

УДК 535.211

## ПРИЕМНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТОНКОСЛОЙНЫХ СЭНДВИЧНЫХ СТРУКТУР МЕТАЛЛ-СЕГНЕТОЭЛЕКТРИК-МЕТАЛЛ

Лебедев В.А.

ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Хабаровск,  
e-mail: tmeh@festu.khv.ru

Пироэлектрические кристаллы широко используются для регистрации излучения. Такие приемники излучения отличаются высокой чувствительностью и повышенным быстродействием. В тонких сэндвичных системах металл-пироэлектрик-металл может существовать термовольтаический эффект. Для малых частот модуляции излучения величина термовольтаического эффекта в таких системах может превышать пиро- и фотовольтаические отклики. В случае узких по сравнению с размерами кристалла лазерных пучков существенным становятся процессы теплопроводности вблизи краев чувствительного элемента. В данной работе представлено исследование координатной зависимости термовольтаического отклика в системе металл-сегнетоэлектрик-металл. Проведенные эксперименты показывают, что вблизи электродов величина термовольтаического отклика может значительно превышать его значение для объемной части кристалла. Полученные результаты можно использовать для разработки координатно-чувствительных приемников, а также при интерпретации экспериментальных результатов по изучению свойств сэндвичных пироэлектрических структур.

**Ключевые слова:** термовольтаический эффект, координатно-чувствительные приемники, ниобат лития

## PHOTODETECTORS BASED ON THIN-LAYER SANDWICH METAL-FERROELECTRIC-METAL STRUCTURES

Lebedev V.A.

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

Pyroelectric crystals are widely used for registration of the radiation. These photodetectors are characterized by high sensitivity and high temporary characteristics. A thermovoltic effect may exist in thin sandwich metal-pyroelectric-metal systems. The value of the thermovoltic effect can exceed the pyro-and photovoltaic responses for small modulation frequencies in such systems. The processes of thermal conductivity near the edges of the sensor become essential in the case of narrow compared with the size of the crystal laser beams. In this paper we study the thermovoltic response coordinate dependence of the system metal-ferroelectric-metal. Our experiments shows that the magnitude of the thermovoltic response near the electrodes can significantly exceed its value for the crystal volume. The obtained results can be used for the development of coordinate-sensitive detectors, as well as in the interpretation of the experimental results on studying the properties of sandwich pyroelectric structures.

**Keywords:** thermovoltic effect, coordinate-sensitive detectors, lithium niobate

Пироэлектрические приемники являются наиболее часто используемыми тепловыми приемниками излучения. Однако в случае регистрации излучения с низкой частотой модуляции чувствительность пироприемников резко уменьшается. Поэтому актуален поиск других термочувствительных механизмов регистрации излучения. Такие термовольтаические эффекты существуют в сэндвичных системах металл-сегнетоэлектрик-металл. В работах авторов [1-7] обнаружено наличие остаточной поляризации кристалла при напылении в вакууме на грани плоскопараллельного образца электродов из металлов с различной работой выхода. Было высказано предположение, что такое свойство обусловлено электретной природой явления. Наличие контактной разности потенциалов при взаимодействии металла и кристалла приводит к появлению квазистационарного тока непироэлектрической природы. Легированный определенной концентрацией Fe кристалл образует среду с прыжковым типом проводимости. Проводимость в значительной степени зависит от

температуры кристалла. Эта зависимость пропорциональна изменению температуры образца, что позволяет использовать этот эффект для регистрации и измерения излучения для нулевых и инфранизких частот модуляции излучения. Описанный выше эффект можно использовать для регистрации излучения широкого спектрального диапазона [4].

Целью настоящей работы является исследование координатной чувствительности приемника излучения постоянной или медленно меняющейся мощности на основе сэндвичной системы металл-сегнетоэлектрик-металл.

В качестве чувствительного элемента приемника использован легированный кристалл ниобата лития, в котором под действием падающего излучения возникает эдс, благодаря наличию термовольтаического эффекта [1-3].

В световых экспериментах применялся детектор излучения, состоящий из чувствительного элемента – изучаемого кристалла и преусилителя. Излучение поглощалось

одним из напыленных электродов образца, расположенного на специальном кристаллодержателе, снижающем влияние вибропомех и обладающем высокими электроизолирующими свойствами. Предусилитель вместе с кристаллом помещался в экранирующий металлический корпус.

При модуляции светового пучка на выходе детектора регистрировался квазистационарный фототок. Для количественной характеристики квазистационарного фототока использовался коэффициент  $G$ :

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

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. С целью сравнения результатов, полученных при исследовании фотоэлектрического отклика и эффекта термостимулированной ЭДС, были проведены калибровочные измерения квазистационарного тока фотоэлектрического отклика с контролем температуры кристалла. Температура образца измерялась микротерморезистором СТ2–13, укрепленным на кристаллодержателе и находящемся в непосредственном контакте с поверхностью кристалла. Измерение температуры образца при падающей мощности излуче-

ния  $1 \div 10$  мВт составило  $0,1,5^\circ\text{C}$ , что соответствует коэффициенту поглощения приемной площадки  $k \leq 20\%$ .

В экспериментах с использованием в качестве источника излучения He–Ne лазера [0,63 мкм] была обнаружена зависимость коэффициента  $G$  от координаты светового пучка (от того, в какую часть кристалла фокусируется излучение).

Изучение координатной чувствительности проводилось на установке, схема которой показана на рис. 1.

Электроды чувствительного элемента выполнены полупрозрачными из металлов с различной работой выхода, при этом электрод с меньшей работой выхода металла контактирует с входной гранью кристалла, а электрод с большей работой выхода металла – с его выходной гранью.

Детектор устанавливался на координатном столике, позволяющем плавно перемещать кристалл вдоль и поперек лазерного луча. Диаметр светового пятна в фокусе линзы – 300 мкм. Полученная зависимость  $G$  от координаты для кристалла НЛ с 0,3 вес. % Fe дана на рис. 2.

Наличие отрицательного постоянного термовольтаического тока и положительно-увеличивающегося фотовольтаического обеспечивает смену знака результирующего поля при перемещении вдоль полярной оси кристалла.

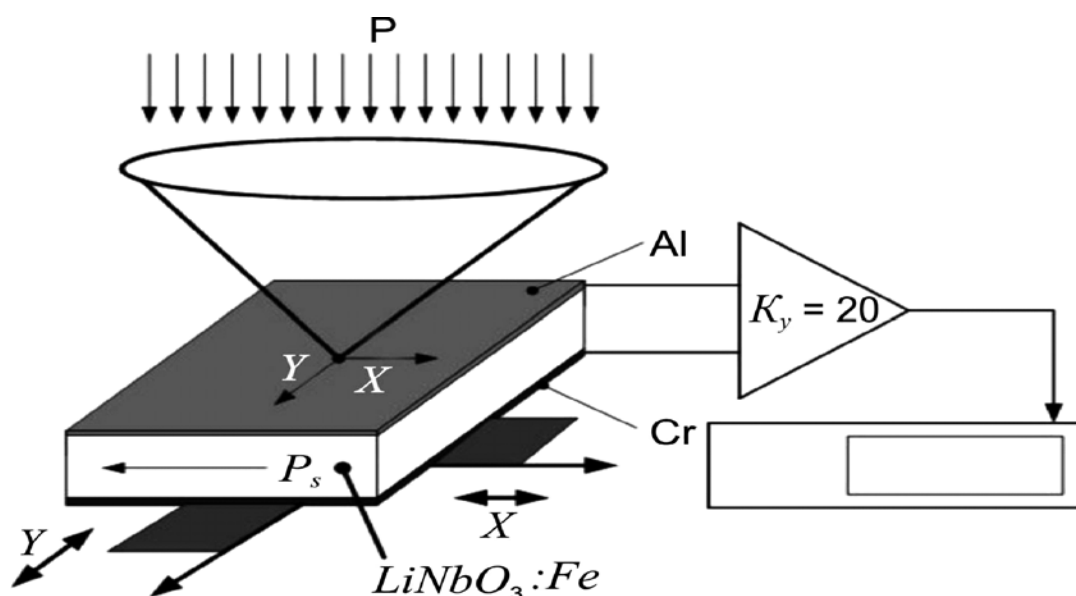


Рис. 1. Измерение координатной чувствительности

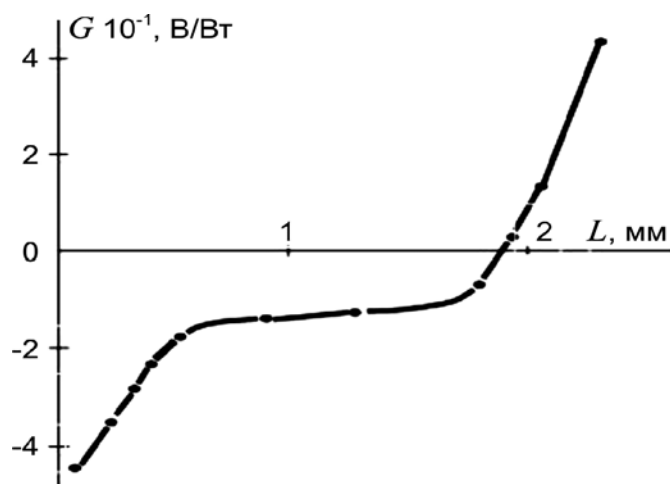


Рис. 2. График зависимости коэффициента  $G$  от координаты пучка лазера падающего на кристалл ( $Y$ -срез;  $2 \cdot 2,5 \cdot 0,13$  мм<sup>3</sup>; электроды  $Al - Cr$ ;  $0,3$  вес. %  $Fe$ ;  $R_{\text{и}} = \infty$ )

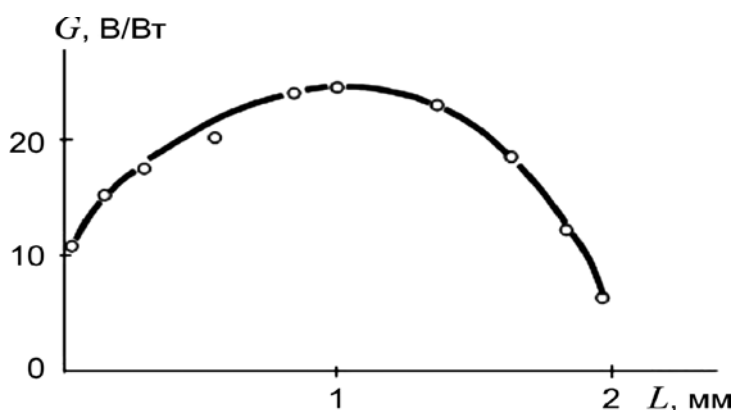


Рис. 3. Зависимость чувствительности от координаты

На торцах кристалла  $G$  достигает наибольшей величины, причем на разных торцах образца  $G$  принимает разные знаки. Такая асимметрия может быть связана с единственным выделенным направлением в кристалле – полярной осью  $Z$ . Зависимость  $G$  в поперечном направлении монотонная (рис. 3).

Выполнение легированного сегнетоэлектрического кристалла с ориентацией полярной оси под углом  $2^\circ - 5^\circ$  к входной грани кристалла приводит во-первых, к созданию фотовольтаического поля и, во-вторых, к перераспределению концентрации носителей заряда при экранировании поля диполей вдоль полярной оси кристалла от минимального значения до максимального, что приводит к увеличению напряженности

фотовольтаического поля вдоль полярной оси от минимума до максимума.

Для определения влияния температурного распределения на координатную зависимость фотоэлектрического отклика регистрировалось температурное поле на поверхности кристалла при облучении сфокусированным пучком излучения. Термограммы поверхности образца, зарегистрированные термографом IRTIS 200 для разных положений пучка показаны на рис. 4 а-б. Несмотря на увеличение максимальной температуры образца вблизи края, проведенные на основании полученных экспериментальных результатов оценки показывают, что данное увеличение не может обеспечить наблюдаемое возрастание чувствительности на краях образца.

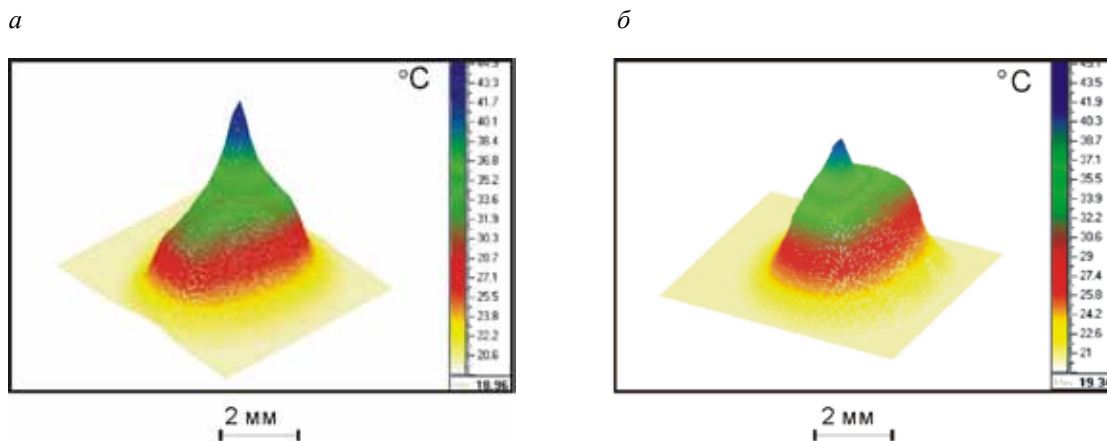


Рис. 4. Распределение температуры по поверхности кристалла ниобата лития при освещении He-Ne лазером: а – угловой край образца,  $T_{max} = 45,59\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; б – середина грани образца),  $T_{max} = 42,14\text{ }^{\circ}\text{C}$

Обнаруженную экспериментально координатную зависимость величины термоиндуцированного тока предлагается использовать для создания координатно-чувствительных приемников излучения.

### Заключение

Таким образом, из результатов исследования видно, что в тонкослойной системе металл-сегнетоэлектрик-металл термовольтаический отклик имеет значительную координатную зависимость, обусловленную вкладом фотогальванического и собственно термовольтаического эффектов. Полученные результаты можно использовать для разработки координатно-чувствительных пироприемников [10], а также при интерпретации экспериментальных результатов по изучению свойств сэндвичных пироэлектрических структур [2-4, 8-10].

### Список литературы

1. Брюханова Т.Н., Иванов В.И., Лебедев В.А., Ливашвили А.И. Координатная чувствительность термовольтаического отклика в легированных сегнетоэлектриках // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2; URL: www.science-education.ru/122-21149.
2. Виноградова П.В., Брюханова Т.Н., Иванов В.И., Ливашвили А.И. Спектральная зависимость фотоотклика в сэндвичной структуре металл-сегнетоэлектрик-металл //

Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2; URL: www.science-education.ru/122-21115.

3. 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.
4. 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.
5. Здоровцев Г.Г., Карпец Ю.М., Лебедев В.А. Температурная зависимость электропроводности легированных кристаллов ниобата лития // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9-7. – С. 1512-1516.
6. Иванов В.И. Термостимулированные токи в несимметричной сэндвичной структуре металл – сегнетоэлектрик – металл: монография; Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2007. – 67 с.
7. 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.
8. 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.
9. Иванов В.И., Климентьев С.В., Корчевский В.В. Использование динамического пироэффекта в термовольтаическом приемнике излучения // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2010. – № 2. – С. 013-018.
10. 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.