

УДК 621.383.52

А.В. БУТ

*Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Україна***ВПЛИВ СУКУПНОСТЕЙ ДВОВИМІРНИХ ДЕФЕКТІВ СТРУКТУРИ НА СТРУКТУРУ ФОТОВІДКЛИКУ КРИСТАЛІВ ZnSe ТА ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg)**

*Шляхом прямого та зворотного дискретного вейвлет-аналізу зображень травлених поверхонь  $\{111\}$  кристалів ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg) та ZnSe виявлено різномасштабні угруповання дефектів структури, що формують структуру динамічного фотовідклику при комбінованому фотоелектрозбудженні. В рамках ентропійного підходу показана ефективність представлення кінетики фотоструму  $I(t)$  в виді сигнатури  $I(t) - dI/dt$  фазового простору. При цьому представлення площі сигнатури  $I(t) - dI/dt$  в виді множини дозволених фотоіндукованих динамічних станів дозволило провести декомпозицію кінетики фотоструму  $I(t)$  на складові, визначити їх парціальні вклади, ступінь взаємозв'язку та запропонувати інтегративний показник збалансованості фотоіндукованих станів. В результаті виявлено безпосередній зв'язок складного НДС зразків з особливостями динамічної структури їх фотовідклику, що може бути використано для вирішення ряду взаємозв'язаних технологічних, діагностичних і експлуатаційних проблем сенсорних кристалів ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg) і ZnSe.*

*Ключові слова:* сенсори, дефекти структури, фотовідклик, сигнатурний аналіз, вейвлет-аналіз.

**Вступ**

Сильно нерівноважні умови одержання великогабаритних буль кристалів ZnSe та ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg) сприяють виникненню радіальних та осьових градієнтів температур, які зумовлюють просторову неоднорідність процесів переносу, самоорганізації та релаксації при вирощуванні кристалів. В результаті поліморфного перетворення вюрцит-сфалерит та термоластичної деформації (двійникування, смуги ковзання) в великогабаритних булях ZnSe та ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg) відбувається формування складного НДС. При цьому самоорганізаційні процеси супроводжуються подальшою еволюцією дефектів структури булі, в процесі якої випадковість, нерівноважність і необоротність призводять до виникнення дефектів структури на різних масштабних рівнях та їх кластерів [1, 2]. Це проявляється в локальній нестійкості та індивідуальності спектрального, часового та просторового відкликів [2, 3] в результаті дії зовнішніх (полів, випромінювання, змін температури тощо) і внутрішніх чинників (релаксації залишкових напружень і т.п.). Все це обумовлює низку взаємозв'язаних технологічних та експлуатаційних проблем (нестабільності параметрів, локальної нестійкості характеристик, ефектів пам'яті і ін.) сенсорів на основі ZnSe та ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg).

Однак, в звичайних умовах дослідження індивідуальні особливості процесів переносу, накопичення і рекомбінації нерівноважних носіїв заряду вияв-

ляються в тонких, інколи ледве помітних, змінах електрофізичних характеристик кристалів [1, 4, 5]. Що свідчить про те, що кристал є системний об'єктом дослідження, у формуванні властивостей якого важливу роль відіграє саме характер взаємозв'язків між його підсистемами. При цьому відклик кристалу як системи має певну динамічну «структуру», яка є «джерелом» діагностичної інформації. Відповідно в відцифрованому відклику міститься значно більше діагностично-значимої інформації, аналіз якої досить неоднозначний, адже по суті маємо справу з дослідженням системних змін властивостей кристалічних сполук, які трудно виявляються та ідентифікуються. Тому розробка методів якісного та кількісного аналізу структури відклику кристалів ZnSe та ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg) надасть можливість встановити закономірності зародження та розвитку локальних нестійкостей електрофізичних характеристик, що й було основною метою даної роботи та визначає її актуальність.

**Об'єкт і методи дослідження**

Досліджувалися зразки ZnSe та ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg), виготовлені з великогабаритних буль діаметром 50 мм, які хімічно і механічно обробляли за відомими методиками [3]. Питомий опір досліджуваних зразків, що мають форму прямокутного паралелепіпеда з розмірами  $6 \times 6 \times 3$  мм і  $11 \times 11 \times 2$  мм, знаходився в межах

$$\rho \sim 5 \cdot 10^{10} - 5 \cdot 10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{см}.$$

Структурні дослідження, проведені рентгеновськими, оптичними, діелектричними і акустичними методами, виявили різноманіття ростових дефектів і наявність флуктуацій складу, які формують багатомасштабний потенційний рельєф [3, 4]. Для виявлення локальної нестійкості і індивідуальних особливостей характеристик проводилися циклічні вимірювання просторових та часових залежностей фотодікції (ФВ) сенсорів в автоматичному режимі за допомогою електрометричного перетворювача на основі операційного підсилювача AD795 (Analog Devices). Напруженість зовнішнього постійного або змінного полів встановлювалася в межах  $E = 10 - 10^3$  В/см. Для виявлення "тонких" інформаційних особливостей в структурі кінетики фотоструму (ФС), оцифровка проводилася з частотою вибірки  $10^4 - 10^5$  Гц за допомогою промислової системи збору даних ADVANTECH PCI-1711L з подальшою обробкою на персональному комп'ютері. Для аналізу сигнатур електрофізичних характеристик запропоновано аналізатор сигнатур, який реалізовано на ІМС С8051F121 (Signal) та на базі ПК. Контроль однорідності матеріалу здійснювався завданням певної ширини світлового зонда  $\Delta s$ , частоти тестуючого поля  $f$  і температури  $T$ .

### Структурні дослідження

Шляхом селективного травлення поверхонь {111} кристалів ZnSe та ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg) отримано фігури травлення, сформовані дефектами структури (ДС) різного типу та масштабу. За допомогою автоматизованого оптичного комплексу проведено аналіз фігур травлення зразків ZnSe та ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg) різної структурної досконалості. Шляхом цифрової обробки зображень травленої поверхні за допомогою дискретного двовимірного вейвлет-перетворення (рис. 1) по базису вейвлета Хаара, форма якого найбільш адекватно відображала характер рельєфу травленої поверхні, проведено більш детальний аналіз зображень травлених поверхонь в пакеті MatLab (Wavelet Toolbox), що обмежувався роздільною здатністю та чутливістю оптичного комплексу. Це дозволило:

а) збільшити контрастність зображення та виділити перепади яскравості, що зумовлені проявом ДС кристалічної решітки кристалів ZnSe та ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg);

б) провести аналіз розподілу ДС шляхом зміни рівня деталізації фігур травлення поверхні {111} кристалів в горизонтальному (рис. 1, б), вертикальному (рис. 1, в) та діагональному (рис. 1, г) напрямках.

В результаті вейвлет-аналізу фігур травлення встановлено, що найбільшу величину мають горизонтальні складові вейвлет-коефіцієнтів деталізації

(рис. 2, б). Це свідчить про те, що домінуючу роль в формуванні складного НДС відіграють двовимірні ДС, розподілені вздовж кристалографічного напрямку {111}.

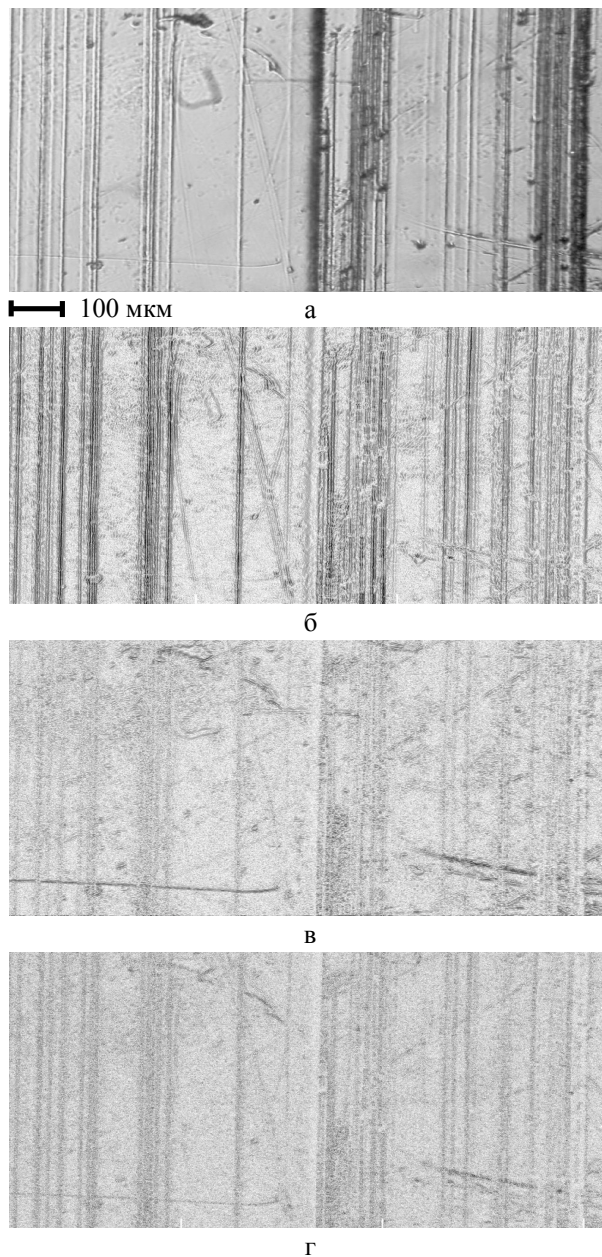


Рис. 1. Другий рівень дискретного вейвлет-розкладання зображення травленої поверхні:  
а – апроксимуючі коефіцієнти,  
б – горизонтальна складова коефіцієнтів деталізації,  
в – вертикальна складова коефіцієнтів деталізації,  
г – діагональна складова коефіцієнтів деталізації

В результаті на основі зворотного дискретного двовимірного вейвлет-перетворення виявлено різномасштабні угруповання двовимірних ДС (межі блоків, двійники, смуги ковзання і т. п.), що характеризувались близькими значеннями вейвлет-коефіцієнтів. За допомогою оптико-поляризаційних зображень встановлено, що різномасштабні угруповання

вання двовимірних ДС зумовлюють наведену оптичну різницю ходу в широкому діапазоні  $\Delta L \approx 1-5\lambda$  (в зразках завтовшки 6 – 9 мм) та відповідно різний рівень пружних полів, що проявлялося в плавній чи різкій зміні залишкових напружень, величину та знак яких визначено за допомогою компенсатора Релея.

### Вплив НДС на структуру фотовідклику

В результаті встановлено, що в кристалах ZnSe та ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg), яким характерний найбільш неоднорідне поле залишкових напружень  $\sigma_{\text{rem}}$  спостерігалось спотворення часового фотовідклику (рис. 2) зразків при фотозбудженні всієї кристалічної матриці.

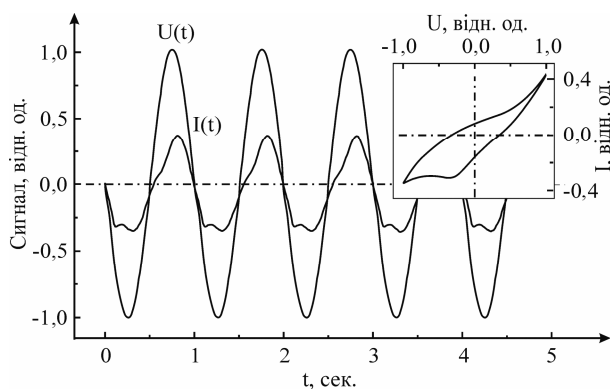


Рис. 2. Часовий фотовідклик та ВАХ кристалу ZnSe:Te, що містить сукупності ДС різного типу та масштабу

Це проявлялось в асиметрії форм динамічної ВАХ в протилежних квадрантах та нелінійності її фазових траєкторій (рис. 2). Для просторової локалізації областей кристалу, що відповідають за спотворення інтегрального ФВ проведено дослідження просторового ФВ у змінному та постійному полях. Так, шляхом сканування кристалу монохроматичним зондом різної ширини  $\Delta y$  від 50 до 200 мкм виявлено селективний вплив областей кристалу, що характеризуються різним рівнем залишкових напружень на відтвореність координатних залежностей як комплексної діелектричної проникності  $\varepsilon^*(y)$ , так і фотоструму  $I(y)$ .

Так для кристалів, що характеризувались низькою оптичною однорідністю, та високим рівнем залишкових напружень  $\sigma_{\text{rem}}$ , залежності  $I(y)$  та  $\varepsilon^*(y)$  погано відтворювались в локальних просторових областях при їх багаторазовому вимірюванні. Більш того, саме в просторових областях кристалів ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg) та ZnSe, що характеризувались різкою зміною залишкових напружень у прошарках (рис. 3, б, в) спостерігався складний харак-

тер перебудови просторових залежностей  $I(y)$  та  $\varepsilon^*(y)$  при збільшенні напруженості зовнішнього поля та температури.

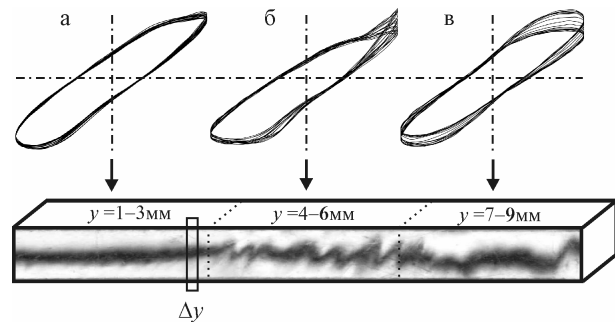


Рис. 3. Послідовності локальних ВАХ  $U-I(\Delta y)_{f,\lambda}$

частин зразка ZnSe:Te та розподіл  $\sigma_{\text{rem}}$ :

- а – ділянка зразка від 1 до 3 мм,
- б – ділянка зразка від 4 до 6 мм,
- в – ділянка зразка від 7 до 9 мм

При цьому застосування до таких кристалів електричного збудження в формі меандра призводило до суттєвої перебудови просторових залежностей фотовідклику  $I(y)$ , характер якої залежав від напруженості електричного поля, прикладеного вздовж кристалографічного напрямку  $\{111\}$  та шпаруватості електричних імпульсів. Все це свідчить про те, що різномасштабні угруповання двовимірних ДС формують в кристалах ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg) та ZnSe підсистеми, складний характер взаємозв'язків яких спричиняють локальну нестійкість просторових залежностей  $I(y)$  та  $\varepsilon^*(y)$  при різних видах зовнішнього збудження та, відповідно, спотворюють фотовідклик кристала при інтегральному фотозбудженні [5].

Для виявлення характеру взаємозв'язків таких підсистем були досліджені послідовності динамічних ВАХ кристалів ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg) та ZnSe, що характеризувались різним рівнем залишкових напружень  $\sigma_{\text{rem}}$ . В результаті встановлено суттєвий вплив характеру просторового розподілу залишкових напружень на форму фазових траєкторій динамічних ВАХ (рис. 3). Це проявлялось в суттєвому розмитті та асиметрії форм фазових траєкторій, а розходження фазових траєкторій при визначених  $y$  і  $U_{\text{кр}}$  вказує на зародження і розвиток локальної просторової нестійкості [2, 6]. При цьому встановлено, що точка початку розбіжності фазових траєкторій в пакеті, індукованих певною напругою  $U_{\text{кр}}$ , а також їх густина індивідуальні для кожної ділянки зразка. При цьому характер розподілу сигнатур  $U-I(\Delta y)_{f,\lambda}$  в пакеті, як підмножини замкнутих фазових траєкторій, відображає особливості динамі-

ки фотоелектронних процесів. Про це свідчить неадитивним характер форми пакетів просторових динамічних ВАХ (рис. 3) та форми динамічної сигнатури ВАХ при інтегральному фотозбудженні сенсора (рис. 2). Все це вказує на те, що в структурі динамічного відклику значну роль займає характер взаємозв'язків між підсистемами кристалів ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg) та ZnSe [7]. Саме для їх виявлення та аналізу були проведені дослідження кінетики їх фотоструму  $I(t)$  при фотозбудженні різних частин зразків П-подібними фотоімпульсами. В результаті встановлено, що форма кінетики ФС  $I(t)$  для різних областей кристалів ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg) та ZnSe (рис. 3) залежить від довжини хвилі фотозбудження  $\lambda$  та напрямку поля  $\vec{E}$ . Для виявлення та аналізу цієї різниці було здійснено перетворення залежності  $I(t)$  в сигнатуру  $I(t) - dI/dt$  [8, 9], що дозволило виявити індивідуальні динамічні особливості відцифрованого ФВ сенсорів (рис. 4).

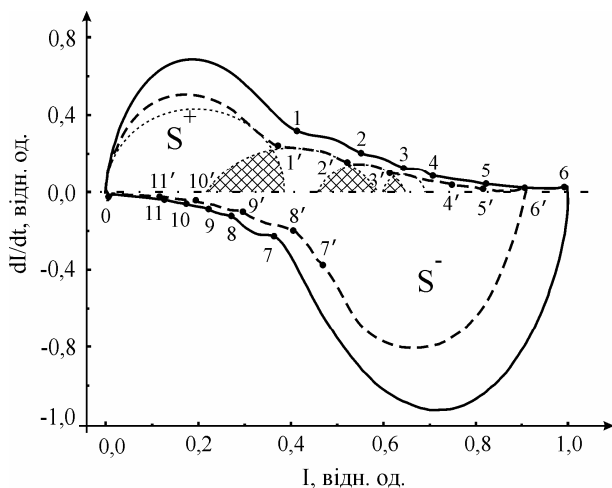


Рис. 4. Сигнатура  $I(t) - dI/dt$  кінетики фотоструму  $I(t)$  кристалу ZnSe (а) при  $\lambda = 800$  нм для різних ділянок зразку:  
 — 4 – 6мм; - - - 7 – 9мм.

Як видно з рис. 4 конфігурація сигнатури  $I(t) - dI/dt$  кінетики ФС являє собою замкнену послідовність з  $n$  дугоподібних ділянок, які відрізняються довжиною  $l$  та кривиною  $C = 1/R$ , де  $R$  – радіус відповідної дугоподібної ділянки. Сигнатура  $I(t) - dI/dt$ , по суті, трансформує кінетику ФС  $I(t)$  в своєрідний фотоелектричний цикл, в якому достатньо добре відображаються динамічні складові ФВ. Для оцінки їх парціального вкладу застосовано показник  $P = 1 \cdot C / 2\pi$ . В результаті якісний аналіз кількості та величини динамічних складових ФВ для різних областей кристалу (рис. 3) дозволив виявити їх залежність від розподілу залишкових напружень, довжини хвилі фотозбудження  $\lambda$ , величини та на-

пряму зовнішнього зміщуючого поля  $\vec{E}$ . Проте кількісний аналіз динамічних складових ФВ стримувався неможливістю визначення з необхідною точністю парціальних вкладів  $P$  відносно повільних складових ФВ, що зумовлено невизначеністю в вимірюванні довжини  $\Delta l$  і кривини  $\Delta C$  відповідних дугоподібних ділянок сигнатури  $I(t) - dI/dt$ , де  $\Delta l \times \Delta C = 2\pi$ . Оскільки конфігурація сигнатури  $I(t) - dI/dt$  по суті відображає фотоелектричний цикл в фазовому просторі то її площа є геометричною інтерпретацією потужності множини можливих фотоіндукованих динамічних (ФІД) станів  $W$  [9–11]. Саме тому натуральний логарифм від  $W$  статистично відображає Больцмановську ентропію  $S_B = k \ln W$  кристала як системи.

Виходячи з викладеного вище парціальному вкладу кожної динамічної складової ФВ можна поставити у відповідність певну підмножину можливих ФІД станів кристала. Здійснимо декомпозицію структури ФВ за допомогою розкладання множини ФІД станів кристала на сукупність  $n$  його підмножин  $\{W_k, W_{k+1} \dots W_n\} \in W$ , де  $k \in \{1 \dots n\}$ . Вони, по суті, інтегративно відображають  $n$  складових ФВ кристала ( $P_k \sim W_k$ ). Операції добутку, ділення і т.п. підмножин  $\{W_k, W_{k+1} \dots W_n\}$  дозволяють отримати нові підмножини, відносини між якими дозволяють одержати якісно нову інформацію. Так, для оцінки прихованих взаємозв'язків між складовими ФВ уявимо собі, що кожна  $k$ -та дугоподібна ділянка сигнатури є сегментом кола з площею  $S_k$ , яка відображає потужність підмножини можливих, для даного парціального вкладів, ФІД станів кристала. При цьому сусідні  $k$  і  $k+1$  сегменти перетинаються (рис. 4, заштриховані області). Площі заштрихованих областей відображають нові підмножини загальних станів  $W_k^{com}$ , потужність яких можна визначити через операцію добутку  $k$  і  $k+1$  підмножин  $W_k^{com} = W_k \cap W_{k+1}$ . Потім за допомогою операції симетричної різниці підмножин  $W_k$  і  $W_{k+1}$  визначимо потужність підмножини індивідуальних ФІД станів  $W_k^{ind} = W_k \Delta W_{k+1}$ . Тоді ступінь взаємозв'язку складових ФВ, що переक्रиваються в часі, можна встановити, використовуючи операцію відношення  $R$  підмножин  $W_k^{com}$  і  $W_k^{ind}$ , тобто  $f_k^{rel} = W_k^{com} R W_k^{ind}$ . Виявилось, що при наростанні ФС ступінь взаємозв'язку  $f_k^{rel}$  дійсно збільшується з  $k$ . Таким чином, довготривалі складові ФВ більш взаємозв'язані, а їх потужність  $W_k$  зменшується з  $k$ , що добре узгоджується з результатами, одержаними

раніше для Р парціальних вкладів ФВ. Аналогічним чином протікає процес при релаксації ФС. Очевидно, нерівність площ складових сигнатур  $S^+$  і  $S^-$ , обмежених контурами 0-1-...-6-0 і 0-6-...-11-0 (рис. 4), тобто  $S^+ - S^- \neq 0$ , є слідством динамічних особливостей генераційно-рекомбінаційних процесів у фотоелектричному циклі. При цьому системні зміни в динамічній структурі кінетики ФС інтегративно відображаються відношенням потужностей ФІД станів при наростанні і релаксації ФС, тобто відношенням площ  $S^+ / S^-$ . Тому можемо ввести безрозмірний показник збалансованості ФІД станів  $V_{din} = S^+ / S^-$ , який, по суті, інтегративно відображає характер взаємозв'язків між різними підсистемами кристалів ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg) та ZnSe. Дійсно, при фотозбудженні областей кристалу (рис.3) з різним рівнем залишкових напружень  $\sigma_{rem}$  показник збалансованості ФІД станів  $V_{din}$  може бути менше, більше або дорівнювати 1. При цьому встановлено, що величина показника  $V_{din}$ , а відповідно і конфігурація сигнатури  $I(t) - dI/dt$  кінетики ФС залежить від напрямку і величини зовнішнього поля  $\vec{E}$ , фотоактивної передісторії, енергії  $h\nu$  та часу фотозбудження. Так для частин кристалу, яким притаманний найбільший рівень залишкових напружень  $\sigma_{rem}$  (рис. 3, б, в), характерно найбільше відхилення величини показника  $V_{din}$  від 1. При цьому кількість динамічних складових, їх парціальні вклади  $P_i$  та ступінь їх взаємозв'язку  $f_i^{rel}$  також безпосередньо залежить від рівня залишкових напружень  $\sigma_{rem}$  та характеру їх просторового розподілу. Отже, залежність показника збалансованості динамічних станів  $V_{din}$  від параметрів зовнішнього збудження свідчить про зміну структури динамічного фотовідклику в результаті комбінованого фотоелектрозбудження. Саме тому застосування показника  $V_{din}$  для сигнатур  $I(t) - dI/dt$ , отриманих для різних ділянок монокристалічного зразка дозволяє з однієї сторони встановити діапазони зовнішніх чинників ( $\Delta E, \Delta\lambda, \Delta f, \dots$ ), при яких необоротна зміна фотоелектричного циклу максимальна (важливо при обробці кристалу) або мінімальна (важливо при експлуатації кристалу). А з іншої сторони кількісний аналіз структури ФВ шляхом сумісного застосування пакетів сигнатур динамічних ВАХ  $U - I(\Delta y)_{f,\lambda}$  та  $I(t) - dI/dt$  кінетики ФС дозволить провести експрес-діагностику функціональної подібності різних частин кристалічної булі та сенсорної якості

кристалів ZnSe в залежності від легуючих домішок (Te, Cu, Mg).

## Висновок

Таким чином перехід від «класичного» часового представлення електрофізичних характеристик кристалів ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg) та ZnSe до їх сигнатур фазової площини, наприклад  $U - I(\Delta y)_{f,\lambda}$  та  $I(t) - dI/dt$  дозволяє виявляти та аналізувати структуру динамічного ФВ. При цьому з одного боку стало можливим виявити і оцінити парціальні вклади динамічних складових ФВ, а також встановити їх зв'язок з рівнем залишкових напружень  $\sigma_{rem}$ . З другого боку геометрична інтерпретація площі сигнатури  $I(t) - dI/dt$  як потужності множини можливих фотоіндукованих динамічних станів дозволила здійснити декомпозицію структури часового ФВ, а також запропонувати інтегративний показник  $V_{din}$  збалансованості фотоіндукованих динамічних станів  $W$ . З його допомогою встановлено, що структура кінетики ФС виявляється в кількості  $n$  і величині парціальних внесків окремих її динамічних складових і ступені їх взаємозв'язків. Це дозволило виявити безпосередній зв'язок складного НДС кристалів ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg) та ZnSe з порушенням збалансованості ФІД станів, що відображають індивідуальні особливості генераційно-рекомбінаційних процесів. Вони обумовлені перебудовою взаємозв'язків між підсистемами кристалів, що проявляється в зміні енергетичного спектру центрів фоточутливості, який сформований дефектами різного типу і масштабу. Тому аналіз і кількісна оцінка системних особливостей динамічної структури ФВ, а також запропонований показник  $V_{din}$  можуть широко використовуватися для вирішення ряду взаємозв'язаних технологічних, діагностичних і експлуатаційних проблем сенсорних і інших сучасних матеріалів.

## Література

1. Усыченко В.Г. Самоорганизация электронов в электронных приборах / В.Г. Усыченко // Журнал техн. физики. – 2004. – Т. 74, №11. – С. 38-46.
2. Effect of two-dimensional structure defects on dielectric properties of CZT crystals / I.A. Klimenko, V.P. Migal, D.P. Nalivaiko // Functional Materials. – 2000. – Vol. 7, № 1. – P. 52-55.
3. Characterization of CdZnTe crystals grown by HPB method / A. Gektin, D. Nalivaiko, I. Klimenko, V. Migal, O. Panchuk, A. Rybka // Nuclear Instruments and Methods in Phys. Research. – 2001. – V. 458, № 1-2. – P. 113-122.

4. Koley G. Investigation of CdZnTe crystal defects using scanning probe microscopy / G. Koley // *Appl. Phys. Lett.* – 2007. – V. 90. – P.102-121.
5. Study of ferroelectricity and current-voltage characteristics of CdZnTe / D.J. Fu, J.C. Lee etc. // *Appl. Phys. Lett.* – 2007. – V. 81, № 27. – P. 5207.
6. Investigation of localized states in cadmium zinc telluride crystals by scanning photodielectric spectroscopy / V.P. Migal, O.N. Chugai, S.L. Abashin // *Applied Phys. Letters.* – 2002. – Vol. 81, № 2. – P. 4195-4197.
7. Кадомцев Б.Б. Динамика и информация / Б.Б. Кадомцев – М.: Физматлит, 2004. – 306 с.
8. Mygal V.P. The Temporal and Spatial Instability of Photoelectric Response of the CdZnTe Crystals / V.P. Mygal, A.S. Phomin // *Semiconductors.* – 2006. – Vol. 40, № 4. – P. 403-405.
9. But A.V. Evolution of the time and spatial photo-response instabilities of the sensors based on CdZnTe crystals / A.V. But, V.P. Mygal, A.S. Phomin // *Functional Materials.* – 2009. – Vol. 16, № 1. – P. 5-10.
10. Бут А.В. Фотозлектрические сигнатуры кристаллов CdZnTe / А.В. Бут, В.П. Мигаль, А.С. Фомин // *Физика и техника полупроводников.* – 2009. – Т. 43, №.9. – С. 1257-1260.
11. But A.V. CdZnTe Solid Solution Photocurrent Spectra in Parametric Form and their Discrete Wavelet Decomposition / A.V. But, V.P. Mygal, A.S. Phomin // *Semiconductors.* – 2009. – Vol. 43, № 5. – P. 608-612.

Надійшла до редакції 2.12.2010

**Рецензент:** д-р фіз.-мат. наук, завідувач відділу, старший науковий співробітник В.К. Комарь, НТК «Інститут монокристалів» НАН України, Харків.

#### ВЛИЯНИЕ СОВОКУПНОСТЕЙ ДВУМЕРНЫХ ДЕФЕКТОВ СТРУКТУРЫ НА СТРУКТУРУ ФОТООТКЛИКА КРИСТАЛЛОВ ZnSe И ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg)

А.В. Бут

Путем прямого и обратного дискретного вейвлет-анализа изображений травленных поверхностей {111} кристаллов ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg) и ZnSe выявлены разномасштабные совокупности дефектов структуры, что формируют структуру динамического фотоотклика при комбинированном фотозлектровозбуждении. В рамках энтропийного подхода показана эффективность представления кинетики фототока  $I(t)$  в виде сигнатуры  $I(t) - dI/dt$  фазового пространства. При этом представление площади сигнатуры  $I(t) - dI/dt$  в виде множества разрешенных фотоиндуцированных динамических состояний позволило провести декомпозицию кинетики фототока  $I(t)$  на составляющие, определить их парциальные вклады, степень взаимосвязи и предложить интегративный показатель сбалансированности фотоиндуцированных состояний. В результате выявлена непосредственная связь сложного НДС образцов с особенностями динамической структуры их фотоотклика, что может быть использовано для решения ряда взаимосвязанных технологических, диагностических и эксплуатационных проблем сенсорных кристаллов ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg) и ZnSe.

**Ключевые слова:** сенсоры, фотоотклик, диагностика, сигнатурный анализ, вейвлет-анализ.

#### INFLUENCE OF THE TWO-DIMENTIONAL STRUCTURAL DEFECTS AGGREGATES ON THE STRUCTURE OF PHOTORESPONCE OF THE ZnSe AND ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg) CRYSTALS

A.V. But

By the direct and reverse discrete wavelet-analysis of images of the etched surfaces {111} of the ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg) and ZnSe crystals the multiscale aggregates of the structural defects, that formed the structure of dynamic photoresponse at the combined photoelectroexcitation are exposed. Within the framework of entropy approach the efficiency of presentation of the photocurrent kinetics  $I(t)$  as the  $I(t) - dI/dt$  signature of the phase space is shown. Thus presentation of the  $I(t) - dI/dt$  signature area as a great number of the settled photoinduced dynamic states allowed to conduct decomposition of the photocurrent kinetics  $I(t)$  onto constituents, to define their partial holdings, degree of intercommunication and to offer the integrate index of the photoinduced states balance. Direct communication of difficult deflected mode of the samples with the features of dynamic structure of their photoresponse is exposed as a result, that can be used for the decision of list of associate technological, diagnostic and operating problems of the sensor ZnSe:X (X=Te, Cu, Mg) and ZnSe crystals.

**Key words:** sensors, photoresponse, diagnostics, signature analysis, wavelet-analysis.

**Бут Андрій Володимирович** – аспірант каф. фізики, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: butkach@mail.ru.