

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ. ПОЛУПРОВОДНИКИ /  
MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY. SEMICONDUCTORS**

Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2025. Т. 28, № 3. С. 1—33.

DOI: 10.17073/1609-3577j.met202508.653

УДК 537.226.8:621.315.61

## **Влияние токопроводящих покрытий и схем измерения на температурные зависимости токов в кристаллах $\alpha\text{-LiIO}_3$**

**© 2025 г. В. Е. Умылин✉, Н. С. Козлова, Е. В. Забелина, А. В. Корчагин**

**Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»,  
Ленинский просп., д. 4, стр. 1, Москва, 119049, Российская Федерация**

✉ Автор для переписки: v.umlin@misis.ru

**Аннотация.** Исследованы особенности протекания токов в образцах полярных срезов модельного кристалла  $\alpha\text{-LiIO}_3$  с различными материалами токопроводящих покрытий при использовании различных схем измерения под действием внешнего электрического поля. В качестве материалов токопроводящих покрытий выбраны индий (In) и серебро (Ag). Для индиевых токопроводящих покрытий использовали индиевую фольгу, а для серебряных токопроводящих покрытий на кристалл наносили серебряную пасту. Измерения проводились в температурном диапазоне от 20 до 210 °C при линейном нагреве со скоростью не более 3 К/мин с приложением постоянного электрического поля 100 В на аппаратном комплексе «СКИП» со специализированным программным обеспечением «ИТКЗ-1.0», разработанным в аккредитованной Межкафедральной учебно-испытательной лаборатории полупроводниковых материалов и диэлектриков «Монокристаллы и заготовки на их основе» (МУИЛ ППМИД) НИТУ МИСИС. Исследуемые образцы предварительно не подвергались каким-либо стимулирующим внешним воздействиям. Получены графики температурных зависимостей токов в образцах с различными материалами токопроводящих покрытий и при использовании различных схем измерений. Установлено влияние материала токопроводящих покрытий, а также полярности установки образца в кристаллодержателе на величину и направление протекания токов. В образцах с токопроводящими In-покрытиями воздействие внешнего поля усиливает токи, возникающие в кристалле, а в образцах с токопроводящими Ag-покрытиями воздействие поля ослабляет их величины. Во время нагрева и охлаждения токи неоднократно меняют свое направление. Полученные результаты демонстрируют сложный характер взаимодействия между материалами токопроводящих покрытий с поверхностями образцов при приложении электрического поля и повышении температуры.

**Ключевые слова:** монокристалл, иодат лития, пьезоэлектрические материалы, полярный срез, стабильность работы, деградация поверхности, приэлектродные процессы, старение электродов, надежность показаний, необратимые явления, внешнее электрическое поле

**Финансирование:** Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания вузам FSME-2023-0003. Измерения проведены в аккредитованной МУИЛ Полупроводниковых материалов и диэлектриков «Монокристаллы и заготовки на их основе» (ИЛМЗ) НИТУ МИСИС.

**Для цитирования:** Умылин В.Е., Козлова Н.С., Забелина Е.В., Корчагин А.В. Влияние токопроводящих покрытий и схем измерения на температурные зависимости токов в кристаллах  $\alpha\text{-LiIO}_3$ . *Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники*. 2025; 28(3): 1—1. <https://doi.org/10.17073/1609-3577j.met202508.653>

# Effect of conductive coatings and measurement schemes on the temperature dependence of currents in $\alpha\text{-LiIO}_3$ crystals

V. E. Umylin<sup>✉</sup>, N. S. Kozlova, E. V. Zabelina, A. V. Korchagin

*National University of Science and Technology “MISIS”,  
4–1 Leninsky Ave., Moscow 119049, Russian Federation*

<sup>✉</sup>Corresponding author: v.umlin@misis.ru

**Abstract.** Current flow characteristics in polar-cut samples of a model  $\alpha\text{-LiIO}_3$  crystal with various conductive coating materials were studied using various measurement schemes under an external electric field. Indium (In) and silver (Ag) were selected as the conductive coating materials. Indium foil was used for the indium conductive coatings, and silver paste was applied to the crystal for the silver conductive coatings. Measurements were performed in the temperature range from 20 to 210 °C with linear heating at a rate of no more than 3 K/min under a constant electric field of 100 V using the SKIP hardware complex with specialized ITKZ-1.0 software developed at the accredited Interdepartmental Training and Test Laboratory “Single Crystals and Stock on their Base” of NUST MISIS. The test samples were not subjected to any stimulating external influences. Temperature dependences of currents were plotted for samples with different conductive coating materials and using various measurement setups. The influence of the conductive coating material, as well as the polarity of the sample’s installation in the crystal holder, on the magnitude and direction of current flow was determined. In samples with conductive In coatings, the external field enhances the currents generated in the crystal, while in samples with conductive Ag coatings, the field weakens their magnitude. During heating and cooling, the currents repeatedly reverse direction. The obtained results demonstrate the complex nature of the interaction between the conductive coating materials and the sample surfaces when an electric field is applied and the temperature increases.

**Keywords:** single crystal, lithium iodate, piezoelectric materials, polar cut, operational stability, surface degradation, near-electrode processes, electrode aging, reliability of readings, irreversible phenomena, external electric field

**Funding.** This work was supported by the Russian Ministry of Education and Science under state assignment FSME-2023-0003 for universities. The measurements were conducted at the accredited NUST MISIS Institute of Semiconductor Materials and Dielectrics “Single Crystals and Stock on their Base”.

**For citation:** Umylin V.E., Kozlova N.S., Zabelina E.V., Korchagin A.V. The effect of conductive coatings and measurement schemes on the temperature dependence of currents in  $\alpha\text{-LiIO}_3$  crystals. *Izvestiya vuzov. Materialy elektronnoi tekhniki – Materials of Electronics Engineering*. 2025; 28(3): 1–1. <https://doi.org/10.17073/1609-3577j.met202508.653>

## Введение

Пьезоэлектрические материалы находят широкое применение в современных электронных, радиотехнических и акустических системах в качестве рабочих элементов электромеханических преобразователей. Выбор конкретного пьезоэлектрического материала для применения в том или ином устройстве определяется совокупностью факторов, включая его электрофизические и механические характеристики, конструкционно-тех-

нологические особенности, а также экономическую эффективность использования [1, 2].

В зависимости от сферы использования и физических эффектов, лежащих в основе работы приборов, электромеханические преобразователи можно разделить на три основные группы [3]:

- приемные преобразователи, устройства, осуществляющие трансформацию механических колебаний в электрический сигнал;
- излучающие преобразователи, обеспечивающие преобразование электрических сигналов

в упругие волны или механические перемещения;

– резонансные системы, в которых используется явление механического резонанса, возбуждаемого в пьезоэлектрическом кристалле под действием приложенного электрического поля.

Каждая сфера применения предъявляет собственные требования к пьезоэлектрическим материалам, поэтому их выбор должен основываться на системе критериев, отражающих пригодность того или иного кристалла для конкретной задачи. При этом необходимо, чтобы оцениваемые характеристики можно было измерить или рассчитать [4, 5].

Для обеспечения электрического контакта на поверхности кристалла необходимо сформировать токопроводящее покрытие, для этого используются различные материалы [6, 7].

Известно [8—10], что при нанесении токопроводящих покрытий на поверхность элементов, изготовленных на полярных срезах кристаллов полярных и полярно-нейтральных классов, без предварительной стимуляции и внешнего воздействия возникают токи короткого замыкания (**ТКЗ**).

Выбор материалов токопроводящих покрытий и полярность стороны их нанесения на образец оказывают влияние на величину и направление протекания токов [11], а также могут влиять на электрофизические и диэлектрические свойства, в том числе на фазовую стабильность материала [12—14].

Под действием электрического поля в диэлектрике могут происходить медленные процессы, существенно изменяющие его электрические свойства, возможны разнообразные механизмы элек-

тролиза, прорастание металлических дендритов сквозь диэлектрик, электрохимические процессы на поверхности и в объеме образца [15].

Цель работы — исследование влияния внешнего электрического поля и полярности его приложения на электрофизические характеристики в образцах полярного среза кристалла  $\alpha\text{-LiIO}_3$  с различными токопроводящими покрытиями.

### Образцы и методы исследования

Для измерения температурных зависимостей токов под действием электрического поля использовали аппаратный комплекс «СКИП» с разработанным в аккредитованной Межкафедральной учебно-испытательной лаборатории полупроводниковых материалов и диэлектриков «Монокристаллы и заготовки на их основе» (МУИЛ ППМиД) НИТУ МИСИС, специальным программным обеспечением «ИТКЗ-1.0» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025615960 от 12.03.2025 г.).

Исследования проводили на модельном кристалле  $\alpha\text{-LiIO}_3$ . Иодат лития гексагональной модификации  $\alpha\text{-LiIO}_3$ , точечная группа симметрии 6, является многофункциональным кристаллическим материалом [16—21]. Он обладает пьезоэлектрическими, пироэлектрическими, упругооптическими и нелинейно-оптическими свойствами, может использоваться в лазерных системах малой и средней мощности и в пьезоэлектрических датчиках [22—24].

В работе были использованы образцы кристаллов  $\alpha\text{-LiIO}_3$  полярного пьезоактивного среза,

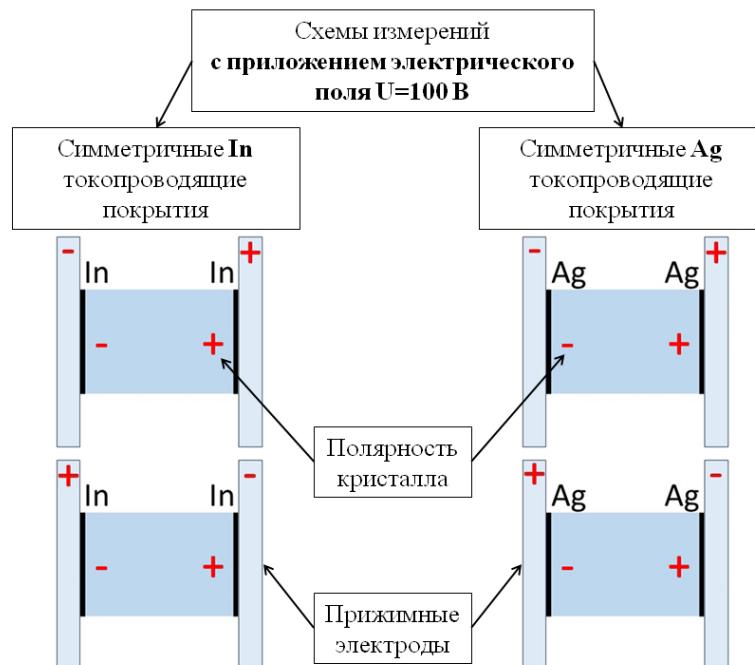


Рис. 1. Схемы измерения образцов с приложением внешнего поля  $U = 100 \text{ В}$

Fig. 1. Schemes for measuring samples with the application of an external field  $U = 100 \text{ V}$