

УДК 548.5

О.М. Бордун<sup>1</sup>, І.М. Бордун<sup>2</sup>, С.Б. Харамбура<sup>2</sup><sup>1</sup> Львівський національний університет імені Івана Франка, кафедра загальної фізики<sup>2</sup> НУ «Львівська політехніка», кафедра фізики

## РЕЛАКСАЦІЙНІ СТРУМИ ДЕПОЛЯРИЗАЦІЇ В ОРТОГЕРМАНАТІ ВІСМУТУ

© Бордун О.М., Бордун І.М., Харамбура С.Б., 2001

О.М. Bordun, I.M. Bordun, S.B. Charambura

## THE RELAXATION CURRENTS OF DEPOLARIZATION IN BISMUTH ORTHOGERMANATE

© Bordun O.M., Bordun I.M., Charambura S.B., 2001

Досліджено релаксаційні струми деполаризації в монокристалах, кераміках і тонких плівках  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  в температурному інтервалі 80 – 295 К. Визначено часи релаксації та енергії активації деполаризації. Встановлено, що при зростанні дефектності кристалічної структури збільшується значення релаксаційного струму і зменшується енергія активації деполаризації.

**The relaxation currents of depolarization in single crystals, ceramics and thin films  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  was investigated in temperature region 80 – 295 K. The relaxation times and energy activation of depolarization was determined. At increase of defects of crystalline structure the value of relaxation current increased and value of energy activation of depolarization decreased.**

Ортогерманат вісмуту  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  (BGO) останнім часом щораз ширше застосовують у різних галузях науки і техніки як перспективний сцинтилятор [1, 2]. Низка характеристик сцинтилятора, зокрема постійна часу висвічування і ефективність переносу енергії до центрів свічення, значною мірою визначається локальними центрами захоплення (ЦЗ) носіїв заряду, рівні енергій яких розташовані у забороненій зоні.

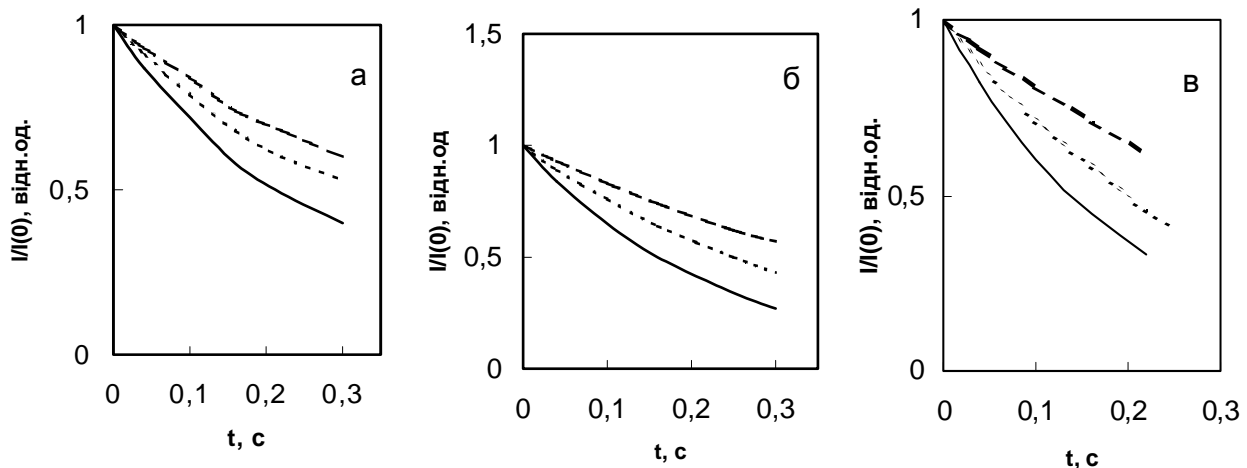
Раніше дослідження ЦЗ в BGO проводили методом термостимульованої люмінесценції [3 – 7], методом термостимульованої екзоелектронної емісії [8] та термостимульованої деполаризації [9]. Крім того, ефективним методом для дослідження дефектів у кристалах є вивчення умов створення і релаксації електричної поляризації. Стійка внутрішня поляризація під дією електричного поля звичайно зумовлюється існуванням у кристалах заряджених дефектів, пасток, диполів. Враховуючи це, видається актуальним дослідження релаксаційних процесів у BGO, яке в цій роботі було проведене на монокристалічних, керамічних та тонкоплівкових зразках.

У роботі досліджували монокристали BGO, одержані методом Чохральського. Кристали були прозорими включно до 4,1 еВ і видимих дефектів не містили. Керамічні зразки одержували методом твердофазного синтезу в попередньо перетертій і спресованій суміші оксидів стехіометричного складу. Температура синтезу 850 – 900 °С перевищувала температуру утворення BGO в системі  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-GeO}_2$  [10]. Тонкі плівки завтовшки 0,5-1,0 мкм одержували методом дискретного випаровування у вакуумі на підкладках з плавленого кварцу. Після напилення проводили термообробку на повітрі при 800 °С. Рентгенодифракційні дослідження виявили полікристалічну структуру плівок з переважною орієнтацією у площинах (211), (310) і (312).

При дослідженні зразки поляризували у конденсаторній комірці в електричному полі напруженості  $5 \cdot 10^4$  В/м. Після вимкнення зовнішнього поля зразок закорочували через електрометр і вимірювали розрядний струм (струм деполяризації). При поляризації та деполяризації зразки опромінювали рентгенівським випромінюванням установки УРС-55А з мідними антикатодом (40 кВ, 2 – 12 мА). Це проводилось як з метою збільшення кількості вільних носіїв заряду і заряджених дефектів, так і можливості вивчення ефектів деполяризації при іонізуючому опроміненні.

Отримані експериментальні залежності часової зміни релаксаційного струму деполяризації ВГО досліджені в інтервалі 80 – 295 К. Характерні експериментальні залежності на прикладі вимірювань, проведених при 80, 200 і 295 К, показані на рисунку. Відмітимо, що ці залежності в координатах  $\ln(I_0/I)$  від часу  $t$  в межах температурного інтервалу досліджень досить добре апроксимуються прямими лініями, що вказує на те, що швидкість релаксаційного струму на початковій стадії описується експоненціальною залежністю.

Згідно з розвиненими теоретичними положеннями [11] зміна поляризації  $P$  з часом описується рівнянням



Релаксаційний струм деполяризації в монокристалах (1), кераміках (2) і тонких плівках (3)  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  при 80 К (а), 200 К (б) і 295 К (в) при потужності дози опромінення  $0,15 \cdot 10^{-3}$  А/кг.

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{P}{\tau}, \quad (1)$$

де  $\tau$  – час релаксації.

Розв'язком такого рівняння є вираз

$$P = P_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right), \quad (2)$$

де  $P_0$  – початкова поляризація.

Розрядний струм релаксації визначається швидкістю зміни поляризації

$$I = \frac{P_0}{\tau} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) = I_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right). \quad (3)$$

У кристалах переорієнтація диполів зумовлюється переходом дефектів з одного рівноважного стану в інший при подоланні потенціального бар'єру  $E$  – енергії активації деполяризації. Імовірність такого переходу за одиницю часу пропорційна до  $\exp(-E/kT)$ .

Релаксація інтерпретується як середній час, необхідний для переходу дефекту, тобто є оберненою величиною до імовірності переорієнтації

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{E}{kT}\right), \quad (4)$$

де  $\tau_0$  – постійна величина.

Проведені вимірювання швидкості зміни релаксаційного струму згідно з (3) дають можливість визначити характерні часи релаксації при відповідних температурах. На основі цих значень, отриманих при різних температурах, з (4) можна визначити для досліджуваних кристалів, керамік і тонких плівок ВГО постійні  $\tau_0$  і енергію активації деполяризації  $E$ . Результати проведених розрахунків на прикладі деяких температур зведені у таблицю.

### Основні параметри релаксаційного струму деполяризації у $\text{Vt}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ .

Зразок	$\tau_1$ , с (T=80 K)	$\tau_2$ , с (T=200 K)	$\tau_3$ , с (T=295 K)	$\tau_0$ , с	E, eV
Монокристал	0,31	0,23	0,21	0,18	$3,82 \cdot 10^{-3}$
Кераміка	0,48	0,36	0,33	0,29	$3,37 \cdot 10^{-3}$
Плівка	0,67	0,53	0,50	0,45	$2,62 \cdot 10^{-3}$

Як видно з отриманих результатів, при переході кристал-кераміка-плівка проходить збільшення інтенсивності релаксаційного струму і часу релаксації, а також зменшення енергії активації. Відмітимо, що внаслідок досліджень відносна розбіжність між результатами при вимірюванні струмів релаксації у межах однотипних структур, наприклад, керамік або плівок, не перевищувала 5 %. Виявлена закономірність зумовлена тим, що при переході від кристалів до керамік суттєво порушується періодичність кристалічної ґратки і зростає кількість структурних дефектів. Це, зрозуміло, призводить до зменшення висоти потенціального бар'єру для переорієнтації заряджених дефектів. Подібне спостерігається і в тонких плівках, які мають полікристалічну структуру, містять значну кількість структурних дефектів, включаючи і такий суттєвий дефект, як поверхня. Крім того, якщо врахувати, що розрізняють два види електричної поляризації – дипольну і об'ємно-зарядову [12], то поляризація в тонкоплівкових зразках в основному визначається лише дипольним типом і для її переорієнтації спостерігається найнижча енергія активації.

Отже, проведені експерименти свідчать, що дослідження релаксаційних струмів деполяризації в ВГО можна використовувати для аналізу дефектів. Зокрема, при порушенні досконалості кристалічної структури спостерігається збільшення значення релаксаційного струму і зменшення енергії активації деполяризації.

1. Шульгин Б.В., Полупанова Т.И., Кружалов А.В., Скориков В.М. *Ортогерманат висмута. Екатеринбург, 1992.*
2. Wender S.A // *IEEE Trans. Nucl. Sci.* 1983. NS-30. P. 1539 – 1542.
3. Dieguez E., Arizmendi L., Cabrera J.M. // *J.Phys. C: Solid State Phys.* 1985. 18. P. 4777 – 4783.
4. Melcher C.L. // *IEEE Trans. Nucl. Sci.* 1985. NS-32. P. 545 – 548.
5. Гусев В.А., Петров С.А. // *Журн прикл. спектроскопии.* 1989. 50. С. 627 – 631.
6. Волков А.Р., Полупанова Т.И., Шульгин Б.В., Лебедев В.Н. // *Журн. прикл. спектроскопии.* 1991. 54. С. 970 – 976.
7. Raymond S.G., Luff B.J., Townsend P.D. et al. // *Radiat.Meas.* 1994. 23. P. 195 – 202.
8. Калентьев В.А., Каргин В.Ф., Каргин Ю.Ф. и др. // *Изв.АН СССР.сер.неорг.мат.* 1987. 23. С. 521 – 522.
9. Bordun O. // *Phys. Stat. Sol. A.* 1999. 176. P. 1089 – 1091.
10. Тананаев И.В., Шпурт М.Я. *Химия германия. М., 1967.*
11. Perlman M. // *J. Appl. Phys.* 1971. 47. P. 2645 – 2652.
12. Perlman M., Under S. // *J Electrostatics.* 1975. 1. P. 231 – 234.