

УДК 621.315.592

**ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ПИРОТОК В
МОНОКРИСТАЛЛАХ $Cu_3In_5S_9$** **Л.Г.ГАСАНОВА, С.А.ДЖАХАНГИРОВА, А.З.МАГОМЕДОВ**
Бакинский Государственный Университет
sona_aliqizi@mail.ru

В работе рассматривается влияние неравновесных носителей создаваемых светом и внешним электрическим полем на естественный пироток в монокристаллах $Cu_3In_5S_9$. Исследования проводились при разных температурах. Освещая разные контакты и области, а также меняя значение и направление прикладываемого поля, производилась запись пиротока.

Ключевые слова: поляризация, сегнетоэлектрики, пироток, фазовое превращение.

Ранее исследована естественная поляризация в слоистых монокристаллах $Cu_3In_5S_9$ и установлено, что при прикладывании внешнего электрического поля, пироток увеличивается на два порядка и изменяет свое направление при изменении внешнего поля [1, 2].

Монокристаллы $Cu_3In_5S_9$ вначале закорачивались, затем, в темноте, охлаждались до температуры 120 К без приложения внешнего электрического поля. После этого в интервале температур 220÷120 К, середина образца освещалась светом лампы накаливания мощностью 340 Вт в течение 15 мин и затем производилась запись пиротока (рис. 1, кривая 1). Вычислена естественная поляризация $P_0 = 7 \cdot 10^{-10}$ Кл·см⁻². Из сопоставления полученных результатов видно, что засветка влияет на форму кривых пиротоков больше, чем значение естественной поляризации. Основные изменения происходят в интервале температур 190÷217 К, отчетливо проявляются максимумы при ~ 200 К и 208 К. Как показано в [3], состояние электронной подсистемы сильно влияет на сегнетоэлектрические превращения в сегнетоэлектрических полупроводниках. В $Cu_3In_5S_9$ имеются локальные уровни большой плотности состояний, поэтому следует предположить, что их заполнение приводит к изменению формы кривых пиротока. Для объяснения влияния неравновесных носителей на

поляризацию, учитывая униполярность в кристаллах $Cu_3In_5S_9$, можно предположить, что на торцах кристалла имеются сильно развитые приповерхностные уровни. В реальных условиях обе поверхности не являются идентичными, на одной поверхности сосредоточение поверхностного заряда больше, чем на другой. Наличие поверхностного заряда на торцах приводит к тому, что при переходе в сегнетофазу этот заряд будет способствовать росту поляризации определенного направления. Так как поверхностный заряд одного торца больше, то результирующая поляризация будет направлена к торцу с меньшим поверхностным зарядом. Это направление соответствует направлению естественной поляризации, вследствие чего возникает униполярность. Тот электрод (торец), к которому направлено поле, будем называть «отрицательным» электродом. Изменение заполнения приконтактной области локальных уровней должно влиять на значение и форму пиротока и поляризации. Поэтому был проведен следующий эксперимент. Кристалл $Cu_3In_5S_9$ охлаждался от температуры 300 К до 130 К в отсутствие внешнего электрического поля и при 130 К, в течение 15 минут, освещалась «отрицательная» приконтактная область. Потом образец закорачивался и измерялся темновой пироток (рис. 1, кривая 2). В дальнейшем, цикл повторяется с той разницей, что освещается «положительная» приэлектродная область. Результаты этого эксперимента приведены на рис. 1 (кривые 2, 3). Из рис. 1 видно, что при засветке торца при температуре 205-214 К, соответствующего «отрицательному» электроду, направление поляризации совпадает с направлением естественной поляризации. В остальных областях температуры, засветка образца вызывает пироток, как и в случае освещения середины образца, но значение пиротока в случае освещения торца больше, чем в случае освещения середины образца. Как следует из рис. 1 (кривая 3) при освещении приконтактной области «положительного» электрода значение пиротока уменьшается. Известно, что освещение полупроводников собственным светом приводит к уменьшению изгиба зон и поверхностного заряда. Следовательно, освещение приконтактной области «положительного» электрода должно привести к уменьшению P_0 структуры, а освещение приконтактной области «отрицательного» электрода должно уменьшить вклад противоположных

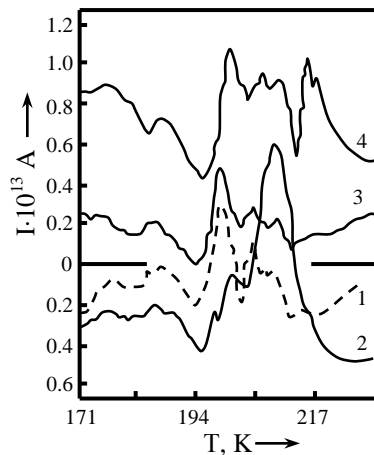


Рис. 1. Температурная зависимость пиротока нагрева $Cu_3In_5S_9$ при зондовом освещении в течение 15 мин. при температуре 130 К. 1-освещена середина кристалла, 2-освещен «отрицательный» электрод, 3- освещен «положительный» электрод, 4-естественная поляризация (темновая).

доменов от «положительного» электрода. Подобные результаты были обнаружены и для *SbSJ* [3, 4].

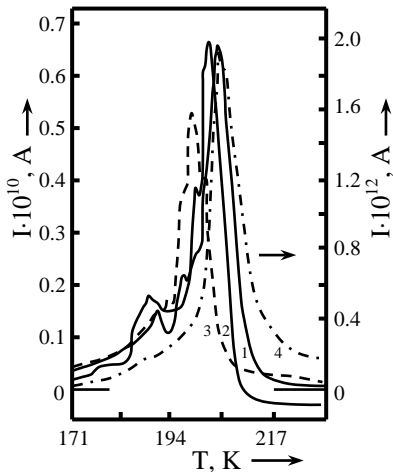


Рис. 2. Пироток в монокристаллах $\text{Cu}_2\text{In}_2\text{S}_6$ при нагреве в темноте (образцы поляризованы при $400 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$). 1-пироток снят без освещения, 2-образец освещен при охлаждении в интервале температур 220-120 К, 3- освещение начато при 220 К и продолжается при нагревании, 4- режим естественной поляризации.

После вышеприведенного цикла измерений величина P_0 для этих же образцов практически не менялась, а пики кривых пиротока при естественной поляризации незначительно смещались в низкотемпературную область. На рис. 2 представлены последовательные записи диаграмм пиротоков при нагревании: 1 – кристалл поляризован при 300 К внешним полем $400 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$, направление которого совпадает с направлением естественной поляризации; 2 – кристалл поляризован внешним полем $400 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$ и освещен белым светом в течение 15 минут при 120 К; 3 – кристалл поляризован внешним полем $400 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$ и освещен интегральным светом в области температур $120 \div 300 \text{ К}$; 4 – кристалл естественно поляризован.

Как видно из рис. 2 при всех вышеуказанных режимах, на кривых пиротока более или менее отчетливо наблюдались четыре пика. При первых трех режимах эти характеристические точки смещаются в низкотемпературную область приблизительно на 3 – 4 %. Такое смещение закономерно, так как поляризация проведена при $E \geq E_{\text{коз}}$ [2]. Кристаллы, поляризованные при 120 К внешним полем $400 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$, можно считать монокристаллическими (в крайнем случае крупнодоменными). При освещении монокристаллическость нарушается и это должно влиять не только на смещение характерной точки пиротока, но и уменьшить поляризацию, т.е. значение пиротока, что и наблюдается экспериментально (рис. 2).

При вышеуказанной последовательности измерения пиротока в соответствующих режимах естественная поляризация характеризуется максимумами при 206 К, 188 К и 170 К. Амплитуда максимума, соответствующего сегнетоэлектрическому фазовому переходу (206 К), на порядок больше, чем остальные (рис. 2, кривая 4). Форма кривых пиротока отличается от первоначальных кривых пиротока, соответствующих естественной поляризации. При выдержке образца в темноте при температуре 300 К в течение 28 часов, вновь полученные кривые пиротока соответствуют кривым пиротока естественной поляризации: максимум пиротока соответствует 214 К и по амплитуде отличается от остальных максимумов (рис. 2, кривая 1). Величины температур соответствующих

максимумов пиротока (214 К, 203 К, 194 К, 175 К) хорошо согласуются с теми значениями температур, которые соответствуют фазовым превращениям.

Изменение пиротока со временем показывает основательность вышеприведенных рассуждений о роли локальных уровней и их действие на фазовые превращения в $Cu_3In_5S_9$.

После снятия пиротока, соответствующего естественной поляризации (рис. 3, кривая 1), была изучена полевая зависимость пиротока в следующей последовательности. Кристаллы $Cu_3In_5S_9$ охлаждались от 300 К до 120 К; при 220 К прикладывалось электрическое поле в течение 20 минут, образцы закорачивались в течение 5 минут, а затем при нагревании производилась запись пиротока. Направление прикладываемого внешнего электрического поля совпадало с P_0 , величина поля изменялась в интервале $500 \div 400 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$. Прикладываемое поле увеличивалось последовательно (номера кривых на рис. 3 и рис. 4 соответствуют последовательности цикла охлаждения и нагревания). Независимо от величины прикладываемого поля, пироток увеличивается на два порядка. При повышении напряженности электрического поля от $50 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$ до $500 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$ точка, соответствующая особенностям пиротока, в основном смещается в низкотемпературную область, максимальное смещение находится в интервале $2 \div 4 \text{ К}$.

При электрическом поле E пиросигнал меняет свое направление на противоположное, но форма кривых температурной зависимости пиротока остается прежней. При последующих циклах нагревания-охлаждения, влияние внешнего электрического поля исчезает.

Пиротоки в основном характеризуются тремя максимумами, соответственно, при 212 К, 203 К и 193 К. Вышеприведенный механизм, объясняющий влияние освещенности на фотосегнетоэлектрические свойства $Cu_3In_5S_9$, проливает свет на зависимость пиротока приложенного внешнего электрического поля. Монокристаллы $Cu_3In_5S_9$ являются

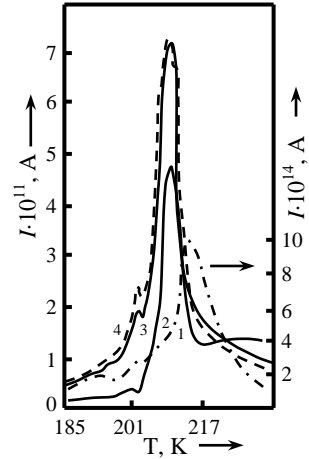


Рис. 3. Пиротоки в кристаллах $Cu_3In_5S_9$. 1-естественная поляризация. 2-поляризован полем $E=62 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$, 3-поляризован полем $E=175 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$, 4-поляризован полем $E=250 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$.

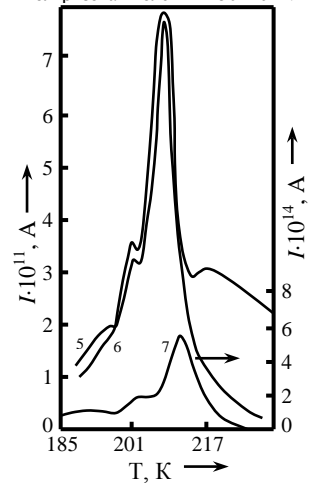


Рис. 4. Пиротоки в кристаллах $Cu_3In_5S_9$. 5-поляризован полем $E=375 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$, 6-поляризован полем $E=500 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$, 7-естественная поляризация.

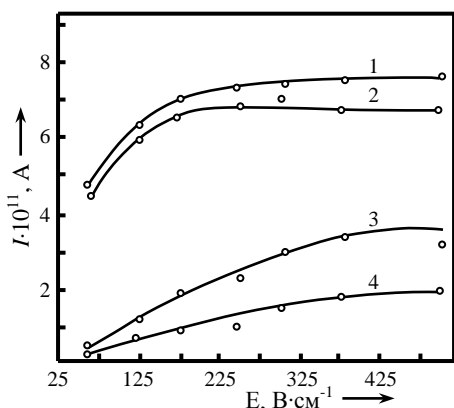


Рис. 5. Зависимость пиротоков от величины поляризирующего поля в монокристаллах $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$. Т, К: 1-210, 2-212, 3-201, 4-196.

полидоменными и обладают остаточной поляризацией, имеющей определенное направление (униполярное). При величине прикладываемого поля $E \approx 350 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$ (рис. 5) образцы становятся почти монодоменными. В связи с этим поляризация в кристалле увеличивается приблизительно на три порядка, т.е. становится равной $\sim 1,3 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}\cdot\text{см}^{-2}$. Максимум при 205 К соответствует сегнетоэлектрическому фазовому превращению, поэтому после монодоменизации образца максимумы пиротока сильно возрастают по амплитуде. Это еще раз подтверждается

тем фактом, что при дальнейшем многократном повторении цикла нагревание-охлаждение или поддержании образцов в короткозамкнутом состоянии в течение нескольких суток, амплитуда вышеуказанного максимума уменьшается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тагиров В.И., Гахраманов Н.Ф., Гусейнов А.Г. Новый класс тройных полупроводниковых соединений типа $A_3^I B_5^{III} A_9^{VI}$: Баку: Баку Университети, 2001, 303 с.
2. Həsənova L.H., Məhəmmədov Ə.Z., Cahangirova S.Ə., Cəfərli R.S. $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ monokristalında təbii polarizasiya / BDU, «Fizikanın Müasir Problemləri» V Respub. konfr. materialları, 16-17 dekabr, 2011, s. 39-42.
3. Фридкин В.М. Сегнетоэлектрики-полупроводники: М.: Наука, 1976, 408 с.
4. Бездетный Н.М., Горбатков Г.З., Зейналлы А. Х., Лебедева Н.Н., Шейкнман М.К. Фотодоменный эффект в естественно поляризованных кристаллах $SbSJ$. // ФТТ, 1972, т. 14, в. 3, с. 921-922.
5. Алиев А.О., Магомедов А.З., Галыбова Д.А., Джахангирова С.А., Мамедов Р.М., Асланов М.А. Особенность вольт-амперной характеристики сегнетополупроводниковых кристаллов системы $Sb_2S_3 - Sb_2Se_3$. АМЕА-нын xəbərləri, fiz.riy. və tex. elm. ser., 2007, s. 87-93.

$\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ MONOKRİSTALLARINDA PİROCƏRƏYANA XARİCİ AMİLLƏRİN TƏSİRİ

L.H.HƏSƏNOVA, S.Ə.CAHANGİROVA, Ə.Z.MƏHƏMMƏDOV

XÜLASƏ

İşdə $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ monokristalında işıqlanmanın və xarici elektrik sahəsinin təsiri ilə yaranan tarazlıqda olmayan yükdaşıyıcıların təbii pirocərəyana təsiri öyrənilmişdir. Tədqiqatlar müxtəlif temperaturalarda aparılmışdır. Nümunənin müxtəlif oblastlarını və kontaktlarını işıqlandıraraq tətbiq olunan gərginliyin qiymətini və istiqamətini dəyişdirərək pirocərəyan ölçülmüşdür.

Açar sözlər: polarizasiya, seqnetoelektriklər, pirocərəyan, faza çevrilməsi

INFLUENCE OF EXTERNAL FACTORS ON PYROCURRENT IN MONOCRYSTALS OF $Cu_3In_5S_9$

L.H.HASANOVA, C.A.JAHANGIROVA, A.Z.MAHAMMADOV

SUMMARY

In this paper, the influence of nonequilibrium carriers created by light and external electric field on natural pyrocurrent in monocrystals of $Cu_3In_5S_9$ is considered. Researches were carried out at different temperatures. Shining different contacts and areas, changing the value and the direction of the applied field, the pyrocurrent was recorded.

Keywords: polarisation, ferroelectrics, pyrocurrent, phase transformation.

Поступила в редакцию: 09.03.2012 г.

Подписано к печати: 08.05.2012 г.