

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ МОНОКРИСТАЛІВ

**Горбачова Тетяна Євгенівна**

УДК [539.1.074.3:535.373.2]:547

**ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СЦИНТИЛЯЦІЙНОГО СИГНАЛУ В  
ОРГАНІЧНИХ МОНОКРИСТАЛІЧНИХ, ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ І  
КОМПОЗИЦІЙНИХ СЦИНТИЛЯТОРАХ**

01.04.10 – фізика напівпровідників та діелектриків

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата фізико-математичних наук

**Харків-2017**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті сцинтиляційних матеріалів НАН України.

**Науковий керівник:** доктор фізико-математичних наук, професор  
**Галунов Микола Захарович,**  
Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України,  
в.о. завідувача відділу гетероструктурованих  
матеріалів;  
Харківський національний університет  
ім. В.Н. Каразіна, в.о. завідувача кафедри фізичної  
оптики.

**Офіційні опоненти:** доктор фізико-математичних наук, професор  
**Остапенко Ніна Іванівна,**  
Інститут фізики НАН України, провідний науковий  
співробітник, м. Київ

доктор фізико-математичних наук, професор  
**Рогачова Олена Іванівна,**  
Національний технічний університет “Харківський  
політехнічний інститут” МОН України, м. Харків

**Захист відбудеться 6 грудня 2017 р. о 14 годині** на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.169.01 при Інституті монокристалів НАН України за адресою 61001, м. Харків, пр. Науки, 60.

З дисертацією можна ознайомитись в науковій бібліотеці Інституту монокристалів НАН України (м. Харків, пр. Науки, 60) та на веб-сайті інституту за адресою [http://www.isc.kharkov.ua/page-specialized\\_concuil.html](http://www.isc.kharkov.ua/page-specialized_concuil.html).

Автореферат розісланий " \_\_\_\_ " листопада 2017 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат фізико-математичних наук

М. В. Добротворська

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Органічні твердотільні сцинтилятори є типовими діелектриками, які набули широкого застосування як матеріали для детекторів іонізуючих випромінювань. До класичних твердотільних сцинтиляторів можна віднести органічні монокристали та пластмаси. На процес розміну енергії іонізуючого випромінювання в органічних монокристалах і формування сцинтиляційного імпульсу істотно впливають пастки носіїв заряду. Найчастіше пастки - це центри структурного походження, що знаходяться на границях між блочними угрупованнями мозаїки, які можна трактувати і як скупчення дислокацій [1\*]. Одна й та ж структурна недосконалість кристалу створює пастку для носія заряду глибиною  $E_t$  та для молекулярного екситону - глибиною  $E_S$ . Завжди  $E_t > E_S$ , що свідчить про різний механізм впливу структурних недосконалостей молекулярних монокристалів на транспорт носіїв заряду і молекулярних збуджень [1\*, 2\*].

Нещодавно створено полікристалічні і композиційні системи на основі монокристалічних гранул, тобто окремих, невеликих за розмірами, дискретних монокристалічних структур, що можуть мати блочну структуру подібну до об'ємних монокристалів. На момент початку роботи над дисертацією вплив пасткових центрів на розмін енергії як носіїв заряду, так і молекулярних збуджень для цих нових об'єктів не вивчався. Разом із тим, переходячи від структурно досконалого монокристалу, де границі окремих блоків слабо розорієнтовано, до структури композиційного сцинтилятора (окремі, хаотично орієнтовані одна до одної гранули, які розділено тонким шаром прозорої гель-композиції) і до структури полікристалу (границі між хаотично орієнтованими оптично двовісними гранулами безпосередньо існують), можна отримати ідеальний набір об'єктів для вивчення впливу міжгранульних границь, як глибоких пасток, у процесі розміну енергії носіїв заряду і молекулярних збуджень.

Розуміння фізики процесів, що визначають формування сцинтиляційного сигналу в органічних сцинтиляторах, має і важливе практичне застосування. Воно надає вихідні дані як для визначення можливості найбільш ефективного використання таких сцинтиляторів в конкретних задачах науки і техніки, так і для розробки нових систем та вдосконалення існуючих.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалася відповідно до планів робіт Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України. Її результати пов'язані з дослідженнями, що проводилися авторкою відповідно до:

- 1) теми відомчого замовлення НАН України «Гетероген» («Особливості втрат енергії формування імпульсів світла в гетерогенних сцинтиляційних матеріалах», № держреєстрації 0107U003441);
- 2) теми відомчого замовлення НАН України «Ферміон-2» («Впорядкованість надмолекулярної структури органічних сцинтиляційних систем – детекторів нейтронного випромінювання та специфіка сцинтиляційного процесу в них», № держреєстрації 0110U001617);
- 3) теми відомчого замовлення НАН України «Лептон» («Органічні молекулярні сцинтиляційні системи з різною впорядкованістю надмолекулярної структури та особливості розміну енергії іонізуючого випромінювання в них», № держреєстрації 0108U003122);
- 4) договору № Ф58/381-2013 від 14.10.2013 р. («Механізми впливу високих доз іонізуючих випромінювань на сцинтиляційні і оптичні властивості нових типів органічних детекторів» № держреєстрації 0113U007096).
- 5) теми відомчого замовлення НАН України «Глюон» («Пористі органічні сцинтилятори та їх аналоги; особливості процесів збору світла в гетерогенних системах» № Держреєстрації 0116U002615).

### **Мета і задачі дослідження.**

Метою дисертаційної роботи було встановлення закономірностей впливу глибоких пасток, які виникають у композиційних і полікристалічних органічних сцинтиляторах, на механізм формування сцинтиляційного сигналу.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

- провести порівняльний аналіз спектрів фото- і радіюлюмінесценції монокристалів із композиційними і полікристалічними сцинтиляторами, гранули яких мали аналогічний хімічний склад, що й монокристали;
- дослідити кореляцію світлового виходу при різних типах збудження із особливостями структури розглянутих сцинтиляторів;
- провести порівняння розрахункового часу локалізації носіїв заряду на глибоких пастках із часом формування сцинтиляційного імпульсу;
- вивчити вплив глибоких пасток носіїв заряду на формування сцинтиляційного сигналу в органічних сцинтиляційних матеріалах на основі монокристалічних гранул.

**Об'єкт дослідження** - сцинтиляційний процес в органічних молекулярних системах.

**Предмет дослідження** - вплив глибоких пасток носіїв заряду на люмінесцентні та сцинтиляційні властивості органічних сцинтиляторів із різною структурою.

**Методи дослідження** - аналіз спектрів амплітуд сцинтиляцій, спектрів радіо- і фотолюмінесценції, дослідження оптичної прозорості сцинтиляторів та вивчення кінетики їх радіолюмінесценції.

**Наукова новизна одержаних результатів.** При проведенні комплексних досліджень оптичних і сцинтиляційних характеристик органічних монокристалічних, полікристалічних і композиційних сцинтиляторів **вперше** отримані наступні результати:

1. Доведено, що у матеріалів, які вивчались, при рентгенівському збудженні із погіршенням структурної досконалості інтенсивність піків в довгохвильовій частині спектру збільшується та виникають додаткові смуги у порівнянні з фотолюмінесценцією.

2. Доведено, що виникнення додаткових довгохвильових смуг люмінесценції при радіаційному збудженні композиційних і полікристалічних сцинтиляторів пов'язано із глибокими пастковими центрами структурного походження. Значення глибин глибоких пасток носіїв заряду дорівнює: для стильбену  $\Delta E_{20}, \Delta E_{30}, \Delta E_{40} = 0,18, 0,28, 0,42$  еВ; для антрацену  $\Delta E_{20}, \Delta E_{30}, \Delta E_{40} = 0,28, 0,45, 0,62$  еВ; *n*-терфенілу  $\Delta E_{20}, \Delta E_{30}, \Delta E_{40} = 0,28, 0,31, 0,67$  еВ; *n*-терфенілу, який активовано молекулами 1,4-дифеніл-1,3-бутадієна,  $\Delta E_{30}, \Delta E_{40}, \Delta E_{50} = 0,44, 0,59, 0,82$  еВ.

3. Показано, що часи локалізації на глибоких пастках суттєво перевищують характерний час формування сцинтиляційного сигналу, тому їх вплив на сцинтиляційний сигнал стає незначним.

4. Експериментально доведено, що світловий вихід при різних типах опромінення зменшується наступним чином: монокристал  $\rightarrow$  композиційний сцинтилятор  $\rightarrow$  полікристалічний сцинтилятор. Так, у композиційного сцинтилятора відносний світловий вихід на 15% менше від монокристалу, а для полікристалічних зразків на 40%.

5. Обґрунтована можливість використання моделі дискретного оптичного середовища при розрахунках коефіцієнтів збору світла для композиційних та полікристалічних сцинтиляторів. Виходячи з розрахунків, заснованих на цій моделі, було отримано, що у полікристалічних сцинтиляторів в порівнянні з монокристалічними, абсолютний світловий вихід менший: для стильбену на 12,5%, антрацену на 13%, *n*-терфенілу на 14,7% та активованого *n*-терфенілу -16%.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що вони можуть бути використані для створення детекторів великої площини з покращеними сцинтиляційними характеристиками. Це є особливо важливим при розробці детекторів, які реєструють найбільш шкідливі для людського організму короткопробіжні іонізуючі випромінювання.

### **Особистий внесок здобувача.**

Всі результати досліджень, які викладено у дисертації, отримано за безпосередньою участю її авторки. Вибір експериментальних зразків та постановку наукових задач проведено спільно з науковим керівником. У роботах [1-4, 6, 15, 16, 18] дослідження світлового виходу та розробка методики його вимірювання для композиційних і полікристалічних сцинтиляторів проводились на зразках, отриманих к.т.н. Лазарєвим І.В., к.т.н. Караваєвою Н.Л., Кречом А.В., к.ф.-м.н. Шляхтуровим В.В., Гордієнко Л.С. В роботі [8] наведено аналіз значень абсолютного світлового виходу, що базується на вимірюваннях технічного світлового виходу, проведених авторкою, і розрахунків коефіцієнтів світлозбору, проведених авторкою відповідно до методики розробленої д.ф.-м.н. Тарасовим В.А. Вимірювання спектрів оптичного пропускання було проведено разом із к.х.н. Панікарською В.Д., а їх аналіз надано авторкою у роботах [1, 2, 10, 11, 13-16]. Аналіз результатів вимірювання спектрів люмінесценції, отриманих к.ф.-м.н. Вягіним О.Г., чл.-кор. НАН України, д.ф.-м.н., професором Малюкіним Ю.В, а також спектрів радіолюмінесценції, отриманих Косіновим М.М., авторка провела в роботах [1, 3] Аналіз результатів рентгеноструктурного дослідження структури полікристалічних зразків на основі стильбену, виконаного к.ф.-м.н Федоровим О.Г. та к.ф.-м.н Лебединським О.М., авторка наводить у публікаціях [1, 9]. Авторкою безпосередньо проведено аналіз та інтерпретацію отриманих результатів з впливу пасткових центрів на сцинтиляційний процес у монокристалічних, композиційних та полікристалічних зразках на основі стильбену, антрацену, *n*-терфенілу і *n*-терфенілу, активованого 1,4-дифеніл-1,3-бутадієном (0,1% у розтопі) [3, 5, 7, 8, 14].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наступних наукових конференціях (тези доповідей опубліковано): Міжнародна конференція студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики Еврика-2011 та 2013 (Львів, Україна, 2011 та 2013), Міжнародна конференція молодих вчених і аспірантів ІЕФ-2011, 2013 (Ужгород, Україна, 2011 та 2013), Міжнародна школа-

семинар молодих вчених "Функциональные материалы для науки и техники" (Харків, 2012), Третя міжнародна конференція "Инженерия сцинтилляционных материалов и радиационные технологии" (Дубна, Росія, 2012), International conference "Functional materials" (Ukraine, Gaspra, 2013), Fifth International conference "Engineering of scintillation materials and radiation technologies" ISMART 2016 (Belarus, Minsk, 2016), XV конференція з фізики високих енергій, ядерної фізики та прискорювачей (Україна, Харків, 2017).

**Публікації.** Основні результати дисертації опубліковано у 18 наукових працях; із них 8 статей у міжнародних і вітчизняних фахових наукових журналах.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з вступу, 5 розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел. Повний обсяг дисертації складає 140 сторінок, дисертація містить 36 рисунків та 41 таблицю. Список використаних джерел складається з 126 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** викладено актуальність теми, визначено мету дисертаційної роботи, представлено методи, об'єкт, та предмет досліджень, визначено наукову новизну отриманих результатів та їх практичне значення, наведено дані щодо апробації результатів.

**Перший розділ** містить літературний огляд за тематикою на момент початку роботи над дисертацією. Розглянуто класичні органічні сцинтилятори, що використовуються для реєстрації короткопробіжних заряджених частинок. Проведено порівняльний аналіз особливостей сцинтиляційних систем. Описано основні особливості взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною сцинтилятора при збудженні альфа-частинками та конверсійними електронами.

У **другому розділі «Вибір зразків та методи досліджень»** надано опис дослідних зразків, обґрунтовано їх вибір, наведено особливості використання експериментального обладнання для вимірювання оптичних спектрів поглинання, люмінесценції та збудження люмінесценції, а також часового загасання люмінесценції, і особливості їх використання відповідно до задач дисертаційної роботи. Для вивчення властивостей досліджуваних зразків було проведено вимірювання спектрально-люмінесцентних характеристик при збудженні фотонами світла, рентгенівського і гамма випромінювання. Для вивчення структури досліджуваних зразків було

проведено рентгеноструктурний аналіз. Для проведення досліджень було обрано монокристалічні, полікристалічні та композиційні сцинтилятори розміром 30x5 мм на основі стильбену (як представника діарілетилєнів), антрацену (як представника поліаценів), *n*-терфєнілу (як представника поліфєнілів) і *n*-терфєнілу, активованого 1,4-дифєніл-1,3-бутадієном (0,1% у розтопі). Такий вибір зразків дозволив охопити всі основні типи кристалічних органічних матеріалів, які реально використовуються для створення сцинтиляційних кристалів або їх гранул. На прикладі неактивованого й активованого *n*-терфєнілу стало можливим вивчити особливості впливу утворення твердого розчину заміщення, що виникає при активації молекулярного кристала, на характеристики об'єктів із різною структурною досконалістю.

**У третьому розділі «Структурні особливості та спектрально-люмінесцентні характеристики монокристалічних, композиційних і полікристалічних сцинтиляторів».** Приведено дані рентгеноструктурного аналізу полікристалічних зразків на основі стильбену. Розраховано середнє арифметичне значення розорієнтації гранул за всіма рефlekсами і окремо за найбільш інтенсивним рефlekсом. Як наслідок отримано, що менші за розміром гранули (до 2 мм) помітно збільшуються у розмірах (в 2-3 рази), а великі гранула (2,2 - 3 мм) практично не змінюються в процесі гарячого пресування. Це було пояснено більшою рухливістю невеликих гранул під впливом тиску та нагрівання.

Порівняння спектрів рентгенолюмінесценції і фотолюмінесценції доводить, що при рентгєнівському збудженні інтенсивність піків в довгохвильовій частині спектру збільшується.

Специфіка вирощування органічного кристалу задає співвідношення його надмолекулярних і молекулярних особливостей, що й визначає відмінності в умовах транспорту зарядових станів і перенесення енергії електронного збудження. На перший погляд ці властивості мають проявлятися і при вивченні зразків на основі того ж полікристалічного матеріалу, що й відповідний монокристал. Аналіз спектрів рентгенолюмінесценції монокристалічних, полікристалічних і композиційних сцинтиляторів на основі антрацену, стильбену, *n*-терфєнілу і *n*-терфєнілу, активованого 1,4-дифєніл-1,3-бутадієном свідчить про те, що в спектрах радіолюмінесценції полікристалічних сцинтиляторів завжди виникають додаткові піки (в порівнянні із монокристалом) в довгохвильовій області спектра (рис. 1).



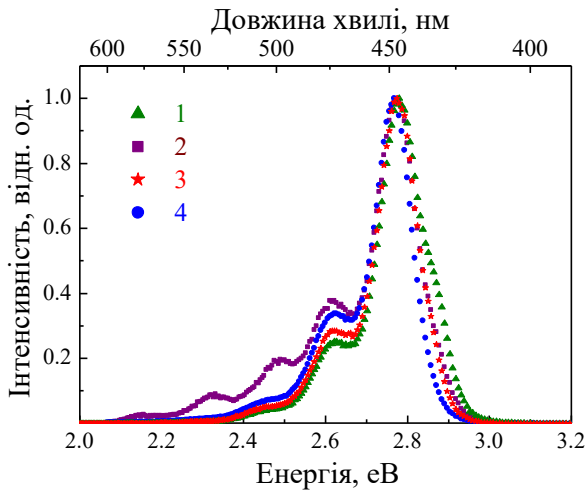


Рис.1. Спектри рентгенолюмінесценції монокристалічного (1), полікристалічного (2), одношарового (3) і багатшарового (4) композиційного скінтіляторів на основі антрацену як функція довжини хвилі і в енергетичній шкалі ; розмір гранул 2,2-2,5 мм.

Прозорість досліджених зразків зменшувалась у наступному порядку: монокристал  $\rightarrow$  одношаровий композиційний скінтілятор  $\rightarrow$  полікристалічний скінтілятор.

Найбільша відмінність в довгохвильовій частині спектрів рентгенолюмінесценції спостерігалася для монокристалів і полікристалів. Результати отримані щодо кореляції структури і спектрів збудження і люмінесценції добре узгоджувались із відповідними результатами по кінетиці фотолюмінесценції. Так, в спектрах збудження та люмінесценції полікристалічних зразків виникали зміщені в довгохвильову область додаткові полоси. Для такої люмінесценції характерним був той же самий, або трохи більший час загасання. Винятком були результати отримані для зразків на основі активованого *n*-терфенілу. Для них люмінесценція полікристалів спостерігалась при збудженні на всіх довжинах хвиль характерних для монокристалу. Це нашоує на висновок, що введення 1,4-дифеніл-1,3-бутадієну у розтоп викликає викривлення кристалічної ґратки поблизу молекули домішки, що призводить до формування пасткових центрів із енергією захоплення близькою до енергії глибоких центрів монокристалу *n*-терфенілу, здатних вплинути на тривалість імпульсу люмінесценції цих кристалів.

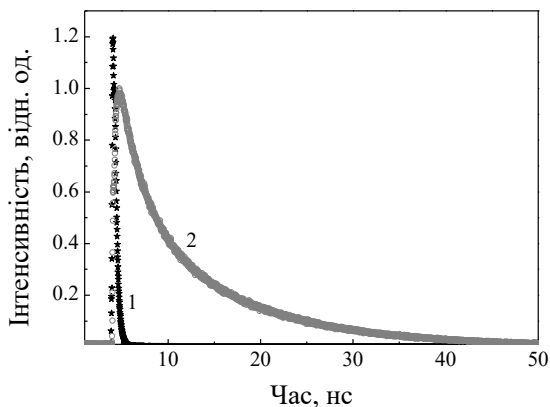


Рис.2. Кінетика загасання фотолюмінесценції при  $\lambda_3 = 425\text{нм}$ : 1-монокристал стильбену, 2-полікристалічний скінтілятор із розміром гранул 2,2-2,5 мм.

Рис.2 демонструє криві кінетики загасання люмінесценції, що збуджується світлом із довжиною хвилі  $\lambda_3 = 425$  нм, монокристалу стильбену (крива 1) і полікристалічного сцинтилятора (крива 2), який отримано гарячим пресуванням гранул стильбену із розмірами 2,2 - 2,5 мм. Опромінення монокристалу стильбену (рис. 2, крива 1) світлом із довжиною хвилі  $\lambda_3 = 425$  нм не викликає люмінесценції. Спостерігається лише дуже швидке загасання сигналу, що пов'язано з реакцією апаратури на збуджуюче світло. У полікристалічних зразків при такому збудженні люмінесценція виникає (рис. 2, крива 2).

Цей результат, як і результат вимірювань спектрів збудження, підтверджує висновок про приналежність низькоенергетичних піків до смуги поглинання пасткових центрів структурного походження.

У четвертому розділі «Енергії пасткових центрів та світловий вихід» представлено аналіз спектрів рентгенолюмінесценції. Спектри рентгенолюмінесценції, отримані в дисертаційній роботі, зазвичай містять не менше  $10^6$  імпульсів. Вони досить вузькі, але мають несиметричну частину в області малих енергій (великих довжин хвиль), що обґрунтовує спробу розкладання цих спектрів у вигляді декількох функцій Гауса (1) із різними значеннями математичного очікування  $E_{0i}$  [1\*]. Тобто, провести апроксимацію вибірки випадкових величин, що описують акти люмінесценції різних люмінесцентних центрів і формують загальний спектр люмінесценції, сумою декількох ( $1 \leq i \leq k$ ) гаусових кривих  $I_i$ , зміщених відповідно до значень їх математичного очікування  $E_{0i}$ :

$$I_i(E) = I_{0i} \times \exp \left[ -\frac{(E - E_{0i})^2}{2\sigma_i^2} \right] . \quad (1)$$

Кожний із розподілів Гауса (1) характеризується двома незалежними параметрами  $E_{0i}$  и  $\sigma_i$ , де  $E_{0i}$  – положення на шкалі енергій максимуму  $i$ - го розподілу Гауса,  $\sigma_i$  – середнє стандартне відхилення цього розподілу, а  $I_{0i}$  – постійна апроксимації.

Похибка такої апроксимації розраховувалася як:

$$\delta = \left| \sum_{E_{\min}}^{E_{\max}} \frac{I(E) - \sum_i I_i(E)}{I(E)} \right| \times 100\% , \quad (2)$$

де  $I(E)$  и  $I_i(E)$  – значення по осі ординат експериментальної та  $i$ - ой кривої апроксимації (1), відповідні енергії  $E_{\min} \leq E \leq E_{\max}$ . Апроксимація проводилася доти, поки  $\delta$  (2) не зменшувалось до  $\delta \leq$

5% тобто до значення, яке відповідає похибці отримання експериментальних даних.

Аналіз спектрів рентгенолюмінесценції монокристалічних сцинтиляторів на основі антрацену показав присутність характерних смуг із максимумами на довжині хвилі світла  $\lambda_0 = 446$  нм, а також додаткових смуг, максимуми яких відповідають довжині хвилі  $\lambda_1 = 473$  нм. У шкалі енергій це відповідає  $E_0 = 2,77$ ,  $E_1 = 2,62$  еВ. Тобто різниця енергій  $E_0$  і  $E_1$  дорівнює  $\Delta E_{10} = 0,15$  еВ. Виникнення таких глибоких пасток пов'язують із частковою деформацією кристалу при рості з розплаву [1\*]. Для одношарових і багатошарових композиційних сцинтиляторів  $\Delta E_{10} = 0,15$  еВ,  $\Delta E_{20} = 0,28$  еВ, відповідно, для полікристалічних сцинтиляторів  $\Delta E_{10} = 0,15$ ,  $\Delta E_{20} = 0,28$ ,  $\Delta E_{30} = 0,45$ ,  $\Delta E_{40} = 0,62$  еВ. Як відомо [1\*], глибокі локальні центри  $\Delta E_{30}$ ,  $\Delta E_{40}$  можуть бути утворені за рахунок скупчення дислокацій на границях блоків. Так, у кристалах антрацену і стильбену при скупченні  $n = 10$  дислокацій формується система пасток носіїв заряду із середньою енергією  $E_t = 0,2$  еВ, для  $n = 100$  середня енергія становить  $E_t = 0,85$  еВ [1\*, 3\*]

Аналіз спектрів рентгенолюмінесценції монокристалів стильбену показав, що максимум люмінесценції структурно досконалого кристалу відповідає довжині хвилі  $\lambda_0 = 380$  нм, а структурні недосконалості призводять до виникнення піку з максимумом довжини хвилі люмінесценції  $\lambda_1 = 405$  нм. В той же час у спектрах люмінесценції полікристалічних сцинтиляторів виникають ще й піки з максимумами довжин хвиль світла:  $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4 = 415, 425, 440$  нм (Рис. 3), що відповідають енергіям  $E_0 = 3,2$ ,  $E_1 = 3,06$ ,  $E_2 = 2,95$ ,  $E_3 = 2,89$ ,  $E_4 = 2,79$  еВ. Різниця енергій  $E_0$  і  $E_1$ ,  $E_0$  і  $E_2$ ,  $E_0$  і  $E_3$ ,  $E_0$  и  $E_4$  дорівнює  $\Delta E_{10} = 0,13$ ,  $\Delta E_{20} = 0,18$ ,  $\Delta E_{30} = 0,28$  еВ,  $\Delta E_{40} = 0,42$  еВ, відповідно.

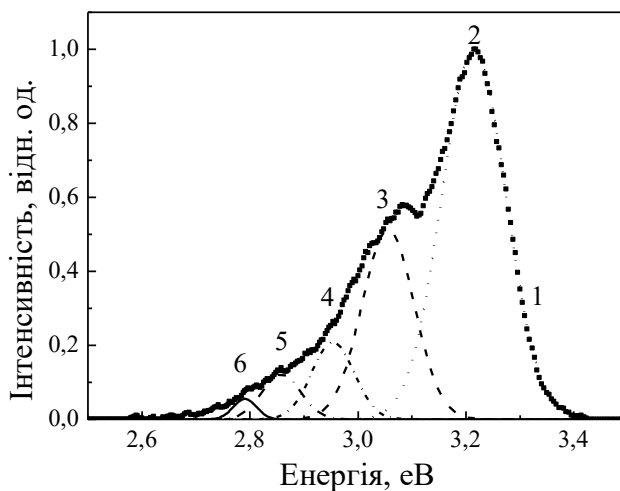


Рис.3. Спектри рентгенолюмінесценції полікристалічного зразка на основі стильбену із розміром гранул 2,2-2,5 мм у шкалі енергій (крива 1) і результат апроксимації розподілу 1 сумою розподілів Гауса (1) (криві 2-6).

Для зразків на основі неактивованого *n*-терфенілу аналіз спектрів

рентгенолюмінесценції монокристалічних скінтіляторів показав присутність характерної смуги з максимумом  $\lambda_0 = 380$  нм, а також додаткові смуги з максимумами довжин хвиль  $\lambda_1 = 395$  нм,  $\lambda_2 = 415$  нм,  $\lambda_3 = 440$  нм, що відповідають енергіям  $E_0 = 3,26$ ,  $E_1 = 3,11$ ,  $E_2 = 2,98$ ,  $E_3 = 2,8$  еВ. Різниці енергій  $E_0$  і  $E_1$ ,  $E_0$  і  $E_2$ ,  $E_0$  і  $E_3$ ,  $E_0$  і  $E_4$  дорівнюють  $\Delta E_{10} = 0,15$ ,  $\Delta E_{20} = 0,28$ ,  $\Delta E_{30} = 0,31$  еВ, відповідно. Для полікристалічних і композиційних скінтіляторів на основі *n*-терфенілу  $\Delta E_{10} = 0,15$ ,  $\Delta E_{20} = 0,28$ ,  $\Delta E_{30} = 0,31$ ,  $\Delta E_{40} = 0,67$  еВ, відповідно.

Аналіз спектрів рентгенолюмінесценції монокристалічних, полікристалічних і композиційних скінтіляторів на основі *n*-терфенілу активованого 1,4-дифеніл-1,3-бутадієном  $\lambda_0 = 380$  нм,  $\lambda_1 = 395$  і  $\lambda_2 = 420$  нм, а також додаткові смуги з максимумами  $\lambda_3 = 440$ ,  $\lambda_4 = 470$ ,  $\lambda_5 = 505$  нм. У шкалі енергій отримуємо:  $E_0 = 3,23$  еВ,  $E_1 = 3,12$  еВ,  $E_2 = 2,97$  еВ,  $E_3 = 2,79$  еВ,  $E_4 = 2,64$  еВ,  $E_5 = 2,47$  еВ. Різниці енергій  $E_0$  і  $E_1$ ,  $E_0$  і  $E_2$ ,  $E_0$  і  $E_3$ ,  $E_0$  і  $E_4$ ,  $E_0$  і  $E_5$  дорівнюють  $\Delta E_{10} = 0,15$ ,  $\Delta E_{20} = 0,29$ ,  $\Delta E_{30} = 0,44$ ,  $\Delta E_{40} = 0,59$ ,  $\Delta E_{50} = 0,82$  еВ, відповідно.

При введенні молекул 1,4-дифеніл-1,3-бутадієну в кристалічну ґратку *n*-терфенілу формується твердий розчин заміщення. В спектрах рентгенолюмінесценції як монокристалічних, так і полікристалічних зразків на основі *n*-терфенілу, активованого 1,4-дифеніл-1,3-бутадієном, спостерігаються піки, що відповідають наявності дрібних і глибоких пасток. Такі пасткові центри утворюються за рахунок викривлення кристалічної ґратки навколо молекули люмінесцентної добавки 1,4-дифеніл-1,3-бутадієну і, як випливає із результатів експерименту, маскують вплив можливих глибоких пасток монокристалу *n*-терфенілу на формування скінтіляційного сигналу в ньому.

Вищенаведені довжини хвиль додаткових смуг люмінесценції, характерні для полікристалічних зразків, отриманих гарячим пресуванням за пониженого тиску. Тому вони можуть бути пов'язані тільки із тими їх особливостями, що відрізняють їх від інших досліджених об'єктів. У цьому сенсі має йтись про формуванням границь між хаотично орієнтованими монокристалічними гранулами в зразках полікристалів, які не виникають у монокристалів. До глибоких пасток, які не виявлено для монокристалів, можна віднести  $\Delta E_{30}$ ,  $\Delta E_{40}$ ,  $\Delta E_{50}$ .

При оптичному збудженні динамічні пастки не з'являються, тому що не відбувається іонізація молекул, а за відсутності некомпенсованого носія заряду не виникає поляризація. Тому їх вплив здатний проявитись лише в спектрі радіолюмінесценції.

У розкладаннях спектрів рентгенолюмінесценції зразків на основі стильбену, антрацену, *n*-терфенілу і активованого 1,4-дифеніл-1,3-бутадієном *n*-терфенілу значення дисперсії гаусових залежностей (2), яке визначається параметром  $\sigma$ , практично однакове для пасток однакової глибини. Це свідчить про те, що їх формування пов'язане з появою однотипних структурних дефектів [1\*]. У всіх розглянутих органічних матеріалах світловий вихід зменшувався в наступній послідовності: монокристал  $\rightarrow$  композиційний сцинтилятор  $\rightarrow$  полікристалічний сцинтилятор.

Слід зазначити, що для всіх зразків світловий вихід при опроміненні конверсійними електронами був вищий, ніж при опроміненні альфа-частинками. Цей результат корелює з результатами вимірів оптичного пропускання. Він, зокрема, вказує ще й на наявність впливу оптичного пропускання у видимій області спектру на світловий вихід зразків. Цей вплив є більш істотним для короткопробіжного випромінювання. Тобто, як і слід було очікувати, розсіювання і поглинання світла сприяє зниженню вихідного потоку радіолюмінесценції композиційних і полікристалічних зразків.

**У п'ятому розділі «Абсолютний світловий вихід та аналіз пасткових центрів»** описано вплив глибоких пасткових центрів досліджених зразків на етапах формування сцинтиляційного сигналу. У структурно недосконалих полікристалів, на відміну від монокристалів, спостерігаються додаткові піки в довгохвильовій частині спектру рентгенолюмінесценції. Такі відмінності можна виявити і при порівнянні спектрів композиційних сцинтиляторів і монокристалів, але вони не настільки яскраво виражені. Присутність цих піків пояснюється підвищеною концентрацією пасткових центрів на границях гранул. Для з'ясування ролі таких центрів на формування сцинтиляційного імпульсу було проведено порівняння величин абсолютних світлових виходів монокристалічних і полікристалічних сцинтиляторів та вкладів цих додаткових піків в спектри рентгенолюмінесценції зі значенням абсолютного сцинтиляційного виходу відповідних зразків.

Для визначення коефіцієнтів світлозбору і абсолютного світлового виходу в полікристалічних сцинтиляторах на основі стильбену, антрацену, *n*-терфенілу, активованого *n*-терфенілу, а також для моделювання проходження світла, використано дискретну модель сцинтилятора стовпчастої структури. Для моделювання проходження світла в роботі застосовано метод Монте-Карло. При побудові траєкторій променів світла використовувалося наближення геометричної оптики, оскільки в досліджуваних гетерогенних

системах розміри гранул сцинтилятора на кілька порядків перевищують довжину хвилі світла сцинтиляції. У даній роботі весь об'єм зразку розбивався на умовні частини з розташуванням в кожній частині частки дисперсної фази заданої форми (випадкових розмірів і випадкового розташування). Розраховані коефіцієнти світлозбору дозволили отримати значення абсолютного світлового виходу. Вони були близькі для сцинтиляційних матеріалів однакових за своїм хімічними складом, а їх усереднені значення наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Усереднені значення абсолютного світлового виходу монокристалічних (МК) і полікристалічних (ПК) органічних сцинтиляторів.

Сцинтилятор	Стильбен		Антрацен		<i>n</i> -терфеніл		<i>n</i> -терфеніл активований	
	МК	ПК	МК	ПК	МК	ПК	МК	ПК
Середнє значення АСВ, $10^3$ фотонів/МеВ	16	14	30	26	17	14,5	25,5	21,5

Як впливає із величин, наведених у таблиці 5.1, абсолютний світловий вихід зменшується відносно монокристалів на 12,5%, 13%, 14,7% і 16% для полікристалічних зразків стильбену, антрацену, *n*-терфенілу і активованого *n*-терфенілу, відповідно. Ці величини і є безпосередніми оцінками впливу глибоких пасток на зменшення сцинтиляційного сигналу полікристалів.

Істотну інформацію можна отримати із співвідношень часів висвітлювання при оптичному збудженні і при збудженні іонізуючим випромінюванням. Фронт зростання сцинтиляційного спалаху полікристалічного зразка затягнутий щодо фронту зростання монокристалічного зразка, а фронт загасання сцинтиляційного спалаху полікристалічного зразка коротший за фронт загасання сцинтиляційного спалаху монокристалу. Для пояснення цих результатів треба прийняти до уваги той факт, що якщо час локалізації носія заряду на пастці перевищує тривалість формування сцинтиляційного сигналу, то ефект відтоку носіїв заряду призведе до зменшення числа рекомбінацій за час формування сцинтиляційного імпульсу. Дослідження форми розгорання імпульсу радіоломінесценції і його аналіз показали, що виникає додаткова затримка моментів висвітлювання сцинтиляційних фотонів, яка обумовлена проміжним етапом, тобто локалізацією носіїв заряду на дрібних динамічних пастках [4]. Цей час ( $\sim 10^{-10}$ с) досить малий і не може вплинути на інтенсивність сцинтиляційного сигналу, який

формується із часом  $2 \cdot 10^{-6}$ с [4]. Фронт згасання сцинтиляційного імпульсу полікристалу навпаки більш короткий ніж у монокристалу. Разом із падінням абсолютного світлового виходу полікристалу відносно монокристалу все це дуже нагадує додаткове гасіння радіолюмінесценції, що виникає у полікристалі. Таке пояснення добре узгоджується із наданим вище описом впливу глибоких пасток, які виникають у полікристалах, на процес формування сцинтиляційного сигналу в них. Відтік носіїв заряду на глибокі пастки і втрата їх для процесу рекомбінації на час формування сцинтиляційного сигналу, в свою чергу зумовить зменшення числа збуджених молекул і, отже, числа сцинтиляційних фотонів, що здатні надати внесок в сцинтиляційний імпульс. Тобто йдеться про часи загасання спалахів люмінесценції  $\tau_3$ ,  $\tau_4$ ,  $\tau_5$ , що відповідають додатковим довгохвильовим смугам для зразків на основі стильбену, антрацену, *n*-терфенілу і *n*-терфенілу, активованого 1,4-дифеніл-1,3-бутадієном, і можуть перевищувати, відповідні значення постійної часу формування сцинтиляційного імпульсу. Зробимо оцінки такої можливості. Якщо  $\xi$  це є частотний фактор, то час локалізації  $\tau_t$  на пастці глибиною  $E_t$  можна оцінити як:

$$\tau_t = \frac{1}{\xi} \left[ \frac{E_t}{kT} \right] . \quad (3)$$

Для розглянутих систем із температурою, вищою за температуру Дебая ( $T_D \sim 140$ К)  $\xi = 2.9 \cdot 10^{12} \text{с}^{-1}$  [1\*]. Розрахунок величин (3) для глибоких пасток дає: для антрацену  $\tau_{t3} = 1,1 \cdot 10^{-5}$  с,  $\tau_{t4} = 0,7 \cdot 10^{-2}$  с, для стильбену  $\tau_{t4} = 3,6 \cdot 10^{-6}$ с, для неактивованого *n*-терфенілу  $\tau_{t3} = 7,7 \cdot 10^{-6}$  с,  $\tau_{t4} = 2,5 \cdot 10^{-3}$  с,  $\tau_{t5} = 17,16$  с, для *n*-терфенілу активованого  $\tau_{t3} = 7,8 \cdot 10^{-6}$  с,  $\tau_{t4} = 2,7 \cdot 10^{-3}$  с,  $\tau_{t5} = 18,2$  с.

Тобто, відтік заряджених станів на глибокі пастки призводить до зменшення числа збуджених молекул, що формуються в процесі рекомбінації зарядових станів протягом часу, що можна порівняти з тривалістю формування сцинтиляційного імпульсу.

### Висновки

У дисертаційній роботі встановлено закономірності впливу глибоких пасток структурного походження, які виникають у композиційних та полікристалічних сцинтиляторах на їх оптичні та сцинтиляційні характеристики, як і їх вплив на механізм формування сцинтиляційного імпульсу. Дослідження проведено на прикладі сцинтиляторів на основі стильбену, антрацену, *n*-терфенілу та активованого *n*-терфенілу. Отримано такі наукові і практичні результати:

1. Вперше показано, що структурні порушення в полікристалічних зразках зумовлюють появу нових центрів люмінесценції, які, в свою чергу, викликають появу в спектрі люмінесценції полікристалічних зразків смуг із більшими довжинами хвиль максимуму  $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ , ніж у монокристалів. Так для полікристалів стильбену  $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4 = 415, 425, 440$  нм; антрацену  $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4 = 498, 533, 575$  нм; *n*-терфенілу  $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4 = 415, 440, 475$  нм; *n*-терфенілу активованого 1,4-дифеніл-1,3-бутадієном  $\lambda_3, \lambda_4, \lambda_5 = 440, 470, 505$  нм. Ці центри мають власний спектр збудження, який не викликає основної люмінесценції монокристалічних зразків.

2. Виникнення додаткових довгохвильових смуг люмінесценції при радіаційному збудженні композиційних і полікристалічних сцинтиляторів пов'язано з глибокими пастковими центрами структурного походження. Значення глибин пасток дорівнює для стильбену  $\Delta E_{20}, \Delta E_{30}, \Delta E_{40} = 0,18, 0,28, 0,42$  еВ; для антрацену  $\Delta E_{20}, \Delta E_{30}, \Delta E_{40} = 0,28, 0,45, 0,62$  еВ; *n*-терфенілу  $\Delta E_{20}, \Delta E_{30}, \Delta E_{40} = 0,28, 0,31, 0,67$  еВ; *n*-терфенілу активованого 1,4-дифеніл-1,3-бутадієном  $\Delta E_{30}, \Delta E_{40}, \Delta E_{50} = 0,44, 0,59, 0,82$  еВ, відповідно.

3. Доведено, що формування глибоких пасток носіїв заряду у полікристалічних сцинтиляторів призводить до зменшення абсолютного світлового виходу та часу висвітлювання у порівнянні з монокристалічними зразками.

4. З'ясовано, що локалізація носіїв заряду на глибоких пастках структурного походження в органічних сцинтиляторах впливає на формування сцинтиляційного сигналу подібно його гасінню і призводить до скорочення фронту загасання та зниження сцинтиляційного виходу.

5. Розрахунок часу локалізації носіїв заряду на глибоких пастках дає: для антрацену  $\tau_{t3} = 1,1 \cdot 10^{-5}$  с,  $\tau_{t4} = 0,7 \cdot 10^{-2}$  с, для стильбену  $\tau_{t4} = 3,58 \cdot 10^{-6}$  с, для *n*-терфенілу неактивованого  $\tau_{t3} = 7,7 \cdot 10^{-6}$  с,  $\tau_{t4} = 2,5 \cdot 10^{-3}$  с,  $\tau_{t5} = 17,16$  с, для *n*-терфенілу активованого  $\tau_{t3} = 7,8 \cdot 10^{-6}$  с,  $\tau_{t4} = 2,7 \cdot 10^{-3}$  с,  $\tau_{t5} = 18,2$  с. Наведені вище значення часу локалізації носіїв заряду на глибоких пастках на кілька порядків перевищують значення часу апаратного формування сцинтиляційного сигналу на навантаженні фотоприймача  $\tau_{ап} = 2 \cdot 10^{-6}$  с, тому їх вплив на формування сцинтиляційного сигналу, який реєструється, стає незначним.

6. Виходячи з моделі дискретного оптичного середовища для моделювання світлозбору в полікристалічних і монокристалічних сцинтиляторах були проведені розрахунки коефіцієнтів світлозбору, які дозволили отримати значення абсолютного світлового виходу. Вони були близькі для сцинтиляційних матеріалів однакових за своїм



хімічними складом, але у полікристалічних зразків при різних типах опромінення в порівнянні з монокристалічними, абсолютний світловий вихід менший для стильбену на 12,5 %, антрацену 13%, *n*-терфенілу на 14,7% та активованого *n*-терфенілу -16 % за рахунок впливу глибоких пасток носіїв заряду.

7. Встановлено закономірності зміни технічного світлового виходу, пов'язані зі збільшенням середнього шляху світла до вихідного вікна детектора, як у випадку переходу від монокристалічного до полікристалічного зразка, так і в разі переходу від об'ємного збудження до локального.

### Список цитованої літератури

1\* Silinsh, E. and Capek, V. (1994). *Organic Molecular Crystals*. New York: Am. In-te of Physics, pp.179-229.

2\* Поуп, М., Свенберг, Ч. (1985). *Электронные процессы в органических кристаллах*. Т.1. Москва: Мир, 544с.

3\* Гутман, Ф., Лайонс Л. (1970). *Органические полупроводники*. Москва: Мир, 696 с.

### Перелік опублікованих робіт за темою дисертації.

1. Поликристаллические сцинтилляторы на основе стильбена и их свойства / **Т.Е. Горбачева**, А.М. Лебединский, И.В. Лазарев, В.Д. Паникарская, Н.Н. Косинов, А.Г. Федоров // *Оптический журнал*. - 2012. – Vol.79, № 10. – С.86-90.

2. Scintillation and optical properties of polycrystalline p-terphenyl / **Т.Е. Gorbacheva**, N.Z. Galunov, V.D. Panikarskaya, I.V. Lazarev // *Functional Materials*. - 2013. – Vol.20, № 2. – P.149-152.

3. Сцинтилляционные свойства и особенности структуры поликристаллов стильбена, полученных методом горячего прессования / **Т.Е. Горбачева**, Н.З. Галунов, И.В. Лазарев, Н.Н. Косинов, О.Г. Вягин, Ю.В. Малюкин // *Журнал прикладной спектроскопии*. - 2014. – Vol.81, № 1. – С.165-168.

4. Композиционные и керамические органические сцинтилляторы – новые материалы для регистрации ионизирующих излучений / Н.З. Галунов, **Т.Е. Горбачева**, Н.Л. Караваева, И.В. Лазарев, А.В. Креч, О.А. Тарасенко // *Материаловедение*. - 2014. – № 4. – P.51-54.

5. **Gorbacheva Т.Е.** Specificity of radioluminescence of polycrystalline and composite scintillators based on organic single crystals granules / **Т.Е. Gorbacheva** // *Functional Materials*. - 2014. – Vol.20, № 3. – P.290-297.

6. Применение сцинтиллятора на основе активированного паратерфенила в составе комбинированного детектора / А.А. Ананенко, Л.А. Андрищенко, Ю.Т. Выдай, Л.С. Гордиенко, **Т.Е. Горбачева**, Б.В. Гринев, В.А. Тарасов, В.В. Шляхтуров // Приборы и техника эксперимента. - 2008. – № 6. – С.19-22.

7. **Gorbacheva T.E.** Features of radioluminescence of solid organic scintillators with different degrees of supramolecular ordering / T.E. Gorbacheva // Functional Materials. - 2015. – Vol.22, № 2. – P.225-232.

8. **Gorbacheva T.E.** Light collection simulation when determining light yield of single crystal and polycrystalline organic scintillators / T. E. Gorbacheva, V.A. Tarasov, N.Z. Galunov // Functional Materials. - 2015. – Vol.22, № 3. – P.408-415.

9. Полікристалічний сцинтилятор на основі стильбену: сцинтиляційні та оптичні властивості / **Т.Є. Горбачова**, В.Д. Панікарська, І.В. Лазарев, О.М. Лебединський // Еврика-2011: Міжнародна конференція студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики, 18-20 травня 2011р.: тези доповідей. - Львів, Україна, 2011. - С. С8.

10. Исследование сцинтилляционных и оптических свойств поликристаллического стильбена / **Т.Е. Горбачева**, В.Д. Паникарская, И.В. Лазарев // ИЭФ-2011: Конференція молодих вчених та аспірантів, 24-27 травня 2011р.: програма і тези доповідей. - Ужгород, Україна, 2011. - С.64.

11. Dependence of scintillation characteristics of the detectors on the base of polycrystalline stilbene on initial grain size / **T.E. Gorbacheva**, I.V. Lazarev, V.D. Panikarskaya, N.Z. Galunov // Functional materials: International conference (ICMF - 2011), 3-8 October, 2011: book of abstracts. - Partenit, Ukraine. - P. 446.

12. Поликристаллический стильбен и его свойства / **Т.Е. Горбачева**, И.В. Лазарев, В.Д. Паникарская, Н.Н. Косинов, Н.З. Галунов // Люминесцентные процессы в конденсированных средах: Международная молодежная научно-техническая конференция (ЛЮМКОС -2011), 11-18 ноября 2011 г.: тезисы докладов. - Харьков, Украина, 2011 – С.113.

13. Особенности структуры поликристаллов стильбена и их сцинтилляционные свойства. Третья международная конференция / **Т.Е. Горбачева**, И.В. Лазарев, В.Д. Паникарская, Н.Н. Косинов // Инженерия сцинтилляционных материалов и радиационные технологии: международная конференция (ИСМАРТ – 2012), 19 – 23 ноября 2012г.:тезисы докладов. - Дубна, Россия, 2012. – С. 31-32.

14. Особенности структуры поликристаллов стиблена и их сцинтилляционные свойства / **Т.Е. Горбачева**, И.В. Лазарев, В.Д. Паникарская, Н.Н. Косинов, Н.З. Галунов // ИЭФ-2013: Конференція молодих вчених та аспірантів, 20-23 травня 2013р.: програма і тези доповідей. - Ужгород, Україна, 2013. - С.247.

15. Influence of stilbene and p-terphenyl material structure on their scintillation and optical properties / **Т.Е. Gorbacheva**, I.V. Lazarev, V.D. Panikarskaya, N.Z. Galunov // Functional materials: International conference (ICMF - 2013), 29 September -5 October 2013: book of abstracts. - Yalta, Ukraine. - P. 366.

16. Оптичні та сцинтиляційні властивості полікристалічних зразків на основі стибену й *n*-терфенілу сцинтиляційні та оптичні властивості / **Т.Є. Горбачова**, В.Д. Панікарська, І.В. Лазарєв, М.М. Косінов // Еврика-2013: Міжнародна конференція студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики, 25-28 травня 2011р.: тези доповідей. - Львів, Україна, 2011. - С. С9.

17. **Gorbacheva Т.Е.** Light collection in composite and polycrystalline organic scintillators / Т.Е. Gorbacheva, V.A. Tarasov // Engineering of scintillation materials and radiation technologies: Fifth International conference, 26-30 September 2016. - Book of abstracts. - Minsk, Belarus, 2016. - P. 45.

18. Композиционные сцинтилляторы на основе неорганических гранул ( $Y_2SiO_5:Ce$  и  $Y_3Al_3O_{12}:Ce$ ) / Н.З. Галунов, Я.В. Герасимов, **Т.Е. Горбачева**, Б.В. Гринев, Н.Л. Караваева, А.В. Креч, Л.Г. Левчук, Е.В. Мартыненко, В.Ф. Попов, О.Ц. Сидлецкий, П.В. Сорокин, О.А. Тарасенко, С.У. Хабусева // XV конференция по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям, 21-24 марта 2017г.: тезисы докладов. - Харьков, Украина, 2017. - С.22 - 23.

## АНОТАЦІЯ

**Горбачова Т.Є. Особливості формування сцинтиляційного сигналу в органічних монокристалічних, полікристалічних і композиційних сцинтиляторах. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук 01.04.10 – фізика напівпровідників та діелектриків. – Інститут монокристалів НАН України, Харків, 2017.

Дисертація присвячена вивченню закономірностей впливу глибоких пасток структурного походження, які виникають у композиційних та полікристалічних сцинтиляторах на основі

стильбену, антрацену, *n*-терфенілу та активованого *n*-терфенілу на їх оптичні і сцинтиляційні характеристики, встановлено їх вплив на механізм формування сцинтиляційного імпульсу. Доведено, що формування глибоких пасток носіїв заряду у полікристалічних сцинтиляторів призводить до зменшення абсолютного світлового виходу та часу висвітлювання в порівнянні з монокристалічними зразками. Наведені значення часу локалізації носіїв заряду на глибоких пастках на кілька порядків перевищують значення часу апаратного формування сцинтиляційного сигналу. На моделі дискретного оптичного середовища для моделювання світлозбору в полікристалічних і монокристалічних сцинтиляторах були проведені розрахунки коефіцієнтів світлозбору, які дозволили отримати значення абсолютного світлового виходу. Вони були близькі для сцинтиляційних матеріалів однакових за своїм хімічними складом. Встановлено закономірності зміни технічного світлового виходу, пов'язані зі збільшенням середньої довжини шляху світла до вихідного вікна детектора, як у випадку переходу від монокристалічного до полікристалічного зразка, так і в разі переходу від об'ємного збудження до локального.

**Ключові слова:** радіолюмінесценція, сцинтилятори, пастки, світловий вихід

## АННОТАЦІЯ

**Горбачева Т.Е. Особенности формирования сцинтиляционного сигнала в органических монокристаллических, поликристаллических и композиционных сцинтиляторах. – Рукопись.**

Диссертация на соискания ученой степени кандидата физико-математических наук 01.04.10 – физика полупроводников и диэлектриков. – Институт монокристаллов НАН Украины, Харьков, 2017.

Диссертация посвящена изучению закономерностей влияния глубоких ловушек структурного происхождения, возникающие в композиционных и поликристаллических сцинтиляторах на основе стильбена, антрацена, *n*-терфенила и активированного *n*-терфенила на их оптические и сцинтиляционные характеристики. Установлено, что у материалов, у которых ухудшается структурное совершенство, появляются новые пики люминесценции в длинноволновой части

спектра. Эта дополнительная люминесценция имеет собственный спектр возбуждения, смещенный в длинноволновую область спектра относительно спектра возбуждения основной люминесценции сцинтиллятора той, что присущая неактивированным монокристаллам. Показано, что возникновение дополнительных пиков при радиационном возбуждении композиционных и поликристаллических сцинтилляторов, связано с существованием глубоких ловушечных центров. Впервые показано, что отличия структуры поликристаллов от структуры молекулярных кристаллов, приводит к формированию новых центров люминесценции и новых полос поглощения, что вызывает появление в спектре люминесценции поликристаллических образцов пиков с большими длинами волн, чем те, что наблюдаются для монокристаллов ( $\Delta E_s > 0,25$  эВ). Доказано, что формирование глубоких ловушек носителей заряда в поликристаллических сцинтилляторах приводит к уменьшению абсолютного светового выхода и времени высвечивания по сравнению с монокристаллическими образцами. Приведенные значения времени локализации носителей заряда на глубоких ловушках на несколько порядков превышают значения времени аппаратного формирования сцинтилляционного сигнала. Показано, что увеличение длительности фронта нарастания в органических поликристаллических сцинтилляторах происходит в результате локализации носителей заряда на мелких динамических ловушках поляризационного происхождения. Установлено, что локализация носителей заряда на глубоких ловушках структурного происхождения в органических сцинтилляторах эквивалентна тушению сцинтилляционного сигнала и поэтому приводит к сокращению фронта затухания и снижению сцинтилляционного выхода. На модели дискретной оптической среды для моделирования светособирания в поликристаллических и монокристаллических сцинтилляторах были проведены расчеты коэффициентов светособирания, которые позволили получить значение абсолютного светового выхода. Они были близки для сцинтилляционных материалов одинакового химического состава. Установлены закономерности изменения технического светового выхода, связанные с увеличением средней длины пути света к исходному окну детектора, как для случая сравнения монокристаллического и поликристаллического образцов, так и при переходе от объемного возбуждения к локальному.

**Ключевые слова:** радиолюминесценция, сцинтилляторы, ловушки, световой выход

## SUMMARY

**Gorbacheva T.E. Specific features of scintillation signal formation in organic monocrystalline, polycrystalline and composite scintillators.** – Manuscript.

Thesis for the scientific degree of candidate of physical and mathematical sciences by speciality 01.04.10 - Physics of semiconductors and dielectrics. – Institute for Single Crystals of NAS of Ukraine, Kharkiv, 2017

The dissertation is devoted to the investigation of the influence of deep traps of structural origin those arise in composite and polycrystalline scintillators based on stilbene, anthracene, *p*- terphenyl and activated *p*-terphenyl on their optical and scintillation characteristics. The influence of deep traps on the mechanism of formation of the scintillation signal is proposed. It is proved that the formation of deep traps of charge carriers in polycrystalline scintillators leads to a decrease of the light yield and decay time in comparison with single crystal samples. The time of localization of charge carriers on deep traps is by several orders of magnitude longer than the scintillation signal shaping time  $\tau_p = 2 \cdot 10^{-6}$ s. Light-collecting coefficients were determined using the model of discrete optical medium  $\phi$  for polycrystalline and single crystal scintillators. These coefficients were used for calculation of the light yield. The light yield of scintillation materials of the same chemical composition has close values. The patterns of changes in the light output associated with the increase in the average length of the light path to the detector's output window were found both in the case of transition from single crystal to polycrystalline sample as well as in the case of transition from volume to local excitation.

**Key words:** radioluminescence, scintillators, traps, light output