

Запорізький державний університет

На правах рукопису

Сніжний Геннадій Валентинович

Термо- і фотостимульована поляризація
кристалів $Bi_{12}SiO_{20}$

01.04.10 - фізика напівпровідників і діелектриків

Автореферат
дисертації на одбуття вченого ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Автор:
Сніжний

Запоріжжя - 1993



00814536 (R)

Робота виконана на кафедрі електрофізики Дніпропетровського державного університету.

Наукові керівники: доктор фізико-математичних наук
професор А.Ю. Кудоїн
кандидат фізико-математичних наук
Т.В. Панченко

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук,
професор Ю.М. Поплавко
кандидат фізико-математичних наук
О.В. Приходько


Провідна установа: Київський державний університет
ім. Т.Г.Шевченко

Захист дисертації відбудеться " 4 " березня 1993р. в 14³⁰ год.
на засіданні Спеціалізованої Ради К 068.52.02 при Запорізькому державному університеті (330600, Запоріжжя, вул.Жуковського 66)

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Запорізького державного університету.

Автореферат розіслано " 1 " лютого 1993р.

Вчений секретар Спеціалізованої Ради,
кандидат технічних наук

 Ю.О.Сисоєв

ДВ - довіт - 1.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

У теперішній час прогрес функціональної акусто- і оптоелектроніки ставить зростаючі вимоги до елементної бази. Суттєвий інтерес у цьому плані становлять кристали зі структурою силікатів $Bi_{12}SiO_{20}$.

Можливість їх використання в різних пристроях обробки інформації зумовлена вдалими поєднаннями таких функціональних властивостей, як значні електро- і акустооптичні ефекти, добра фоточутливість, яка забезпечує отримання високої густини вапсу оптичної інформації та ін.

Наявність електретного ефекту дозволяє використовувати силікати в якості різних електродзвучних (мікрофони, телефони, гідрофони) і електромеханічних перетворювачів (сенсорні перемикачі, ударні датчики) внаслідок їх високої електричної стабільності, механічної міцності і термостійкості (у порівнянні з органічними і полімерними матеріалами). В цьому плані передбачається можливість вастосування силікатів в медицині і біофізиці. Важливим практичним вастосуванням електретів є техніка електрофотографування і радіаційних дозиметрів.

Показана можливість спрямованої модифікації назованих властивостей силікатів, а відповідно, параметрів функціональних елементів, шляхом легування кристалів такими іонами як Al, Ga, що також привертає увагу рооблювачів.

Найбільш широко кристали силікатів вастосовуються в якості активних елементів просторово - часових модуляторів світла (ПЧМС). ПЧМС являють собою реверсивне світлочутливе середовище, призначене для вапсу і відтворення ображення у пристроях уводу-виводу в оптичних системах обробки інформації.

Однак оптимізація параметрів існуючих пристроїв і роошення діапазону практичного використання кристалів силікатів стримується нецостатньою фізичною інтепретацією їх деяких властивостей і явищ.

Найбільш докладно в даний час досліджені електро-, акустооптичні, п'єзоелектричні та інші фундаментальні властивості. Маловивченими є властивості, які пов'язані з наявністю власних точкових дефектів та легувальних домішок: електретні стани, поляризаційні процеси, явища,

обумовлені струмопереносом, контролюючими локальними енергетичними станами вабореної вони. Є дані про тонку структуру вабореної вони чистих кристалів, але в багатьох випадках вони суперечать одне одному. Вплив легування кристалів на цю структуру практично не розглядався.

Усе вищевказане дозволяє зважати дослідження поляризаційних властивостей, термо- і фотостимульованих процесів в чистих та легуваних кристалах силікатів вельми актуальним на даному етапі.

Мета роботи.

Робота є частиною планових комплексних досліджень фізичних властивостей активних кристалів, які проводяться на кафедрі електродіагностики Дніпропетровського державного університету. Метою роботи є установлення особливостей та механізмів термо- і фотостимульованої поляризації в умовах виникнення, обертання та руйнування електретного ефекту в кристалах $Bi_{12}SiO_{20}$ (BSO), $Bi_{12}SiO_{20}$ легуваних іонами Al (BSO:Al) та Ga (BSO:Ga). Ефективними методами досягнення даної мети є методи термоактиваційної спектроскопії у комплексі з вимірами вольт-амперних і вольт-фарадних характеристик.

У процесі виконання роботи були поставлені завдання:

- Розробка установки, програмного забезпечення методик вимірювань термостимульованих струмів і обробки отриманих даних;
- Дослідження характеристики фото- і термоелектретного станів в даних кристалах при поляризації в інтервалі температур $T_p = 250 + 570$ К та поляруючого поля $U_p = 0.01 + 2$ кВ;
- Ідентифікація вкладів різних механізмів у процесах макроскопічної поляризації кристалів BSO, BSO:Al, BSO:Ga;
- Дослідження просторового розподілу внутрішнього електричного поля при різних умовах поляризації;
- Вивчення впливу типу контактів на зарядові процеси в BSO;
- Визначення впливу легування іонами Al і Ga на формування термо- і фотоелектретного стану кристалів BSO;

- Дослідження діелектричної проникності кристалів BSO, BSO:Al, BSO:Ga в електретному стані.

Наукова новизна проведених у роботі досліджень.

1. Вперше ідентифіковані взаєди об'ємно - зарядового та дипольного механізмів поляризації. Визначений ряд параметрів локальних рівнів захищеної зони.
2. Визначено вплив легування йонами Al і Ga на процеси термо- і фотостимульованої поляризації, параметри локальних рівнів та квазідиполів, діелектричні властивості.
3. Виявлена роль інженції та блокуючих властивостей контактів Pt-Bi₁₂SiO₂₀ у процесах макроскопічної поляризації кристалів.

Практичне значення роботи.

У результаті проведення експериментів отримана широка інформація про характеристики електретного стану, при варіюванні електричного поля, температури та довжини хвилі фотоактивуючого світла. Вивчено вплив легування на ці характеристики. Ця інформація може бути використана, наприклад, при розробці ПЧМС, зокрема для просторового диференціювання, секторної фільтрації, динамічної селекції зображення, бо для них має місце поляризація функціонального елемента в сильних електричних полях під дією підсвітки.

Розроблена установка термоактиваційної спектроскопії та програмне забезпечення можуть бути використані для дослідження локальних рівнів захищеної зони, параметрів релаксаторів поляризаційних процесів та природи електрично активних дефектів для широкого кола напівпровідників і діелектриків.

Достовірність результатів досліджень.

Експериментальні дані отримані за допомогою установки, яка відповідає сучасним вимогам до методики і точності вимірювань. При завданні ідентичних умов експерименту вони корелюють з даними інших авторів. Для обліщення достовірності результатів обробка даних виконана з використанням різноманітних, відомих на даний час, модельних уявлень. Основні отримані результати дисертації опубліковані в

науковій літературі. Таким чином, подані наукові положення та висновки є достовірними та достатньо обґрунтованими.

На пахист виносяться такі положення.

1. В результаті термо- і фотостимульованої поляризації у кристалах BSO, BSO:Al, BSO:Ga формується стабільний електретний стан, який ґрунтується наявністю у забороненій зоні локальних енергетичних рівнів і квазідипольних комплексів з енергією активації $\Delta E_a = 0.35 + 1.55$ еВ.

2. Вплив легування іонами Al та Ga кристалів BSO приводить до зміни спектру локальних станів, які беруть участь у процесах поляризації. Можна виділити по дві основні групи рівнів у діапазонах $0.43 + 0.54$ і $0.8 + 1.2$ еВ. Легування також приводить до збільшення числа квазідипольних з $\Delta E_a = 0.62 + 1.24$ еВ.

3. Розподіл потенціалу в кристалах при поляризації нелінійний і характеризується виникненням високовольтних приелектродних областей та осциляціями просторового розподілу напруженості поля. Значно впливають на поляризацію як блокуючі властивості контактів, так і інжекція носіїв заряду при напруженості поля $E_p > 2$ кВ/см ($U_p > 200$ В).

4. Поляризація кристалів супроводжується виникненням електретного стану, який приводить до появи специфічних залежностей діелектричної проникності у вигляді петель гістерезиса вольт-фарадних характеристик і структурованих піків термостимульованої смисті.

Апробація роботи.

Основні результати доповідалися й обговорювалися на VI Всесоюзній конференції з фізики діелектриків (Москва, 1988); XII Всесоюзній конференції з фізики сегнетоелектриків (Ростов-на-Дону, 1989); I Всесоюзній конференції з фізики фотоелектричних явищ у напівпровідниках (Ташкент, 1989); Всесоюзній конференції "Реальна структура і властивості ацентричних кристалів" (Александров, 1990); IX Всесоюзному симпозіумі зі спектроскопії кристалів, активованих іонами рідкоземельних і перехідних металів (Ленінград, 1990); IV Всесоюзній конференції "Актуальні проблеми одержання і застосування сегнето-, п'єзо-, піроелектричних і споріднених їм матеріалів" (Москва, 1991); Topical meeting of Photorefractive material, Effects and Devices (Wash-

ington, 1991); Всесоюзній конференції в сегнетоелектрики (Твер, 1992).

Основні результати дисертації викладені в тезах 9 доповідей і опубліковані в 6 наукових статтях (див. список літератури).

Структура і об'єм дисертації.

Дисертація складається з вступу, шести розділів, вилучення і списку цитованої літератури зі 119 найменувань. Дисертація містить 95 сторінок машинописного тексту, 64 рисунки і 26 таблиць, а її повний об'єм - 170 сторінок.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність обраної теми і мета роботи, вказана наукова новизна і практична значимість одержаних результатів, сформульовані положення, які виносяться на захист, наводяться відомості про апробацію роботи та її структуру.

У першому розділі проаналізовані літературні дані про електрофізичні властивості кристалів зі структурою силенітів. Показана недостатність інформації, одержаної методами термоактиваційної спектроскопії, про енергетичні рівні, наприклад, о енергію активації $E_a > 0.6$ eВ, оскільки дослідження вище $T > 400$ K не проводились. При визначенні параметрів релаксаторів поляризаційних процесів приймалися до уваги тільки об'ємно - зарядові механізми, а питання про участь кваодипольних комплексів не розглядалося. Указано, що умови на контактах мають значний вплив на еволюцію просторово-неоднорідного розподілу електричного поля. Проте наявна інформація не залучалася для обгово, сння особливостей макроскопічної поляризації. Не обговорюється природа електрично активних дефектів в BSO. Одержані розрінені, частково суперечливі залежності накопичення і руйнування заряду електрета від умов поляризації. Комплексні дослідження фото- і термоелектретних станів не проводились. Не порушувалися питання впливу електретного стану на електричні і діелектричні властивості.

У другому розділі розглянуті методи одержання и обробки експериментальних даних.

Для дослідження спектрів термостимульованих струмів була ство-

рена автоматизована установка на базі керуючого обчислювального комплексу "MERA - 660/SAMAC", а також розроблені конструкції вимірювальних комірок для низько- і високотемпературних діапазонів вимірювань ($T=80-400$ и $T=300-900$ К, відповідно). Установка складається з чотирьох функціональних частин: вимірювальної комірки з досліджуванним зразком; системи автоматичного регулювання температури; вимірювальної системи, яка забезпечує вимірювання і реєстрацію термостимульованих струмів ($I=10^{-14} - 10^{-4}$ А) і температури ($T=80-900$ К) в різних режимах; програмного забезпечення, розробленого для задання початкових умов і керування експериментом. Керувачі властивості установки реалізовані на основі системи SAMAC з відповідним набором модулів.

Для досліджень використовувалися кристали, вирощені на кафедрі електрофізики Дніпропетровського університету.

У третьому розділі подані результати дослідження термо- і фотоелектретного станів (ТЕС и ФЕС) у кристалах BSO, BSO:Al і BSO:Ga при різних умовах поляризації (довжині хвилі фотообудження λ_p , поляризуючій напрузі U_p і температурі T_p). ТЕС формувалася у темряві, ФЕС - при опроміненні світлом з $\lambda_p = 0.38-0.66$ мкм. В обох випадках $U_p = 0.01-2$ кВ, $T_p = 220-570$ К, час поляризації був рівний 30 хвилинам. Варіювання умов поляризації забезпечило можливість обговорення механізмів поляризаційних процесів і розрахунку параметрів релаксаторів.

У розділі 3.1 обговорюються особливості ТЕС і ФЕС в BSO. Уперше одержані спектри струмів $I(T)$ термостимульованої деполаризації (ТСД) у широкому температурному інтервалі $T=80-900$ К. Спектри являють собою структуровані криві, форма, температурне положення і амплітуда максимумів яких залежать від умов поляризації. У спектрах можна виділити три групи піків, які лежать у температурних інтервалах $\sim 200-320$, $\sim 320-500$, $\sim 500-700$ К. Описано результат спостереження за тенденцією до низькотемпературного зміщення спектрів $I(T)$ ФЕС по відношенню до $I(T)$ ТЕС (рис.1) при зміні U_p і зміщенні спектрів $I(T)$ ФЕС при зміні λ_p , яка пояснюється збільшенням ступеня початкового озарювання пасток у процесі поляризації.

Поза залежністю від величини поляризуючого поля, поляризація BSO в області низьких $T_p \leq 270$ К і високих $T_p \geq 470$ К температур

супроводжується накопиченням гетероаряду. Однак ТЕС, на відміну від гетероарядного ФЕС, у деяких випадках, якщо $270 < T_p < 470$ К, може характеризуватися інверсними спектрами $I(T)$, які вказують на наявність гомоаряду. Знак струму ТСД змінюється в області температур $T_1 \sim 630$ К і $T_2 \sim 715$ К. Ця особливість струмів ТСД в BSO одержана вперше. Величина повного овільнюваного у процесі ТСД заряду в залежності від умов поляризації змінюється в рамках $10^{-8} - 10^{-6}$ Кл.

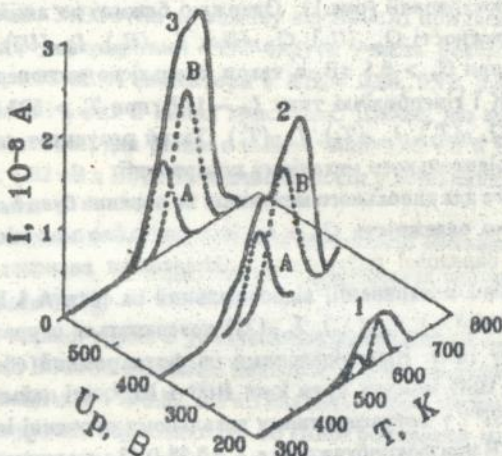


Рис.1 Струм ТСД для ТЕС кристалів BSO. Умови формування ТЕС: $T_p = 520$ К і U_p , кВ: 1- 0,2, 2- 0,4, 3- 0,6. А і В - піки, виділені в одержаних після спектрального розкладу термограм.

Аналізуються залежності низькотемпературних одиночних піків спектрів струмів ТСД від умов поляризації. Зроблено висновок про формування першої групи піків за рахунок об'ємно - зарядового механізму поляризації і другої групи піків - за рахунок двох механізмів: об'ємно - зарядового і квазідипольного.

Визначена енергія активації релаксаторів, що беруть участь у поляризації, за методом "початкового підйому" кривих $I(T)$: $\Delta E^{GG} = 0.39 - 1.55$ еВ. У цілому для ТЕС одержані менші ΔE^{GG} , ніж для ФЕС. Також визначені частотний фактор $\nu = 10^9 - 10^{17}$ сек $^{-1}$ і величина на-

континентою заряду $Q_m = 10^{-9} - 10^{-10}$ Кл для кожного з піків ТСД.

У спектральних контурах, що характеризують другу і третю групи піків струмів ТСД, було виділено по 7-12 індивідуальних смуг. При цьому енергія активації смуги ΔE оцінювалася за методом температурного положення максимуму. Потім аналізувалися залежності амплітуд I_m , звільнюваного заряду Q_m і спектрального положення кожної ці смуг від умов поляризації. Для двох, А і В, смуг $\Delta E_A = 0.93$ еВ і $\Delta E_B = 1.06$ еВ температура максимумів виявилася незалежною від умов поляризації (рис.1). Одержані близькі до лінійних при $U_p < 0.4$ кВ залежності $Q_{mA}(U_p)$, $Q_{mB}(U_p)$, $I_{mA}(U_p)$, $I_{mB}(U_p)$, які виходять на плато при $U_p > 0.5$ кВ, а також близькі до експоненціальних при $T_p < 523$ К і гіперболічні типу $I_m \sim 1/T_p$ при $T_p > 523$ К залежності $Q_{mA}(T_p)$; $Q_{mB}(T_p)$, $I_{mA}(T_p)$, $I_{mB}(T_p)$. Такий результат свідчить на користь квазидіпольного механізму поляризації.

Проте для дипольного механізму не повинна була б спостерігатися спектральна залежність Q_m і I_m , яка звичайно має місце у випадку об'ємно - зарядової поляризації. Зберігаючи висновок про дипольний механізм поляризації, відповідальний за піки А і В, залежності $Q_{mA}(\lambda_p)$, $Q_{mB}(\lambda_p)$, $I_{mA}(\lambda_p)$, $I_{mB}(\lambda_p)$ пояснюються з урахуванням фотохромізму BSO. Відповідальними за фотохромний ефект (ФХЕ) у кристалах BSO можуть бути іони Bi^{3+} і Bi^{5+} , які займають ваганти V_{Bi}^{4-} іонів Si^{4+} у тетраедричному локальному оточенні іонів O^{2-} . Механізм ФХЕ при фотообудженні в $\lambda_p = 0.38-0.43$ мкм визначається іонізацією зв'язків Bi-O в першій координаційній сфері іонів Bi^{5+} з переносом заряду від ліганда (O^{2-}) до металу (Bi^{5+}) з утворенням іонів Bi^{3+} : $Bi^{5+} + 2e \rightarrow Bi^{3+}$ і діркових центрів O^{2-} , O^- . У такому випадку комплекс в Bi^{3+} , O^{2-} , O^- і Bi^{5+} , O^{2-} , O^- можуть бути наділені дипольним моментом, а їх концентрація повинна залежати від λ_p .

У розділі 3.2 вивчено вплив легування кристалів BSO іонами Al і Ga на струми ТСД. Спостерігається суттєва зміна загального вигляду спектрів: повна деполаризація відбувається при більш низьких температурах (~ 700 К), ніж у чистому BSO (~ 850 К); відсутні інверсії знаку струму, тобто нова залежність від умов формування електретного стану в BSO:Al і BSO:Ga формується гетерозаряд; загальна величина накопиченого заряду Q_m на два-три ступені вища, ніж у чистих кристалах. У спектрах можна виділити дві групи піків, перша - в об-

ласті температур 250- 350 К, друга - в області 400 - 700 К; низькотемпературна група складається з одиночних піків симетричної форми, друга - описується широким спектральним структурованим контуром; спостерігається збільшення інтенсивності всіх піків на $\sim 1-2$ ступені.

Декомпозиція спектрів струмів ТСД негованих кристалів виявила інші, на відміну від BSO, спектри енергетичних станів релаксаторів. Показано, що виникають релаксатори з енергією активації $\Delta E_a < 0.4$ eВ і з $\Delta E_a = 1.29-1.38$ eВ, у той же час виникають нові - $\Delta E_a = 0.52, 0.67, 0.84$ eВ. У BSO:Ga на відміну від BSO:Al при ідентичних умовах поляризації у формуванні TEC беруть участь релаксатори з $\Delta E_a = 0.62, 0.93, 0.98$ eВ. Релаксатори з $\Delta E_a = 0.66, 0.72, 0.92, 1.02, 1.11$ eВ мають місце і в тих й інших кристалах. Цікаво, що величина заряду, який валасається, для рівнів з $\Delta E_a = 0.92, 1.07$ eВ в BSO:Al і $\Delta E_a = 0.73, 0.91, 1.02$ eВ в BSO:Ga значно росте у порівнянні з валовненням інших рівнів.

У розділі 3.3 ідентифіковані і обговорені механізми поляризації кристалів BSO:Al, BSO:Ga. Окремо розглянуті перша і друга групи піків струмів ТСД.

Для першої групи з урахуванням важежностей I_m і Q_m від умов поляризації BSO:Ga одержано висновок про те, що релаксатори з енергією активації $\Delta E^{GG} = 0.52, 0.8$ eВ являють собою локальні рівні захвату носіїв заряду, які обумовлюють об'ємно- зарядовий механізм поляризації. Рівні з енергією активації $\Delta E^{GG} = 0.87, 1.00$ і 1.21 eВ мають найбільшу густину станів.

Для другої групи піків спектри характеризуються одним широким хвостом зі складною структурою. З ростом поляризовуючого поля і температури інтенсивність струму ТСД і заряд, накопичений у процесі формування TEC для BSO:Ga і BSO:Al, збільшується. При цьому для BSO:Ga температурне положення основного максимуму ($T_m \sim 505$ К) не змінюється. Найбільшу чутливість струму ТСД проявляють до фіолетового освітлення з $\lambda_p = 0.38$ мкм, проте ця чутливість менша, ніж до U_p і T_p . Для BSO:Al при $T_p \geq 470$ К, на відміну від BSO:Ga, відбувається зменшення амплітуди піку зі зменшенням у високотемпературну область. Обговорюється можливість впливу квазібезперервності енергетичного спектру або зменшення ступеня валовнення пасток на зміщення спектрів струмів ТСД. При формуванні ФЕС червоном світ-

лом о $\lambda_p = 0.66$ мкм спостерігається максимальне об'єднання амплітуди піка в порівнянні з іншими λ_p . Найменшу чутливість кристал BSO:Al проявляє до синього світла ($\lambda_p = 0.43$ мкм).

При проведенні декомпозиції спектрів ТСД у кожній термограмі було виділено по 8-9 індивідуальних смуг. Енергії активації ΔE_a релаксаторів, відповідальних за компоненти високотемпературного спектрального контуру ТСД у кристалах BSO:Ga, одержані у діапазоні 0.62-1.12 еВ з величиною накопиченого заряду $Q_m = 5.6 \cdot 10^{-9} - 2.0 \cdot 10^{-7}$ Кл. Для BSO:Al $\Delta E_a = 0.67-1.31$ еВ і $Q_m = 5.2 \cdot 10^{-10} - 6.6 \cdot 10^{-8}$ Кл.

Показано, що об'ємний заряд ТЕС і ФЕС кристалів BSO:Ga створюється електронами, які локалізуються на пастках з енергією активації 0.90, 0.94 і BSO:Al - 0.72, 1.06 еВ. Як квазідиполі були ідентифіковані релаксатори з енергією активації 0.62, 0.67, 0.73-0.76, 0.82, 1.12 еВ в BSO:Ga і 0.67, 0.87, 1.11, 1.19-1.24 еВ в BSO:Al.

Треба відмітити, що релаксаторам з енергією активації 0.98, 1.04 еВ у кристалах BSO:Ga і 0.92, 0.98, 1.15, 1.31 еВ у BSO:Al відповідають піки ТСД, електричну активність яких не можна приписати ні дипольному, ні об'ємно-зарядовому механізму поляризації. Можливо, вони обумовлені агрегаціями дефектів.

У четвертому розділі подані результати дослідження особливостей координатного розподілу електричного поля і об'ємного заряду та обговорені причини інверсії струму деполаризації кристалів BSO.

Показано, що фотополяризація BSO приводить до різко нелінійного розподілу потенціала $\psi(x)$. Залежності $E(x)$ характеризуються падінням напруги поля в прикатодній області, ростом у прианодній і осциляціями в товщі образків. На достатньо великих по протяжності ділянках поле зникаючи мале і слабо залежить від координати. Якщо між кристалом BSO і Pt-електродом помістити діелектричний прошарок (сапуду), який виключає інжекцію, залежності $\psi(x)$ і $E(x)$ істотно змінюються, демонструючи мінімум поля і народження осциляцій ближче до катода, а також значно більшу високоомність прикатодної області у порівнянні зі прианодною. Умови фотополяризації (поляризуюче поле, спектральний склад світла, температура) роблять значний вплив на розподіл поля і заряду.

Вигляд просторового розподілу електричного поля і спектра струмів ТСД взаємопов'язані. Особливості у розподілі поля вказують на

інжекцію електронів із катоду, яка проявляється в інверсії знака струму ТСД.

Спільний аналіз особливостей розподілу поля і спектрів струму ТСД дозволив апробувати таку звану трьохрівневу модель, яка пояснює механізми валісу і стирання оптичної інформації слустошенням (при валісу) і валовненням (при стиранні) глибоких донорних рівнів з $\Delta E_{d1} = 2.6$ еВ при одночасному валовненні (при валісі) чи опустошенні (при стиранні) рівнів з $\Delta E_{d2} = 1.5$ еВ і термічній іонізації рівнів з $\Delta E_{d3} = 0.7$ еВ. Показано, що реальний спектр енергетичних станів, який контролює процеси валісу і стирання оптичної інформації, значно складніше, ніж трьохрівнева модель. У ньому роль кожного з рівнів моделі грає широкий набір взаємодіючих локальних рівнів, можливо, різної природи. Це вимагає істотної зміни модельних уявлень.

Описані експерименти по формуванню електричного стану на трьох типах структур: М-BSO-М, М-Д-BSO-Д-М і М-Д-BSO-М, де М-метал, Д- діелектрик, спрямовані на виявлення ролі інжекції в інверсії струмів ТСД.

У структурах М-Д-BSO-М наявність інверсії вивчалась тим, що діелектричний прошарок розмістився зі сторони катода. Величина струму ТСД на 1 ступінь менша, ніж у структурі М-Д-BSO-Д-М. Оскільки блокуючий катод виключає інжекцію, інверсія обумовлюється переполаризацією об'ємного заряду у внутрішньому полі по мірі нагрівання зразка. Якщо катодом був металічний електрод, то спостерігається утворення гетерозаряду. Відсутність інверсії при ТСД пояснюється тим, що інжектований заряд не дрейфує в об'ємі кристала до блокуваного слугою аноду, а видається через катод.

Показано, що при поляризації в області температур $T_p = 300-450$ К для структур М-BSO-М струмова інверсія (при $T \sim 630$ К) вивчається інжекцією електронів з катоду.

Однак експериментально виявлено, що знак струму ТСД може змінитися також у діапазоні $T \sim 715$ К. Тип контактів не впливає на ці високотемпературні інверсії. Обговорюються інші, не пов'язані з інжекцією, причини інверсії струму денполяризації: релаксація Максвелла - Вагнера у кристалі з неоднорідними по провідності шарами (при різному характері температурних залежностей провідності приелектродних шарів і об'єму) і переполаризація у внутрішньому полі

гомо- або гетероаряду.

Зроблено висновок про перевагу ефектів переполаризації у порівнянні з релаксацією Максвелла - Вагнера, який впливає на наявності інверсії знаку струму деполаризації в системі М-Д-BSO-Д-М. Складні прокладки виключають інжекцію електронів у зразок, а відсутність напильної платини на кристалі - формування прошаркової структури за рахунок поля контакту Pt-BSO.

У п'ятому розділі подані результати по впливу термо- і фотостимульованої поларизації при різних U_p , T_p і λ_p на температурну залежність діелектричної проникності $\epsilon(T)$ в діапазоні $T = 300-800$ К, а також на ВАХ і ВФХ кристалів BSO, BSO:Al і BSO:Ga.

Залежності $\epsilon(T)$ для ТЕС і ФЕС BSO якісно такі ж, як і для ненаполяризованого стану. $\epsilon(T)$ неполяризованих кристалів BSO, BSO:Al добре корелюють з приведеними в літературному огляді. Нові результати були отримані для $\epsilon(T)$ ТЕС і ФЕС BSO:Al, BSO:Ga.

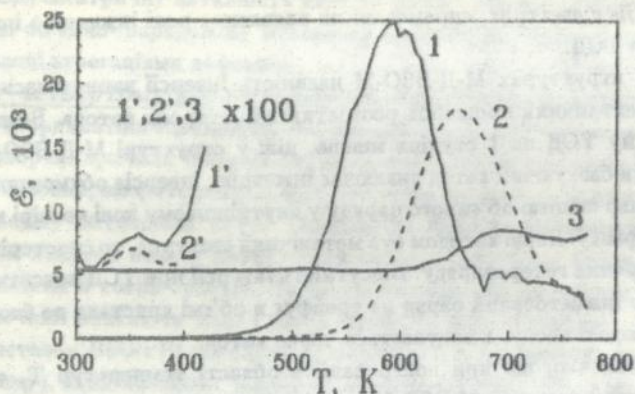


Рис.2 Залежності $\epsilon(T)$ кристалу BSO:Ga при різних частотах f вимірювального поля. Умови поларизації: $U_p = 240$ В, $T_p = 300$ К. f , кГц: 1- 0.1, 2- 1, 3- 100.

Виявлені температурні аномалії в $\epsilon(T)$. У діапазоні частот 0.1-10 кГц в BSO:Ga спостерігається співіснування двох максимумів $\epsilon(T)$. Зі збільшенням частоти вимірювального поля низькотемпературний пік зменшується без зміни свого температурного положення ($T_{m1} = 355$

K) і при $f=100$ кГц вироджується в плато (рис.2). Високотемпературний пік в $T_{m2} = 585$ K при $f=0.1$ кГц також значно зменшується, зміщуючись в область більш високих температур ($T_{m2} = 693$ K при $f=100$ кГц). Для BSO:Al низькотемпературний пік відсутній при всіх вимірювальних частотах, а поведінка високотемпературного піку аналогічна такій же для BSO:Ga. Спектри струмів ТСД і $\epsilon(T)$ у цілому корелюються між собою по температурному положенню максимумів, по залежності амплітуди від умов поляризації. Частотна динаміка піків характерна для більшечасових релаксацій. Аналіз залежностей $\epsilon(T)$ від умов поляризації вказує на існування деяких релаксаційних механізмів.

ВАХ і ВФХ для BSO при рівних λ_p і $T_p = 620$ K являють собою яскраво виражені спектрально чутливі петлі валонуючого гістерезису. Для BSO:Al і BSO:Ga спостерігаються петлі випереджуючого гістерезису, площина яких значно збільшується з ростом T_p і λ_p .

У шостому розділі представлені структури локальних енергетичних станів верхньої половини забороненої зони, відповідальних за об'ємно - барядовий механізм поляризації кристалів BSO, BSO:Al і BSO:Ga.

Показано, що відносно BSO спектр енергетичних станів для BSO:Ga зміщується вниз по шкалі енергій (відсутні дрібні рівні в $\Delta E_a < 0.5$ eV). Спектр рівнів BSO:Al займає проміжне положення. Дрібні рівні в BSO в $\Delta E_a < 0.5$ eV зв'язуються з нарахуванням донорних центрів. Відсутність дрібних рівнів у BSO:Al і BSO:Ga пояснюється тим, що іони Al^{3+} і Ga^{3+} заміщують іони Si^{4+} , утворюючи акцепторні рівні, які компенсують донорні.

Частина рівнів у BSO розміщена так близько один до одного, що можна передбачити їх квазібезперервність, є великий набір рівнів в інтервалі енергій $0.6 + 0.8$ eV, у легованих кристалах він відсутній. У цілому для BSO:Al і BSO:Ga структура зони спрощується, можна виділяти лише по дві групи рівнів у діапазонах $0.43 - 0.54$ і $0.9 + 1.2$ eV. Загальним для BSO:Al і BSO:Ga являються рівні $0.52 + 0.54$ eV. Легування Al і Ga приводить до збільшення накопичуваного заряду на 1- 2 ступені, у порівнянні з BSO.

Уважимо, що сформульовані основні результати роботи і висновки:

1. Вперше отримані в інтервалі температур $T = 180 - 800$ К спектри струмів термостимульованої деполяризації кристалів BSO, BSO:Al і BSO:Ga при варіюванні поляризуючого поля $E_p = 1 + 20$ кВ/см ($U_p = 0.01 + 2$ кВ) і температури $T_p = 250 + 570$ К, довжини хвилі фотоактивації $\lambda_p = 0.38 + 0.66$ мкм і умов на контактах.
2. Ідентифікований вклад об'ємно-варядного механізму поляризації. Визначені параметри локальних енергетичних станів верхньої половини забороненої зони: $\Delta E_a = 0.35 + 1.38$ еВ для BSO, $\Delta E_a = 0.53 + 1.12$ еВ для BSO:Ga і $\Delta E_a = 0.52 + 1.31$ еВ для BSO:Al, а величини накопиченого заряду для кожного рівня: $Q_m = 10^{-11} + 10^{-9}$ Кл, $Q_m = 10^{-9} + 10^{-7}$ Кл, $Q_m = 10^{-10} + 10^{-8}$ Кл для BSO, BSO:Ga і BSO:Al відповідно.
3. Виділено вклад квазідипольного механізму поляризації. Визначена енергія активації квазідиполів: $\Delta E_a = 0.93, 1.06$ еВ для BSO, $\Delta E_a = 0.62, 0.67, 0.73 + 0.76, 0.82, 1.12$ еВ для BSO:Ga і $\Delta E_a = 0.67, 0.87, 1.11, 1.19 + 1.24$ еВ для BSO:Al.
4. Визначені умови поляризації формування стабільного термо- і фотоелектричного станів. Показано, що для контактів BSO-Pt при напруженості поля $E_p > 2$ кВ/см ($U_p > 200$ В) має місце інжекція носіїв заряду в електрода у кристал. Подальша деполяризація кристала реалізується при обережній блокуючих властивостей контакту BSO-Pt і внаслідок конкуренції дрейфо-дифузних процесів супроводжується інверсією знака струму. Стабільність електричного стану дозволяє також спостерігати струмову інверсію, обумовлену переполіаризацією у внутрішньому полі кристалів BSO.
5. Вивчені закономірності зміни діелектричних властивостей і вольт-амперних характеристик кристалів BSO, BSO:Al і BSO:Ga в умовах термо- і фотостимульованої поляризації. Для термо- і фотоелектричного стану вперше виявлені максимуми на температурній залежності діелектричної проникності ϵ в інтервалі $T = 500 + 700$ К у кристалах BSO:Al і BSO:Ga і гістерезис залежностей $\epsilon(U_p)$ при $T_p > 600$ К у BSO, який збільшується з ростом T_p .

СПИСОК ПУБЛИКАЦІЙ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ.

1. Панченко Т.В., Трусеева Н.А., Потапович Ю.Н., Снежной Г.В. Термостимулированная поляризация легированных кристаллов $Bi_{12}SiO_{20}$ // в сб. Двухцветные кристаллы активных окислов. ДГУ. 1987. С.79-85.
2. Панченко Т.В., Потапович Ю.Н., Снежной Г.В. Поляризаационные эффекты и глубокие уровни в кристаллах $Bi_{12}SiO_{20}$ // Изв. АН СССР. Серия физическая. 1990. Т.54. N.4. С.781-786.
3. Панченко Т.В., Потапович Ю.Н., Снежной Г.В., Юдин С.П. Распределение электрического поля в кристаллах $Bi_{12}SiO_{20}$ // в тез. VI Всесоюзной конференции по физике диэлектриков. г.Москва. 1988. С.26.
4. Панченко Т.В., Потапович Ю.Н., Снежной Г.В. Поляризаационные эффекты и глубокие уровни в кристаллах $Bi_{12}SiO_{20}$ // в тез. XII Всесоюзной конференции по физике сегнетоэлектриков. г.Ростов-на Дону. 1989. С.120.
5. Панченко Т.В., Потапович Ю.Н., Снежной Г.В. Фотоэлектрическое состояние в кристаллах $Bi_{12}SiO_{20}$ // в тез. I Всесоюзной конференции по физике фотоэлектрических явлений в полупроводниках. г.Ташкент. 1989. С.107.
6. Панченко Т.В., Потапович Ю.Н., Снежной Г.В., Юдин С.П. Распределение электрического поля в кристаллах $Bi_{12}SiO_{20}$ // в сб. Двухцветные кристаллы активных окислов. ДГУ, 1989. С.140-145.
7. Панченко Т.В., Потапович Ю.Н., Снежной Г.В. Электрическое состояние в кристаллах $Bi_{12}SiO_{20}$ // в тез. Всесоюзной конференции "Реальная структура и свойства ацентричных кристаллов. г.Александров. 1990. С.161.
8. Панченко Т.В., Осецкий Ю.Г., Снежной Г.В. Электрохромный эффект в кристаллах $Bi_{12}SiO_{20}$, легированных ионами переходных металлов группы железа// в тез. IX Всесоюзного симпозиума по спектроскопии кристаллов, активированных ионами редкоземельных и переходных металлов. г.Ленинград. 1990. С.142.

9. Потапович Ю.Н., Панченко Т.В., Снежной Г.В. Автоматизированная установка для токовой спектроскопии полупроводников и диэлектриков// в тез. IV Всесоюзной конференции "Актуальные проблемы получения и применения сегнето-, пьезо-, пироэлектрических и родственных им материалов г.Москва. 1991. С.78.
10. Панченко Т.В., Снежной Г.В. Фото- и термоэлектрическое состояние в кристаллах $Bi_{12}SiO_{20}$ // Физ. тверд. тела. 1991. Т.33. N.12. С.3556-3561.
11. Panchenko T., Kudzin A., Potapovich Y., Snejnoj G. Polarization properties of $Bi_{12}SiO_{20}$ crystals// Topical meeting of Photorefractive material, Effects and Devices. USA. Washington, 1991.
12. Панченко Т.В., Снежной Г.В. Особенности поляризации кристаллов $Bi_{12}SiO_{20}$ // в тез. Всесоюзной конференции по сегнетоэлектричеству г.Тверь. 1992 С.67.
13. Панченко Т.В., Снежной Г.В. Влияние легирования на термодепривацию кристаллов $Bi_{12}SiO_{20}$ // в тез. Всесоюзной конференции по сегнетоэлектричеству г.Тверь. 1992. С.99.
14. Панченко Т.В., Потапович Ю.Н., Снежной Г.В. Автоматизированная установка для исследования термоактивационных процессов в диэлектриках и полупроводниках// Измерительная техника. 1992. N.5.
15. Панченко Т.В., Снежной Г.В. Роль инжекции электронов в формировании электрического состояния в кристаллах $Bi_{12}SiO_{20}$ // Физ. тверд. тела. 1992. Т.34. N.7. С.2017-2021.

11405011

AB 26.727

AB 26.727