

УДК 331.101.1

ІНДИВІДУАЛЬНІСТЬ ФОТОВІДГУКУ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СЕНСОРІВ

Д. т. н. В. П. Мигаль, к. т. н. І. А. Клименко

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ»
Україна, м. Харків
igor-klimenko@yandex.ua

Установлено залежність динамічної структури фотовідгуку кристала ZnSSe та парціальних внесків її складових від напряму та величини зміщувального поля. Показано, що індивідуальність фотовідгуку обумовлена впливом самоузгодженої перебудови внутрішніх електричного і пружного полів дефектів кристала на генераційно-рекомбінаційні процеси.

Ключові слова: фотовідгук, динамічна структура, сигнатури

При експлуатації напівпровідникових сенсорів (детекторів, сцинтиляторів і ін.) на основі кристалів $A^{II}B^{VI}$ в екстремальних умовах виявлено ряд взаємопов'язаних проблем (індивідуальність, не однозначність і непрогнозованість). Проблеми обумовлені впливом технологічно успадкованої дефектної структури кристалів на характер взаємозв'язків між їх підсистемами [1, 2]. Це проявляється в індивідуальності перехідного фотовідгуку (ПФВ), яка визначає функціональні можливості сенсора [3]. Тому пошук ефективних засобів виявлення характеристичних ознак індивідуальності ПФВ напівпровідникових сенсорів є актуальним завданням.

У динамічній структурі ПФВ з одного боку відображається складний енергетичний спектр дефектів [4], а з іншого – певний «сценарій» перебудови взаємозв'язків між пружною та електронною підсистемами кристала для протидії зовнішнім збуренням. Для більш детального дослідження ПФВ проведено аналіз впливу напряму електричного поля на кінетику фотоструму кристалів ZnSSe в різних діапазонах довжини хвиль фотозбудження. Дослідження ростових дефектів електронно-мікроскопічними, рентгенівськими, оптичними і діелектричними методами виявили різноманіття дефектів структури і наявність флуктуацій складу.

Встановлено, що кінетика фотоструму залежить від довжини хвилі і інтенсивності фотозбудження, а також від величини і напряму зміщувального електричного поля. При цьому індивідуальність ПФВ проявляється в його анізотропії при збудженні з області максимуму спектра фотоструму $I(\lambda)$ ($I(\lambda) \approx 510$ нм). Аналізувати особливості ПФВ кристалів $A^{II}B^{VI}$ дозволила його геометризація в параметричному просторі $\{d^2I(t)/dt^2, dI(t)/dt, I(t)\}$ «прискорення — швидкість — стан» [4] (рис. 1). При цьому кінетика фотоструму кристала ZnSSe перетворюється в траєкторію динамічних подій, що відображені точками через рівні проміжки часу $\Delta t = 1/f_d$. Проекції траєкторії є сигнатурами 1-го $I(t) - dI/dt$ та 2-го $I(t) - d^2I/dt^2$ порядку (рис. 1). Як видно з рисунку, вони представляють собою замкнуту послідовність геометрично упорядкованих ділянок на фазовій площині, що формують її конфігурацію. Кожна така ділянка характеризується певною довжиною l і сталістю одного з диференційно-геометричних параметрів крутизни dI/dt або кривизни d^2I/dt^2 . Вони визначають парціальні внески динамічних і енергетичних складових структури. Ці параметри, а також площа, яку охоплює кожна з сигнатур, дозволяють здійснювати параметричну ідентифікацію зразків. Встановлено, що в сигнатурі $I(t) - dI/dt$ проявляються динамічні, а в сигнатурі $I(t) - d^2I/dt^2$ — енергетичні особливості ПФВ сенсора, а характер взаємозв'язків між ними визначає конфігурацію сигнатури 2-го порядку $dI/dt - d^2I/dt^2$ [4]. За формою така сигнатура є своєрідним біциклом, в якому просторово розділено підцикли наростання і спаду фотоструму. Характер змін швидкості dI/dt і прискорення d^2I/dt^2 при переході з одного квадранта площини «швидкість — прискорення» в іншій відображає

структуру параметричного біциклу функціонування (управління) ПФВ. При цьому площі S_{pow} , що охоплюються сигнатурою в чотирьох квадрантах, відображають потужності відповідних фаз управління ПФВ при наростанні та спаді фотоструму. Показники збалансованості потужностей основних фаз між собою утворюють матрицю, яка відображає динамічну структуру функціонування сенсора. Тому форма і площа підциклів є характеристичними ознаками індивідуальності динамічної структури ПФВ, які визначають матрицю показників.

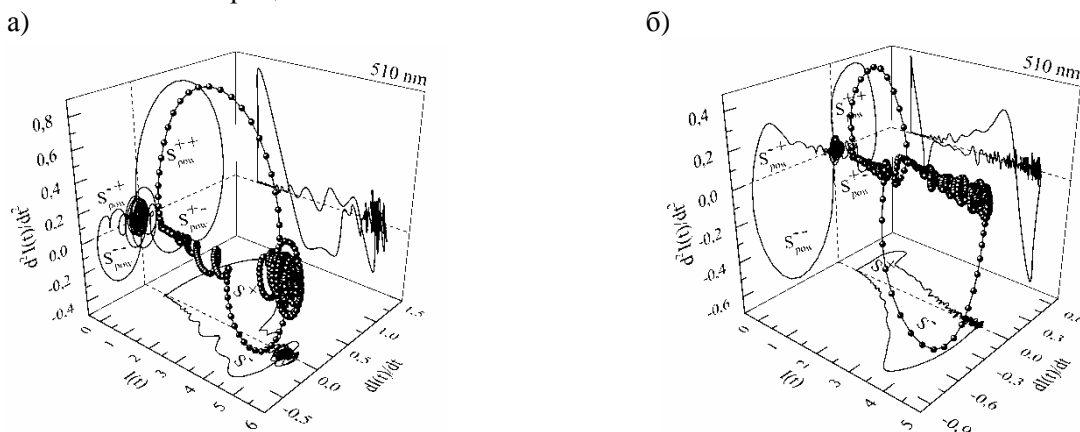


Рис. 1. Траєкторія динамічних подій у параметричному просторі «стан — швидкість — прискорення» та її проекції у вигляді сигнатур 1-го і 2-го порядку при прямому (б) і зворотному (а) зміщенні зразка ZnSSe та фотозбудженні з $\lambda \approx 510$ нм

Як видно з рисунку, у параметричному біциклі функціонування ПФВ найбільш повно відображається індивідуальність характеру перебудови просторово-часових взаємозв'язків між динамічними змінними в основних фазах ПФВ кристала. Отже, сценарій еволюції ФВ може бути представлений траєкторією динамічних подій в просторі «стан — швидкість — прискорення», які причинно-наслідково пов'язані між собою. Тому проекція траєкторії на площину «швидкість — прискорення» є сигнатурою $dI/dt - d^2I/dt^2$, яка відображає структуру параметричного управління ПФВ. Суттєвий вплив дефектів структури на біцикл функціонування свідчить про те, що він є технологічно успадкованим.

Таким чином, очевидно, «сценарій» функціонування закодований в дефектній структурі кристала та знаходить відображення в індивідуальності параметричного портрету ПФВ $dI/dt - d^2I/dt^2$. Саме він з різних (динамічної та енергетичної) точок зору відображає функціональні можливості сенсора і досить чутливий до внутрішніх та зовнішніх чинників.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Mygal V. P., Phomin A. S. Effect of structural inhomogeneities on the dynamic stability of the photoelectric response of $Cd_{0.9}Zn_{0.1}Te$ crystals // *Inorganic Materials*. — 2007. — Vol. 43, N 11. — P. 1179–1183.
2. But A.V., Mygal V.P., Fomin A.S. Photoelectric signatures of CdZnTe crystals // *Semiconductors*. — 2009. — Vol. 43, N 9. — P. 1217–1220.
3. Бут А. В., Мигаль В. П. Структура временного фотоотклика полупроводниковых сенсоров // *Журнал технической физики*. — 2012. — Т. 82, № 4. — С. 150 — 152.
4. Мигаль В. П., Бут А. В., Фомин А. С., Клименко И. А. Геометризация динамической структуры переходного фотоотклика халькогенидов цинка // *ФТП*. — 2015. — Вып. 49, № 5. — С. 648–652.

V. Mygal, I. Klymenko

Individuality of photoresponse of semiconductor sensors.

The dependence of photoresponse dynamic structure of ZnSSe-compounds and partial contributions of its components on the direction and magnitude of shifting field is investigated. It is shown that photoresponse individuality is determined by the influence of self-consistent internal restructuring of the electric and elastic fields of structure defects on generation-recombination processes.

Keywords: *photoresponse, dynamic structure, signature.*