

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
Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України
Ужгородський національний університет
Інститут електронної фізики НАН України

*Конференція присвячена 120-річчю
з дня народження академіка Лашкарьова В.Є. і
100-річчю з дня народження проф. Чепура Д.В.*

**ІХ УКРАЇНСЬКА НАУКОВА
КОНФЕРЕНЦІЯ З ФІЗИКИ
НАПІВПРОВІДНИКІВ
УНКФН-9**

**IX UKRAINIAN SCIENTIFIC
CONFERENCE ON PHYSICS
OF SEMICONDUCTORS
(USCPS-9)**

**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ
ABSTRACTS**

Ужгород, Україна
22 - 26 травня 2023

Uzhhorod, Ukraine
May 22-26, 2023

УДК 537.311.322(063)

П 26

9-та Українська наукова конференція з фізики напівпровідників. Матеріали конференції. – Ужгород: ТОВ "РІК-У", 2023. – 396 с.

Дана збірка містить тези доповідей 9-ї Української наукової конференції з фізики напівпровідників (УНКФН-9) 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(063)

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 № 8 від 3 травня 2023 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 978-617-8276-25-6

© ТОВ "РІК-У", 2023

© Інститут фізики напівпровідників
ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, 2023

© Ужгородський національний університет, 2023

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ОПІР, ПИТОМИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ ОПІР, ТЕМПЕРАТУРНИЙ КОЕФІЦІЄНТ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ ДЛЯ КРИСТАЛІВ СЕГНЕТО-НАПІВПРОВІДНИКІВ $Sn_2P_2S_6$.

ТЯГУР Ю. І.

*ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Ужгород, Україна,
e-mail : yurii.tjahur@uzhnu.edu.ua*

Монокристали $Sn_2P_2S_6$ є одновісними власними фото – сегнето – напівпровідниковими кристалами групи $A_2B_2C_6$. Електричний опір (R) для елемента досліджувань зразків визначається з досліджень вольт – амперних залежностей з рівняння закону Ома.

$$R = \frac{U}{I} \quad (1)$$

В рівнянні (1) U - електрична напруга прикладена до елемента зразка, I - величина електричного струму. Формула для визначення питомого електричного опору (ρ) елемента зразка має вигляд:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l} = \frac{1}{\sigma} \quad (2)$$

В рівнянні (2), l - довжина (товщина), S - площа, σ - питома електрична провідність елемента досліджуваного зразка (диск, стержень, паралелепіпед та інше). Визначення залежності питомого електричного опору від температури $\rho(T)$ знаходять з вимірювань залежності величини електричного струму від температури $I(T)$, та обчислень залежності $\sigma(T)$ згідно рівняння

$$\sigma(T) = \frac{J(T)}{E} = \frac{I(T)/S}{U/l} \quad (3)$$

Для власного напівпровідника $\sigma(T)$ виражається рівнянням (4) і має вигляд

$$\begin{aligned} \sigma(T) &= e \cdot \mu_n(T) n_i(T) + e \cdot \mu_p(T) p_i(T) = a \cdot T^{\pm b} \cdot \exp\left(\frac{-E_g}{2kT}\right) = \\ &= a \cdot T^{\pm b} \exp\left(\frac{-B}{T}\right) = a \cdot T^{\pm b} \exp\left(\frac{-w}{kT}\right) \quad (4) \end{aligned}$$

В рівнянні (4), E_g - ширина забороненої зони, B - термічна константа матеріалу, де $E_g = 2 \cdot k \cdot B = 2 \cdot 0.8617 \cdot 10^{-4} \left[\frac{eV}{K} \right] \cdot B[K]$, (5). Вираз для залежності питомого електричного опору від температури $\rho(T)$ має вигляд:

$$\rho(T) = \frac{1}{\sigma(T)} = a_0^{-1} \cdot T^b \cdot \exp\left(\frac{B}{T} - \frac{1}{T_0}\right) \quad (6)$$

При умові $E_g \gg kT$, тобто температури умовно не є високими, то прийемо, що $(a \cdot T^{1.5}) = \sigma_0 = const.$, і отримаємо спрощений варіант для

залежності $R(T)$,

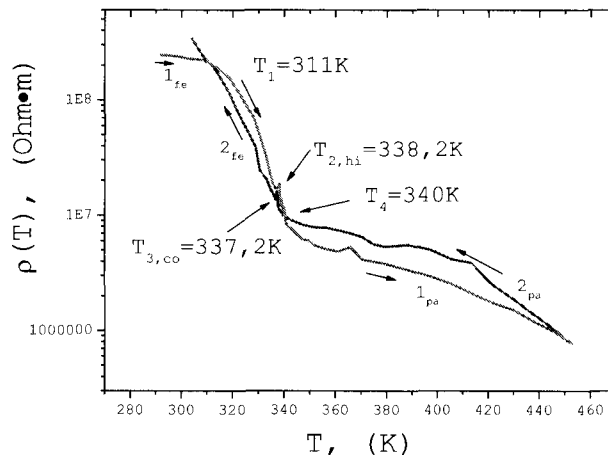
$$R(T) = A \cdot \exp\left(\frac{B}{T}\right) = A \cdot \exp(-\alpha \cdot T) = R_0(T_0) \cdot e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} = R_0(T_0) \cdot e^{(-\alpha \cdot T^2) \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \quad (7)$$

Відносний температурний коефіцієнт електричного опору (TCR), тобто величина (α) визначається за формулою

$$\alpha = \frac{\Delta R}{R \cdot \Delta T} = \frac{\Delta \rho}{\rho \cdot \Delta T} \quad (8)$$

Залежність (TCR), від температури, $\alpha(T)$ знаходимо за рівнянням

$$\alpha(T) = \frac{d(\ln R(T))}{dT} = \frac{1}{R(T)} \frac{dR(T)}{dT} \quad (9)$$



На рис. приведені експериментальні результати залежності $\rho(T)$. З рис. видно, що при збільшенні температури, залежність $\rho(T)$ зменшується. При нагріванні, при температурі Кюрі $T_{C,hi} = 338.2K$ маємо пік, котрий, можливо зв'язаний з сегнето - електричним фазовим переходом (СЕФП) (крива $1fe-1pa$). Видно, що залежність $\rho(T)$ в циклі нагрівання – охолодження має гістерезис. Крива ($1fe-1pa$) зображає нагрівання зразка. Крива ($2pa-2fe$) зображає охолодження зразка. При охолодженні зразка спостерігаємо малий пік при температурі Кюрі $T_{C,co} = 337.2K$. Згідно приведених рівнянь (1-9), з експериментальних результатів, що зображені на рисунку були обчислені такі фізичні величини: $\alpha, \Delta E_i, B, w$, для сегнето та параелектричної фази при нагріванні та охолодженні для сегнето-напівпровідника $Sn_2P_3S_6$. Знайдені залежності: $\alpha(T)$, $E_g(T)$ та коефіцієнти $(dE_g(T)/dT)$. Коефіцієнти $(dE_g(T)/dT)_{fe}$ для сегнето та $(dE_g(T)/dT)_{pa}$ для парафази при нагріванні (крива 1) в околі точки фазового переходу є різними: $(-94 \pm 5) \cdot 10^{-4} [eV/K]_{fe}$ та $(-17.1 \pm 0.5) \cdot 10^{-4} [eV/K]_{pa}$, віднов. Точка, $T = 343K$ - температура перетину $E_g(T)$.