



Х УКРАЇНСЬКА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ З ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ УНКФН–10

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ



Національна академія наук України
Міністерство освіти та науки України
Наукова рада з проблеми «Фізика напівпровідників
і діелектриків» при Відділенні фізики і астрономії
Національної академії наук України
Українське фізичне товариство
Академія наук вищої школи України
Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України
Ужгородський національний університет
Інститут електронної фізики НАН України

*Конференція присвячена 100-річчю
з дня народження проф. П.І. Баранського і
75-річчю з дня заснування фізико-математичного факультету УжНУ.*

**X УКРАЇНСЬКА НАУКОВА
КОНФЕРЕНЦІЯ З ФІЗИКИ
НАПІВПРОВІДНИКІВ
УНКФН–10**

**X UKRAINIAN SCIENTIFIC
CONFERENCE ON PHYSICS
OF SEMICONDUCTORS
(USCPS-10)**

**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ
ABSTRACTS**

**Ужгород, Україна
26 - 30 травня 2025**

**Uzhhorod, Ukraine
May 26-30, 2025**

УДК 537.311.322

Д 37

10-та Українська наукова конференція з фізики напівпровідників. Матеріали конференції. – Ужгород : ТОВ "РІК-У", 2025. – 448 с.

Дана збірка містить тези доповідей 10-ї Української наукової конференції з фізики напівпровідників (УНКФН-10) за участі зарубіжних науковців. Матеріали відображають зміст доповідей конференції, у яких викладені нові результати, стан і перспективи досліджень в області фізики напівпровідників за основними напрямками: нові фізичні явища в об'ємі та на поверхні напівпровідників, фізичні явища у низькорозмірних структурах, фізика напівпровідникових приладів, проблемні питання мікро- та наноелектроніки, сучасні фізико-технічні аспекти напівпровідникової сенсорики та оптоелектроніки, надвисокочастотна та терагерцова електроніка, матеріалознавство, технології та діагностика напівпровідникових матеріалів.

У збірці надруковані тези пленарних, запрошених, усних та стендових секційних доповідей. Більша частина відповідних повних доповідей за рекомендацією програмного комітету і редакційної колегії конференції буде опублікована в тематичних випусках наукових журналів: "Український фізичний журнал", "Журнал фізичних досліджень", "Semiconductor Physics Quantum Electronics & Optoelectronics", "Функціональні матеріали", "Технология и конструирование в электронной аппаратуре", "Фотоелектроніка", "Сенсорна електроніка і мікросистемні технології".

УДК 537.311.322

Видання тез доповідей здійснено з авторських оригіналів, підготовлених до друку Програмним комітетом і редакційною колегією конференції.

Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова НАН України (протокол № 9 від 14 травня 2025 р.).

Редакційна колегія:

Головний редактор О.Є. Беляєв

Члени редколегії: В.О. Кочелап

О.В. Стронський

С.М. Левицький

Р.А. Редько

В.І. Смоланка

В.М. Міца

ISBN 978-617-8390-92-1

© ТОВ "РІК-У"

© Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України
Ужгородський національний університет, 2025

Macroscopic and microscopic polarization of CuInP_2S_6 crystals

A. Molnar¹, H. Bán¹, D. Gál^{2,3}, V. Gerasimov⁴, A. Horvat¹,

¹ Uzhhorod National University, Uzhhorod, 88000 Ukraine

² HUN-REN Wigner Research Centre for Physics, Budapest, 1121 Hungary

³ University of Pécs, Pécs, 7624 Hungary

⁴ Mukachevo State University, Mukachevo, 89600, Ukraine

With the rapid beginning of graphene research, interest in layered van der Waals materials has grown significantly. Among them, the Phosphorous Trichalcogenides group, which possess unique physical properties, stands out. In the list of these crystals, we can meet ferroelectrics, antiferroelectrics, ferromagnetics, ionic conductors, semiconductors, dielectrics, and others. Of particular interest are CuInP_2S_6 crystals, which below the Curie temperature $T < T_C = 315\text{K}$ are ferroelectrics with spontaneous polarization $P_S = 3 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ directed perpendicularly to the structural layers. The coercivity field of these crystals is $77 \text{ kV}/\text{cm}$. Moreover, unlike most ferroelectrics, the ferroelectric properties of CuInP_2S_6 crystals are preserved even at thicknesses of units of nanometers (for example, $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ crystals cease to exhibit ferroelectric properties at a size of less than 50 microns), which makes it very promising for use in modern electronics. It has already been used to create major electronic components such as diodes, transistors, ferroelectric transistors with negative capacitance, memory cells, and others.

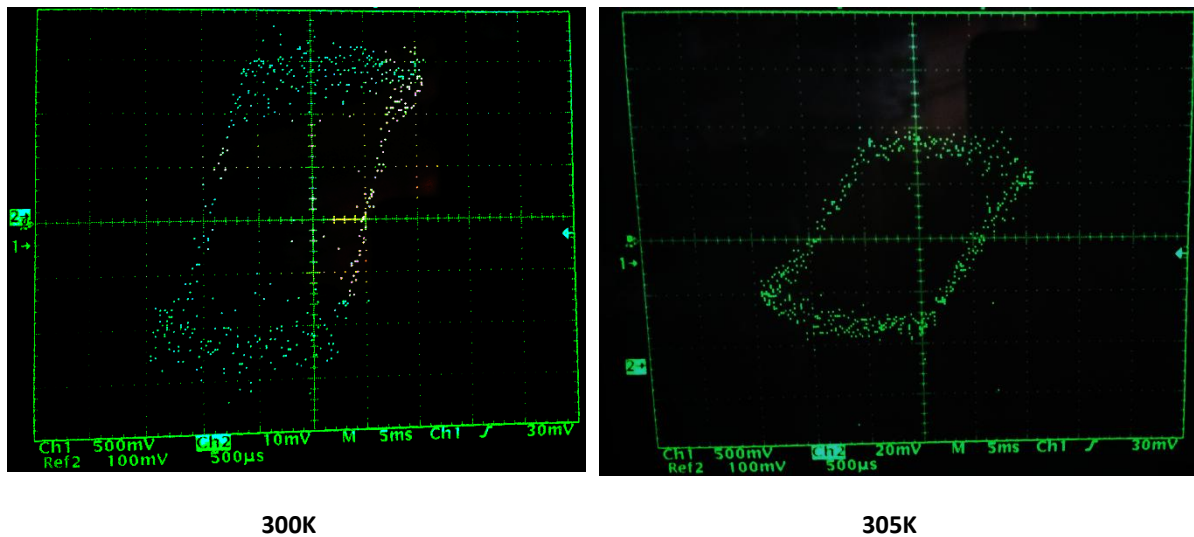


Fig. 1. Temperature evolution of dielectric hysteresis loops of CuInP_2S_6 crystal.

The last two applications are closely related to the phenomenon of switching spontaneous polarization under the action of an external electric field, so studying this phenomenon is an urgent task. In the available works, switching phenomena were mainly studied on a microscopic scale, using force microscopy technology. The data on macroscopic parameters of CuInP_2S_6 crystals (spontaneous polarization, its temperature behavior, the presence of

shifting electric fields, and the magnitude of the coercive field) are very few, so we carried out studies of the switching processes of spontaneous polarization on samples of relatively large size.

A CuInP_2S_6 crystal obtained from the gas phase, 20 μm thick, 5x5 mm^2 with gold electrodes sputtered in a vacuum with an area of 2x2 mm^2 , was chosen for our studies. The remaining part of the crystal surface served as an additional protection against surface breakdown. Based on the crystal thickness and the coercive field value of $7.7 \cdot 10^6 \text{ V/m}^2 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 154 \text{ V}$, we used a high-voltage amplifier with an output voltage of $\pm 160 \text{ V}$ (Operational Amplifier Burr-Brown 3584). To investigate the switching processes, we used a standard Sawyer–Tower scheme. The frequency of the measurement field was 100 Hz (copper ions did not have time to migrate through the sample thickness). The waveform was triangular and bipolar. The crystal was first annealed at 400K for three hours without applying an electric field to clean the sample from moisture and intercalating impurities before measurements. CuInP_2S_6 was then cooled to room temperature, and further dielectric hysteresis loop measurements were performed in the heating regime from 290K to 370 K. The resulting dielectric hysteresis loops are shown in Figure 1.

Ambient single frequency PFM and band excitation imaging/polarization switching were performed on a Bruker Dimension Icon AFM provided by Bruker Nano Inc. Pt–Ir coated SCM-PIT cantilevers have been used for all imaging modes. The resulting switching loops are shown in Fig. 2.

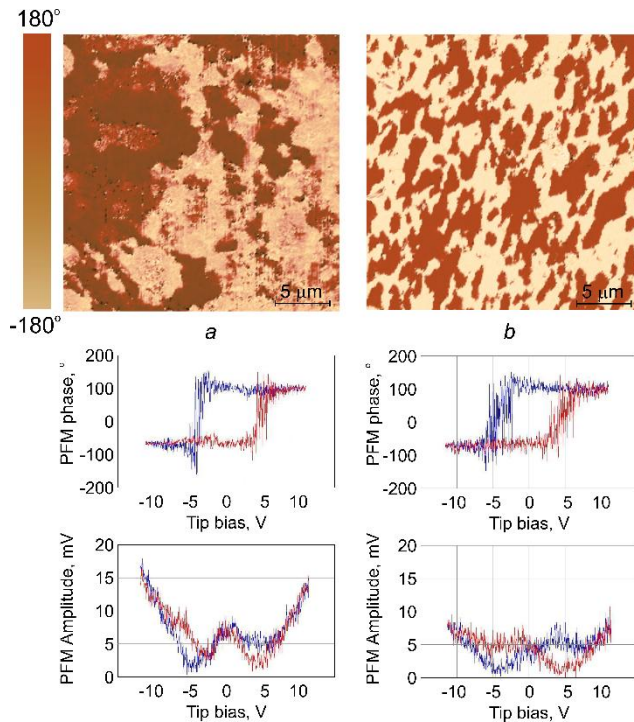


Fig. 2. Microscopic PFM polarization switching loops of the CuInP_2S_6 crystals obtained by the Bridgeman method – **a**, and from the gas phase – **b**.

As we can observe in Fig. 1 and 2 the polarization switching loops are significantly different for macroscopic and microscopic measurement modes.

Наукове видання

**X УКРАЇНСЬКА НАУКОВА
КОНФЕРЕНЦІЯ З ФІЗИКИ
НАПІВПРОВІДНИКІВ
УНКФН–10**

Матеріали конференції

У авторській редакції

Підписано до друку 16.05.2025. Формат 60х84/8. Папір офс. Друк.офс.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк.арк. 51,2. Замовлення № 269К. Тираж 300 прим.

ТОВ «РІК-У»: 88006, м. Ужгород, вул. Карпатської України, 36, e-mail: print@rik.com.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5040 від 21 січня 2016 року

Друк: ФОП Ященко Євген Валерійович
88015, Закарпатська обл., Ужгородський р-н, м.Ужгород,
вул. Героїв 128-ї бригади, буд. 48А, корпус 2, кв. 48

