Хабаровск, ул. Серышева, 47), e-mail: tmeh@festu.khv.ru

²ФГБОУ ВПО Тихоокеанский государственный университет (680035 Хабаровск, Тихоокеанская, 136)

Известно аномально сильное влияние диффузии материала электродов на фотогальванический эффект в кристаллах ниобата лития. В данной работе представлено исследование спектральной зависимости фотоотклика в несимметричной системе металл-сегнетоэлектрик-металл в области видимого и ближнего инфракрасного диапазонов. Обнаружена резкая спектральная зависимость стационарного фотоотклика со сменой знака в области 1 мкм. Явление объясняется наличием поглощения в объеме кристалла, так как тонкие электроды частично пропускают излучение. Смена знака сигнала и его рост в сторону коротких волн вызваны наличием фотогальванического и термовольтаического эффектов, имеющих разные знаки. Данный факт подтверждается исчезновением спектральной зависимости фотоотклика при нанесении поглощающего покрытия на приемную площадку. Полученные результаты можно использовать при анализе фотоиндуцированных явлений в сегнетоэлектрических материалах, а также при интерпретации экспериментальных результатов по изучению термоэлектрических свойств слоистых полупроводниковых структур.

Ключевые слова: фотогальванический эффект, термовольтаический эффект, ниобат лития.

A SPECTRAL DEPENDENCE OF PHOTO-RESPONSE IN A METAL-FERROELECTRIC-METAL SANDWICH STRUCTURE

Vinogradova P.V.¹, Bryukhanova T.N.², Ivanov V.I.¹, Livashvily A.I.¹

¹Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia, e-mail: tmeh@festu.khv.ru

²Asia-Pacific State University, Khabarovsk, e-mail: livbru@mail.ru

It is known an abnormally strong impact of the electrodes material diffusion on the photovoltaic effect in lithium niobate crystals. In this paper we study the photo-response spectral dependence in the asymmetric metal-ferroelectric-metal system in the visible and near-infrared ranges. We found the sharp spectral dependence of the stationary photo-response with a sign change near 1 μm wavelength. The phenomenon is registered due to the acquisitions in the volume of crystal, as thin electrodes partially pass radiation. The signal character change and its growth toward the short waves are caused by the presence of photovoltaic and thermovoltic effects with different characters. This fact is confirmed by the disappearance of the photo-response spectral dependence when applying absorbing coatings on the receiving site. The results can be useful when you are analyzing a photo-induced phenomena in ferroelectric materials as well as in the interpretation of experimental results on the study of thermoelectric properties of layered semiconductor structures.

Keywords: photovoltaic effect, thermovoltic effect, lithium niobate.

Исследование фотоэлектрических свойств ниобата лития (НЛ), легированного атомами железа, довольно подробно были изложены в литературе [1-3]. В тонкослойных контактных системах металл-сегнетоэлектрик-металл (МСМ) такие эффекты, как фоторефрактивный, фотовольтаический, электрооптический, пироэлектрический и др. имеют существенные особенности и даже определяются приповерхностной (приэлектродной) областью кристалла.

В работе Канаева и Малиновского (см. обзор [4]) проведено исследование влияния электродов на фотогальванический (ФГ) ток в кристаллах LiNbO_3 . Было выявлено аномально сильное влияние диффузии материала электродов на фотогальванический ток. В работе

показано, что имеющиеся данные лучше согласуются с классическими представлениями о фототоках, т.е. ФГ-ток генерируется на макроскопических неоднородностях.

Авторы предполагают, что дополнительный вклад в стационарные токи при наличии пленки обусловлен ФГ-эффектом, присущим тонкому приэлектродному слою кристалла. В стационарном состоянии ФГ-токи создают на сопротивлениях разности потенциалов и уравниваются токами проводимости. Потенциал, наводимый приэлектродным ФГ-током, оказывается выше потенциала, наводимого исходным ФГ-током, и его величина может превышать 1000 В. Из этого следует, что наблюдаемый дополнительный ток не может быть связан с контактными и градиентными явлениями, поскольку они не могут обеспечить потенциал выше энергии возбуждения носителей (т.е. выше нескольких вольт). Исходя из того, что наводимые приэлектродным ФГ-током поля не превышают максимальных наблюдаемых в LiNbO_3 полей, т.е. 10^5 В/см, авторы получают нижнюю границу толщины (l_0) слоя, где действует приэлектродный ФГ-ток. Его величина оказывается не менее 100 мкм.

Полученные экспериментальные данные показывают, что достаточно легко (проводя диффузионное легирование при относительно невысоких температурах и сравнительно коротких временах) можно в широких пределах менять фотогальванические константы кристаллов. В заключении авторы на основании полученных экспериментальных результатов указывают на возможность больших количественных и качественных изменений свойств кристаллов при диффузионном легировании, что следует учитывать при создании металлических контактов. Асимметрия электропроводности, асимметрия диффузии вещества, генерация под действием света ФГ-тока – обязаны пространственным флуктуациям поляризации и возникновению за счет ΔP_s локальных электрических полей. Поле меняет несимметрично работу выхода из зоны флуктуации и работу выхода перехода через нее.

Цель работы

В связи с этим представляет интерес рассмотрение влияния контактной разности потенциалов на фотогальванический эффект в легированном кристалле ниобата лития. В данной работе представлено исследование спектральной зависимости фотоотклика в несимметричной системе МСМ.

Экспериментальная установка

В световых экспериментах применялся детектор излучения, состоящий из чувствительного элемента – изучаемого кристалла и предусилителя. Излучение поглощалось одним из напыленных электродов образца. Кристалл располагался на специальном кристаллодержателе, снижающем влияние вибропомех (так как кристалл НЛ является

пьезоэлектриком) и обладающими высокими электроизолирующими свойствами. Предусилитель вместе с кристаллом помещался в экранирующий металлический корпус.

При модуляции светового пучка на выходе детектора регистрировался сигнал фотоотклика, состоящий из быстрой (пироэлектрический сигнал) и медленной компонент. Для количественной характеристики квазистационарного фотоотклика был введен коэффициент G_s :

$$G_s = \frac{U_n^{MK} - U_n^0}{P_{пад}}, \quad (1)$$

где: U_n^0 – напряжение на сопротивлении нагрузки R_n при отсутствии света, U_n^{MK} – стационарное значение напряжения на R_n при открытом световом пучке, $P_{пад}$ – мощность падающего на кристалл излучения.

Исследование спектральной зависимости величины квазистационарного фотоотклика проводилось на установке (Рис.1), состоящей из источника света с непрерывным спектром – лампы накаливания с фокусирующим отражателем, набора фильтров, измерителя мощности ИМО – 2Н, собственно детектора, в который ставился изучаемый кристалл. С помощью набора фильтров выделялись участки спектра в диапазоне от 0,5 до 1,5 мкм. Мощность излучения, падающего на кристалл, составляла $1 \div 10$ мВт. Световой пучок фокусировался на напыленную грань кристалла. Площадь светового пятна в фокусе линзы была больше площади кристалла, т.е. измерялся интегральный по площади сигнал фотоотклика.

В эксперименте использовался детектор с кристаллом НЛ Y – среза (0,3 вес.% Fe, электроды Al – Cr, размеры $2 \times 2,5 \times 0,13$ мм³). Параметры предусилителя: $K_{yc} = 21$ в полосе частот $\Delta f = 1,5 \cdot 10^3$ Гц. Результаты измерений представлены на Рис. 2. Коэффициент G_s обладает резко выраженной спектральной зависимостью с обращением знака около $\lambda = 0,9$ мкм.

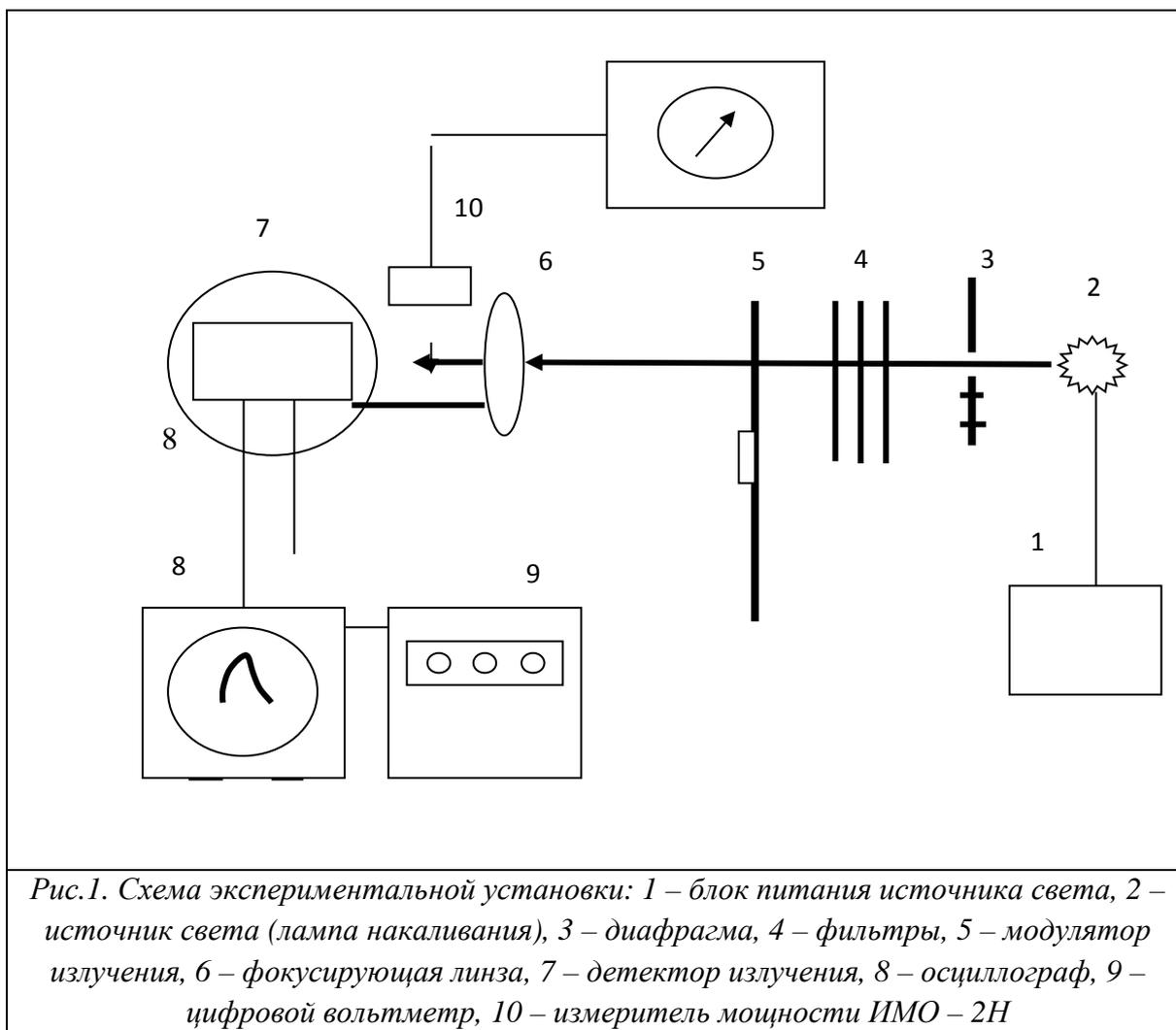


Рис.1. Схема экспериментальной установки: 1 – блок питания источника света, 2 – источник света (лампа накаливания), 3 – диафрагма, 4 – фильтры, 5 – модулятор излучения, 6 – фокусирующая линза, 7 – детектор излучения, 8 – осциллограф, 9 – цифровой вольтметр, 10 – измеритель мощности ИМО – 2Н

С целью проверки спектральной зависимости поглотательной способности напыленного на кристалл электрода были проведены калибровочные измерения. В детектор ставился кристалл танталата лития с аналогичным поглощающим электродом (алюминий). Измерения пироэффекта для данного кристалла выявили очень слабую (в пределах нескольких процентов) спектральную зависимость поглотательной способности электрода в диапазоне $0,5 \div 1,5$ мкм. Отсюда можно сделать вывод, что резкая спектральная зависимость медленных компонент фотоотклика объясняется поглощением в объеме кристалла, т.к. электроды частично пропускают излучение. Наличие объемного поглощения позволяет предположить, что смена знака сигнала и его рост в сторону коротких волн вызваны фотогальваническим эффектом.

На этой же установке были проведены эксперименты по изучению стационарного ФГЭ, его спектральной зависимости; измерению константы Гласса.

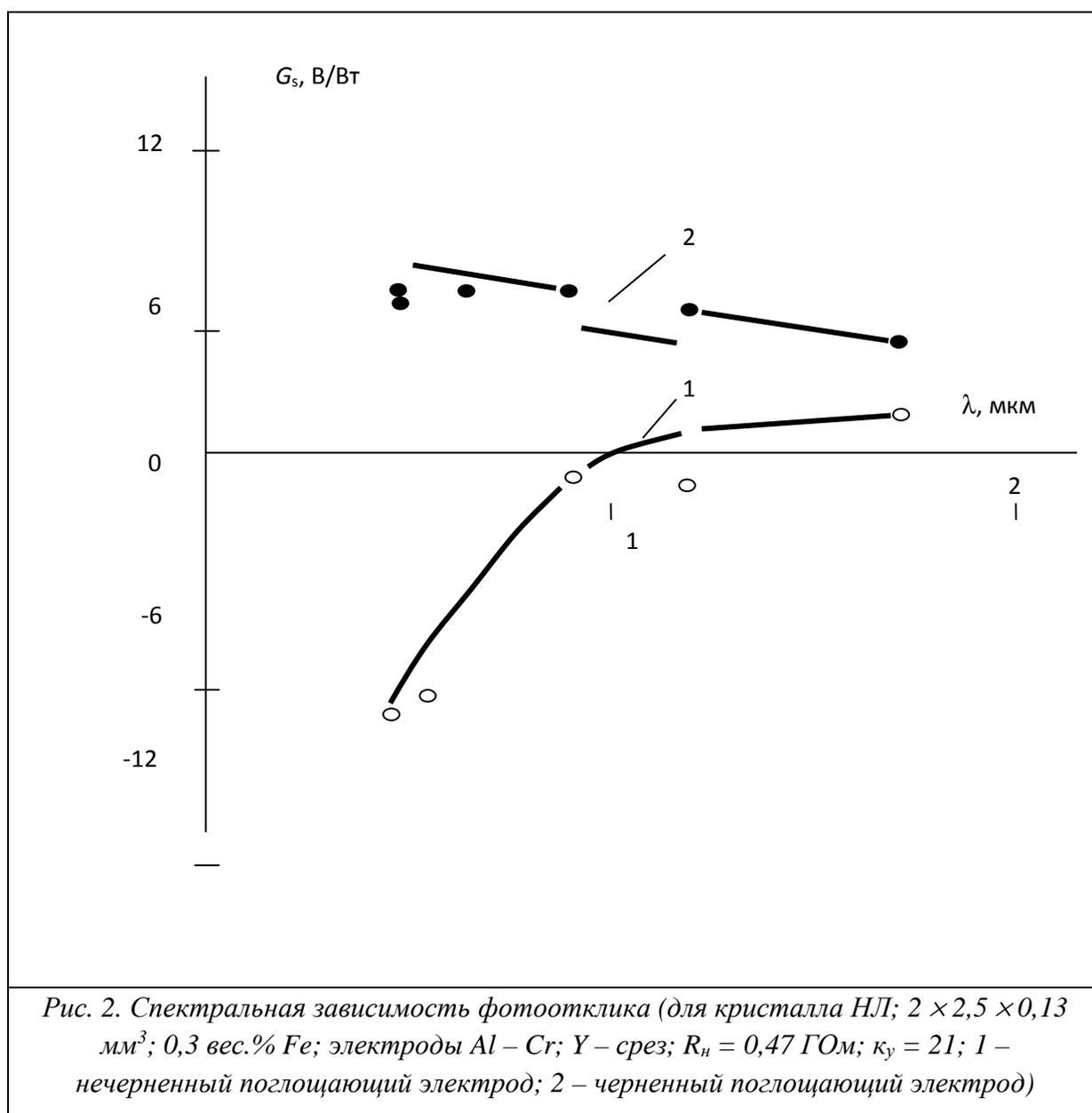


Рис. 2. Спектральная зависимость фотоотклика (для кристалла НЛ; $2 \times 2,5 \times 0,13$ мм³; 0,3 вес.% Fe; электроды Al – Cr; Y – срез; $R_H = 0,47$ ГОм; $\kappa_y = 21$; 1 – нечерненный поглощающий электрод; 2 – черненный поглощающий электрод)

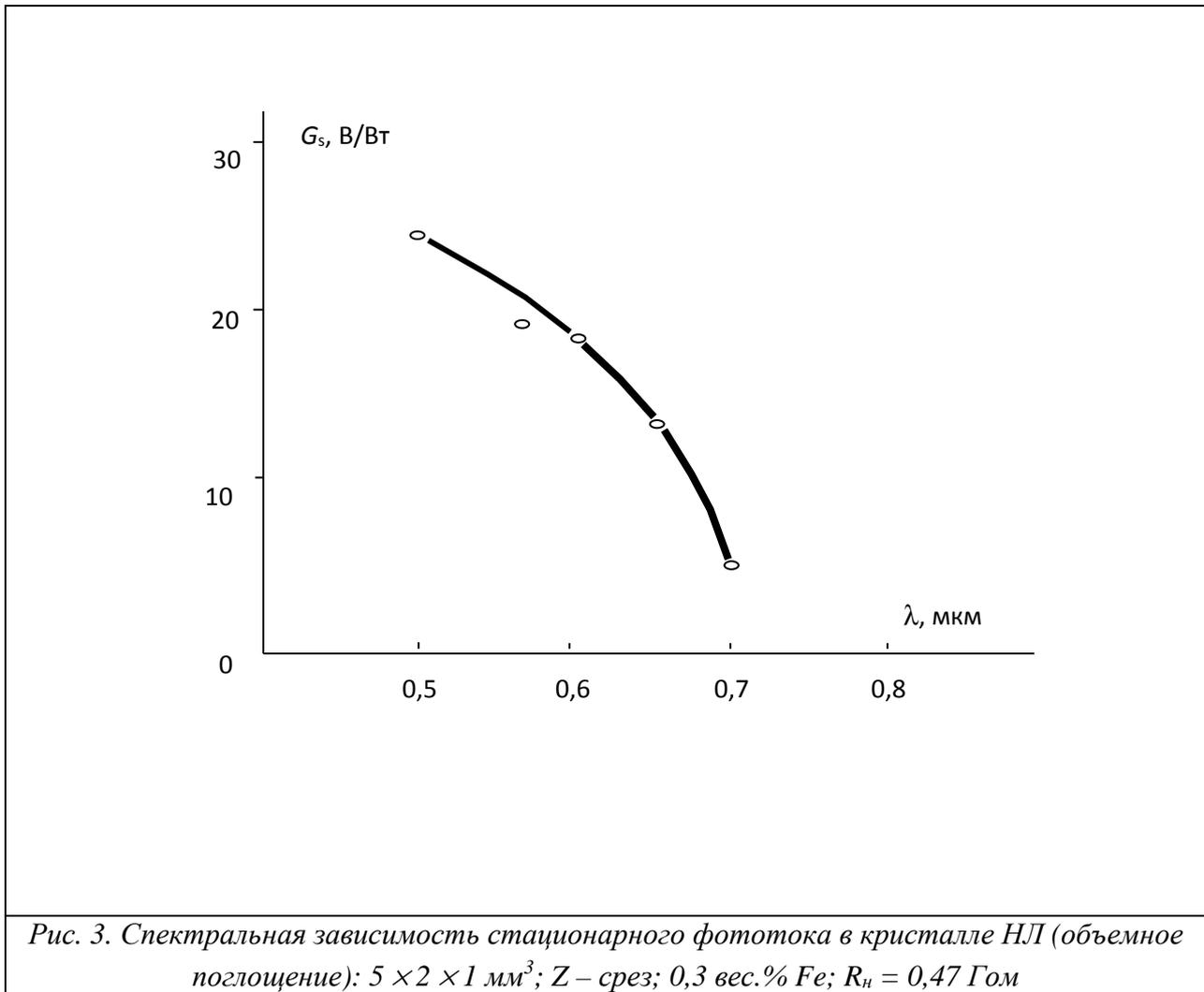
Проведенные оценки константы Гласса в области $0,5 \div 1,5$ мкм согласуются с данными, имеющимися в литературе [21]. Сравнение рис.2 и рис. 3 подтверждает предположение о наличии ФГЭ в кристалле Y – срез, обусловленного, по-видимому, неточностью среза. Оценки дают величину отклонения от чистого Y – срез $\leq 3^0$.

Заключение

Таким образом, из результатов исследования видно, что резкая спектральная зависимость квазистационарного фотоэлектрического отклика в легированных кристаллах LiNbO₃ с электродами из различных металлов обусловлена наличием фотогальванического эффекта и термостимулированной ЭДС, пропорциональной температуре кристалла.

Полученные результаты можно использовать при анализе фотоиндуцированных явлений в сегнетоэлектрических материалах [6-8], а также при интерпретации

экспериментальных результатов по изучению термоэлектрических свойств полупроводниковых структур [8-10].



Список литературы

1. Здоровцев Г.Г., Иванов В.И., Карпец Ю.М., Климентьев С.В. Термоэлектрические свойства несимметричной сэндвичной структуры металл-ниобат лития-металл // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311. – № 2. – С. 102-105.
2. Здоровцев Г.Г., Иванов В.И., Марченков Н.В. Термостимулированная ЭДС в сэндвичной структуре металл–ниобат лития-металл // Информатика и системы управления. – 2005. – № 1 (09). – С. 55-60.
3. Здоровцев Г.Г., Карпец Ю.М., Лебедев В.А. Температурная зависимость электропроводности легированных кристаллов ниобата лития // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9-7. – С. 1512-1516.

4. Иванов В.И. Термостимулированные токи в несимметричной сэндвичной структуре металл – сегнетоэлектрик – металл: монография. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2007. – 67 с.
5. Иванов В.И., Карпец Ю.М., Климентьев С.В. Тепловые приемники излучения на основе тонкослойных структур металл – сегнетоэлектрик – металл: монография; Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2008. – 80 с.
6. Иванов В.И., Карпец Ю.М., Климентьев С.В. Термоэдс в легированных кристаллах ниобата лития с электродами из различных металлов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2001. – № 1. – С. 96-97.
7. Иванов В.И., Климентьев С.В., Корчевский В.В. Использование динамического пирозффекта в термовольтаическом приемнике излучения // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2010. – № 2. – С. 013-018.
8. Карпец Ю.М., Максименко В.А. Фотоиндуцированное рассеяние света в кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{Rh}$ // Оптический журнал. – 2004. – Т. 71. – № 9. – С. 6-7.
9. Карпец Ю.М., Строганов В.И., Марченков Н.В., Емельяненко А.В. Спекл-структура излучения, рассеянного фоторефрактивным кристаллом // Оптика и спектроскопия. – 1989. – Т. 67, № 12. – С. 982.
10. Ivanov V. I., Karpets Yu. M., Klimentev S. V. Thermo-EMF in doped lithium niobate crystals with electrodes made of different metals // Russian Physics Journal. – 2001. – V.44, № 1. –pp. 119-121.

Рецензенты:

Карпец Ю.М., д.ф.-м.н., профессор по кафедре физики, профессор кафедры «Физика и теоретическая механика» ФГБОУ ВПО Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск;

Криштоп В.В., д.ф.-м.н., профессор по кафедре физики, проректор по учебной работе ФГБОУ ВПО Дальневосточный государственный университет путей сообщения Министерства транспорта РФ, г. Хабаровск.