



С.В. Будаковський, М.З. Галунов, Б.В. Гриньов, О.А. Тарасенко

Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України, Харків

РОЗРОБКА ПРОМИСЛОВИХ МЕТОДІВ ОТРИМАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ДОСЛІДНОГО ВИРОБНИЦТВА СЦИНТИЛЯТОРІВ НА ОСНОВІ СТИЛЬБЕНУ ТА *n*-ТЕРФЕНІЛУ ДЛЯ МИТНОГО ТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ



*Наведені результати розробок промислових методів отримання органічних молекулярних сцинтиляторів на основі монокристалів і полікристалів стильбену та *n*-терфенілу для використання їх у системах митного та екологічного моніторингу у вигляді детекторів швидких нейтронів та детекторів короткопробіжних випромінювань, а також результати дослідження сцинтиляційних характеристик отриманих детекторів стильбену та *n*-терфенілу.*

*Ключові слова: органічний сцинтилятор, стильбен, *n*-терфеніл, технологія вирощування, очистка, полікристал.*

Внаслідок техногенної діяльності людини з'являються джерела радіації різних типів та енергій. Вплив їх на людський організм визначається у еквівалентній дозі випромінювання, яка дорівнює добутку поглиненої дози на ваговий фактор. Найбільш шкідливими є такі випромінювання, як α -випромінювання, нейтрони з енергіями від 100 кеВ до 2 МеВ [1]. Тому необхідні надійні вимірники іонізуючих випромінювань. Така надійність детектування нейтронів необхідна і при митному контролі забороненого провозу радіаційних матеріалів, які діляться. Тобто це — вимоги щодо діапазону енергій та надслабкої інтенсивності радіації (наприклад, внаслідок спроб екранувати джерело випромінювання).

Детектори з підвищеною ефективністю реєстрації іонізуючих випромінювань необхідні при здійсненні митного контролю за несанкціонованим перевезенням радіоактивних матеріалів, в радіобіології та медицині, а також при

проведенні експериментів у космосі. Для спектрометрії швидких нейтронів необхідні середовища з великим вмістом водню, здатні до радіолюмінесценції та розділення сигналів від нейтронів та фонового γ - випромінювання [2]. Для детектування короткопробіжних випромінювань найкращими вважаються сцинтилятори з малим ефективним зарядом ядер для зниження зворотного розсіяння (тобто органічні системи). Низка вимог до детекторів призводить до того, що коло можливих для таких використань об'єктів звужується до органічних сцинтиляційних кристалів та рідин. Водночас у багатьох випадках використання рідких сцинтиляторів з врахуванням умов експлуатації є небажаним.

Матеріалом із найкращими сцинтиляційними характеристиками для цих задач є монокристали стильбену. Леговані монокристали *n*-терфенілу мають близькі сцинтиляційні характеристики до монокристалів стильбену, але мають значно кращі експлуатаційні характеристики [2]. За останні роки потреба в цих кристалах на світовому ринку стрімко зростає.



Полікристали стильбену і *n*-терфенілу дають можливість отримувати сцинтилятори з вхідним вікном, розміри якого не обмежені технологією їх отримання.

Технологічна схема отримання таких органічних сцинтиляційних полікристалів розроблялася нами і раніше [3–5]. Із попередньо роздроблених монокристалів отримують монокристалічні гранули. Використовуючи систему каліброваних сит, відбирають гранули з розмірами, які відповідають величинам пробігу частинок, що реєструються (наприклад, для нейтронів — це протони віддачі). Відібрані гранули пресуються. Прес-форма задає розміри отриманого сцинтилятора. Запропонована нами розробка дасть змогу налагодити виробництво в Україні високотехнологічної конкурентоспроможної продукції і задовольнить потребу в детекторах для приладів митного контролю, радіоекології, експериментальної ядерної фізики і енергетики.

Успішність виконання поставленого завдання гарантувалася наявністю значного доробку в цьому питанні. Співробітниками Інституту сцинтиляційних матеріалів вперше було показано [6, 7], що введення в розплав електроноакцепторних домішок створює новий підхід до керування кристалізацією органічних речовин і дозволяє проводити процес на більших швидкостях, отримувати більш досконалі кристали більшого діаметра та з більшим виходом світла. За цикл робіт по вивченню фундаментальних основ цього явища Президія Національної академії наук нагородила співробітників інституту *М.З. Галунова* та *С.В. Будаковського* премією ім. І.М. Францевича за 1992 рік. До сих пір ця розробка є пріоритетом української науки. Ці питання, як і технологія пресування, розроблялись у рамках фундаментальних матеріалознавських досліджень, які було проведено за проектами відомчого замовлення НАН України.

Для організації виробництва і стабільного постачання замовникам органічних молекулярних сцинтиляторів на основі монокриста-

лів і полікристалів стильбену та *n*-терфенілу було запропоновано розробку промислової технології вирощування монокристалів та отримання полікристалів. З цією метою були придбані пристрої для комплектації ростового обладнання і термостабілізації технологічних приміщень, в яких мали вирощуватись кристали та виготовлятися сцинтиляти.

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОЗРОБКИ ПРОМИСЛОВИХ МЕТОДІВ ОТРИМАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ДОСЛІДНОГО ВИРОБНИЦТВА СЦИНТИЛЯТОРІВ НА ОСНОВІ СТИЛЬБЕНУ ТА *n*-ТЕРФЕНІЛУ

Синтез та очистка органічної сировини

Нами використовувалася методика продукування стильбену шляхом піролізу бензальазину. Досліди по термічному розкладанню азинів проводили в сталевому однолітровому апараті з кришкою, яка загвинчувалась, із пристосованими двома штуцерами для термопар і скляного відводу, через який здійснювалася відгонка речовин, що виділялися. Нагрівання апарата здійснювали в електричній печі, і апарат установлювали так, щоб його можна було пересувати у вертикальному напрямку. Температуру маси регулювали глибиною занурення апарата в піч. Система була герметичною; гумову трубку, приєднану до приймача, опускали в колбу з бензолом. Швидкість розкладання визначали по інтенсивності виділення азоту, який барботувався через воду. При отриманні стильбену на вищеописаному устаткуванні повітряний холодильник обігрівався електричною спіраллю, оскільки стильбен, що відганявся, викристалізовувався на стінках холодильника. Після закінчення перегонки живлення печі відключали, відігнану масу стильбену і бензонітрилу розплавляли на гліцериновій бані, виливали в ступку, охолоджували і подрібнювали. Після цього суміш переносили на фільтр, ретельно віджимали, промивали ізопропіловим спиртом (2–3 рази по 50 мл), знову ретельно віджимали і сушили при температурі 35–40 °С.

Отриманий стильбен очищували двома перекристалізаціями. Температура плавлення стильбену – 125 °С. Отриману сировину додатково очищували як вертикальною, так і горизонтальною зонною плавкою, або вертикально спрямованою кристалізацією. З отриманої сировини вирощувалися кристали і досліджували їхні сцинтиляційні характеристики, що було основним критерієм якості.

Чистота сировини досліджувалася хроматографічним методом на газовому хроматографі «Кристал-2000». В сировині фірм «Merck» і «Fluka» присутня домішка X2, якої немає в сировині, що продукувалася при виконанні задач проекту. Дослідження хроматографічним методом, методами ІК-спектроскопії, ЯМР-спектрометрії на спектрометрі високого розділення Varian Mercury-VX-200 не дали можливості ідентифікувати її, але з 80%-им припущенням можна вважати, що це диметилантрацен. Результати досліджень дають підставу припустити, що ця домішка є вуглеводнем, у структуру якого не входять гетероатоми, а молекулярна структура цієї домішки дозволяє їй легко вбудовуватися в кристалічну ґратку транс-стильбену. Це підтверджується неефективністю використання такого тонкого методу очищення, як зонна плавка. Ця домішка негативно впливає на процес перенесення енергії збудження від матриці до центрів світіння в кристалі. Світловий вихід при збудженні електронами конверсії радіонукліда ^{137}Cs кристалів, вирощених із сировини фірм «Merck» і «Fluka», складав 50–70 % світлового виходу кристалів, вирощених із сировини виробництва ІСМА. І лише після застосування дорогих багатостадійних методів очищення до сировини виробництва фірми «Fluka» вдалося отримати кристали високої якості, порівнянні з кристалами виробництва ІСМА. Для отримання органічних монокристалів стильбену високої структурної досконалості необхідно було розробити та відпрацювати методику очищення стильбену методом спрямованої кристалізації.

Для вирощування монокристалів *n*-терфенілу одержують із відходів виробництва дифені-

лу, які піддають фракційній перегонці при атмосферному тиску, основну фракцію відбирають при температурі пари 360–370 °С і очищують її перекристалізацією з трихлоретилену. Чистота *n*-терфенілу (комерційний продукт), що випускається промисловістю [8], оцінюється відповідно до ТУ6-09-4049-91 за такими основними параметрами: температура плавлення, сцинтиляційна ефективність і відносний світловий вихід люмінесценції, оптична прозорість розчинів в інтервалі довжин хвиль 370–400 нм. Ці параметри дають можливість оцінити придатність *n*-терфенілу для подальшого використання, але не дають кількісного уявлення про його чистоту. Труднощі в оцінці чистоти *n*-терфенілу пов'язані ще й з його низькою розчинністю в органічних розчинниках, а також схильністю утворювати з деякими речовинами тверді розчини, що приводить до великої похибки при використанні калориметричних методів.

Оцінка чистоти комерційного продукту хроматографічними методами та методами калориметрії дозволяє стверджувати, що вміст основної речовини складає біля 99 %.

Вирощування структурно-досконалих органічних монокристалів

Методи вирощування органічних кристалів, які існували наприкінці 80-х років ХХ ст., не давали можливості отримувати в умовах промислового виробництва зразки нелегованих монокристалів діаметром більше 60 мм [2, 9].

Запропонований нами підхід вирощування органічних монокристалів з регулюємою мірою структурної досконалості дав можливість досягти значного прогресу в отриманні органічних сцинтиляторів великих розмірів [6, 10, 11]. Цей метод базується на тому, що при введенні в розплав вирощуваного кристала термічно стабільних домішок, які мають електроноакцепторні властивості по відношенню до неполярних молекул основної речовини, утворюються міжмолекулярні комплекси *молекула основи–молекула домішки* із переносом заряду

(МКПЗ). Ці електроноакцепторні домішки (ЕАД) впливають на кінетику процесу кристалізації та властивості монокристалів. Внаслідок поляризаційної взаємодії ЕАД орієнтують молекули розплаву. При цьому виникає часткове упорядкування розплаву, а також формування майбутніх центрів кристалізації. В результаті процесів, які відбуваються в розплаві та на границі *тверде тіло–розплав* стають можливими контроль за мірою структурної досконалості кристалів та підвищення швидкості їхнього вирощування. Середнє квадратичне розорієнтування блоків мозаїки є характеристикою, яка описує ступінь структурної досконалості вирощуваних кристалів. За рахунок варіювання концентрації ЕАД в розплаві цю величину вдалося змінювати від 160' до 26'. Цей ефект був зафіксований при вирощуванні неактивованих кристалів антрацену, дуролу, дифенілу, нафталіну та *n*-терфенілу. Аналогічний ефект спостерігався при вирощуванні органічних кристалів на відколах неорганічних кристалів. Введення в розплав ЕАД при вирощуванні активованих кристалів не є доцільним через можливу хімічну взаємодію ЕАД та легуючої добавки. Тому для вирощування структурно-досконалих легуваних монокристалів ми використовували інший підхід. У цьому випадку часткова орієнтація молекул розплаву виникає під впливом електростатичного поля некомпенсованих електричних зарядів, які виникають на відколах кристалів у ділянках виходу дислокацій, зломів та інших дефектів. Нелеговані монокристали *n*-терфенілу мають відносно невисокий світловий вихід, для підвищення якого авторами була раніше розроблена методика легування монокристалів *n*-терфенілу молекулами 1,4-дифенілбутадієну-1,3. Це дало можливість підвищити світловий вихід сцинтиляторів в 1,4 рази.

Сцинтилятори на основі стильбену і *n*-терфенілу виробляються в невеликих об'ємах. Організація промислового виробництва пов'язана з цілим рядом проблем. Назвемо основні з них.

1. Для вирощування монокристалів *n*-терфенілу (комерційний продукт) одержують з відходів виробництва дифенілу, які піддають фракційній перегонці при атмосферному тиску, основну фракцію відбирають при температурі пари 360–370 °С і очищують її перекристалізацією з трихлоретилену. Оскільки склад вихідного продукту для виробництва *n*-терфенілу нестабільний, то різні партії комерційного продукту мають різний склад домішок. Тому нами було заплановано розробити на базі попередніх досліджень методику вхідного експрес-контролю сировини для вирощування кристалів, що одночасно дасть змогу оперативно корегувати технологію виробництва самого комерційного продукту. Також було заплановано розробку лабораторної методики очищення *n*-терфенілу методом зонного топлення.

2. Монокристали стильбену та *n*-терфенілу мають низьку термомеханічну міцність, тому для зменшення браку при виготовленні сцинтиляторів у виробничих приміщеннях потрібно підтримувати стабільний температурний режим. Тож необхідно було розробити та виготовити систему термостабілізації та вентиляції технологічного приміщення.

3. Для отримання в умовах промислового виробництва зразків монокристалів високої структурної досконалості діаметром більше 60 мм необхідно було розробити методику вирощування структурно-досконалих монокристалів стильбену на підвищених швидкостях та методику вирощування активованих монокристалів *n*-терфенілу.

Технологія отримання органічних полікристалів. Гаряче та холодне пресування

Проводилося гаряче пресування вихідної кристалічної сцинтиляційної сировини шляхом одновісного стискання з наступним повільним охолодженням до кімнатної температури. Як вихідну сировину використовували спеціально виготовленні кристалічні платівки, а також термічно дроблений монокристал. В останньому випадку спочатку вирощувався

монокристал із високою структурною досконалістю (середнє квадратичне розорієнтування блоків мозаїки не перевищувало 30'). Потім під дією рідкого азоту, який випаровується, монокристал роздроблювався. При такому дробленні були відсутні механічні навантаження, які погано впливають на збереження початкової структурної впорядкованості зразків. Вихідну сировину у вигляді кристалічних пластинок, як і в попередніх роботах, отримали відомими способами росту кристалів із парової фази або насиченого рідкого розчину індивідуального сцинтиляційного люмінофору, або суміші декількох сцинтиляційних люмінофорів.

Гаряче пресування проводилося при температурі

$$2/3T_{\text{пл}} < T_{\text{прес}} < 4/5T_{\text{пл}},$$

де $T_{\text{пл}}$ – температура плавлення сировини, $T_{\text{прес}}$ – температура процесу пресування. Величина тиску, під яким утримується речовина при пресуванні, швидкості навантаження й зняття тиску, а також час витримки кристалічних пластинок органічних люмінофорів під тиском підібрані експериментально. Ці величини обумовлені тим, що при підвищених температурах і тиску в органічних речовинах відбуваються процеси пластичної деформації, ковзання, рекристалізації, спікання та інші, які в кінцевому результаті призводять до утворення полікристала.

Підвищення температури пресування вище межі $T_{\text{прес}} \leq 4/5T_{\text{пл}}$ неприпустиме через сублімацію матеріалу (при температурах, близьких до температури плавлення, сировина випаровується із прес-форми). Зниження температури пресування нижче межі $T_{\text{прес}} < 2/3T_{\text{пл}}$ призводить до зменшення здатності вихідної сировини до пластичної деформації під час пресування, внаслідок чого у полікристалі утворюються пори, які, знижуючи міцність матеріалу сцинтилятора, призводять до розсіювання світла сцинтиляцій і тим самим погіршують його сцинтиляційний сигнал до 10 %.

РОЗРОБКА, ВИГОТОВЛЕННЯ ТА МОНТАЖ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ВІДПРАЦЮВАННЯ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ОРГАНІЧНИХ СЦИНТИЛЯТОРІВ

Для вирішення питання розробки промислових методів отримання та організації дослідного виробництва сцинтиляторів на основі стильбену і *n*-терфенілу для митного та екологічного моніторингу нами було розроблено ескізний проект розміщення системи клімат-контролю в технологічних приміщеннях Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України та проведені підготовчі ремонтні роботи в цих приміщеннях. Проведено тендер на закупку системи клімат-контролю.

Система *клімат-контролю* – це обладнання для точного підтримання постійного рівня температури в приміщеннях, де вирощуються кристали. В її складі є холодильна машина для охолодження води, яка циркулює в системі, до +6 °С. Циркуляція води забезпечується насосом гідромодуля по трубопроводу від машини, що її охолоджує, до теплообмінників фінккойлів, які встановлено безпосередньо в камерах росту кристалів. Фінккойл за допомогою

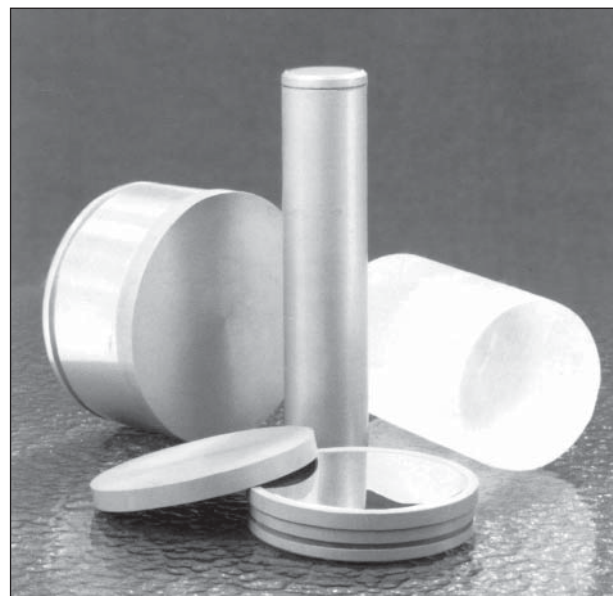


Рис. 1. Органічні сцинтилятори стильбену і *n*-терфенілу та детектори на їхній основі



Рис. 2. Реконструйований нейтронний спектр джерела $^{239}\text{Pu}-\text{Be}$ для детектора стильбену діаметром 50×5 мм

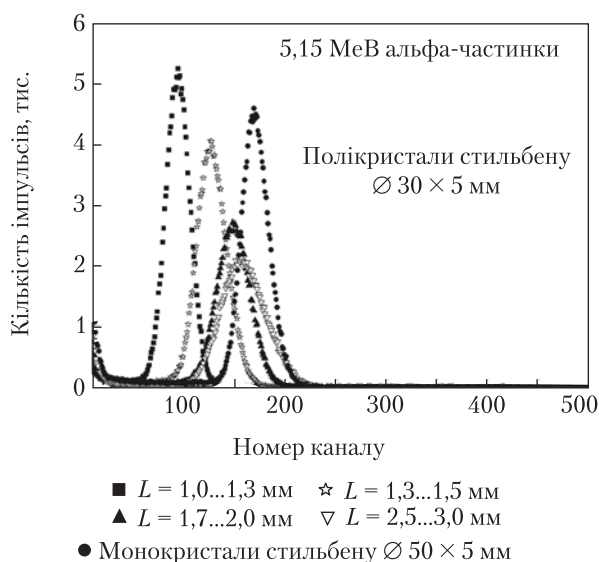


Рис. 3. Спектри амплітуд α -сцинтиляцій полікристалів стильбену діаметром 30×5 мм, отриманих методом гарячого пресування, та монокристала стильбену діаметром 50×5 мм

вентилятора подає повітря через теплообмінник з холодною водою, в якому воно охолоджується і через повітропровід поступає в камеру, де за допомогою автоматики підтримується при температурі $+24 \pm 1$ °С. Файнкойли працюють у режимі рециркуляції повітря. Витрати повітря через один файнкойл складають $1425 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Система кондиціонування на основі шестиканальних кондиціонерів фірми «CLIVET» (Італія) типу *файнкойл* використовує як холодоагент охолоджену воду. Система кондиціонування, яку ми використовували, відповідала вимогам ГОСТ 12.2.137-96 та ISO 9001 : 2000. Згідно з висновком державної санітарно-епідеміологічної експертизи обладнання для кондиціонування повітря фірми «CLIVET» відповідало також встановленим медичним критеріям безпеки. Повітря з кондиціонерів подається в приміщення мережею повітропроводів через дифузори.

Для відпрацювання процесу виготовлення детекторів на основі стильбену та *n*-терфенілу в умовах промислового виробництва розроблені та впроваджені такі технологічні регламенти:

- ✦ очищення стильбену методом спрямованої кристалізації;
- ✦ очищення *n*-терфенілу методом зонного топлення;
- ✦ вирощування активованих монокристалів *n*-терфенілу;
- ✦ вирощування структурно-досконалих монокристалів стильбену на підвищених швидкостях у герметичних ампулах.

З метою відпрацювання запропонованого виробничого процесу та розроблених регла-

Сцинтиляційні характеристики детекторів на основі монокристалів стильбену та *n*-терфенілу

Матеріал детектора	Розміри детектора, мм		Робоча температура, К	Світловий вихід, фотони/MeV	Енергетичне розділення, %
	Діаметр	Висота			
<i>n</i> -Терфеніл + 0,1 % дифеніл-бутадиєну	10–120	1–100	160–380	$2,8 \cdot 10^4$	<10
Стильбен	10–120	1–100	180–350	$1,4 \cdot 10^4$	<10

ментів були виготовлені експериментальні зразки органічних детекторів стильбену і *n*-терфенілу (див. рис. 1) та досліджені їхні сцинтиляційні властивості.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ СЦИНТИЛЯЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗРАЗКІВ ОТРИМАНИХ МОНОКРИСТАЛІЧНИХ ДЕТЕКТОРІВ

Удосконалення технології вирощування органічних кристалів дало можливість отримувати органічні монокристали з контрольованою структурною досконалістю діаметром до 120 мм та товщиною 100 мм, світловий вихід яких в 1,4 рази перевищував світловий вихід аналогічних монокристалів, отриманих за традиційною технологією. В таблиці наведені типові результати вимірів сцинтиляційних властивостей детекторів на основі монокристалів стильбену та *n*-терфенілу, отриманих модифікованим методом росту.

На рис. 2 як приклад використання органічного монокристала для детектування та спектроскопії швидких нейтронів наведено реконструйований нейтронний спектр джерела $^{239}\text{Pu}-\text{Be}$ для детектора стильбену діаметром 50×5 мм, отриманого з структурно-досконалого монокристала, який було вирощено за вищезгаданою технологією. Роздільну реєстрацію швидких нейтронів (які генерують протони віддачі в органічній речовині) та фонового γ -випромінювання джерела $^{239}\text{Pu}-\text{Be}$ проводили за методикою, описаною нами в [12]. Піки 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 та 9 на рис. 2 відповідають ідентифікованим енергіям нейтронів (3,1; 4,2; 4,9; 6,4; 6,7; 7,3; 7,9; 8,6 та 9,7 MeV відповідно), які випромінюються джерелом $^{239}\text{Pu}-\text{Be}$ (див. перелік робіт з цього питання в [5]).

Полікристали стильбену діаметром 30×5 мм були отримані методом гарячого пресування із зерен структурно досконалого монокристала. Використовувалися зерна розміром L від 1 до 3 мм. За допомогою каліброваних сит зерна були розділені на 7 фракцій, що надало можливості отримати 7 зразків полікристалів із розміром зерен L у діапазоні від 1,0 до 1,3 мм, від

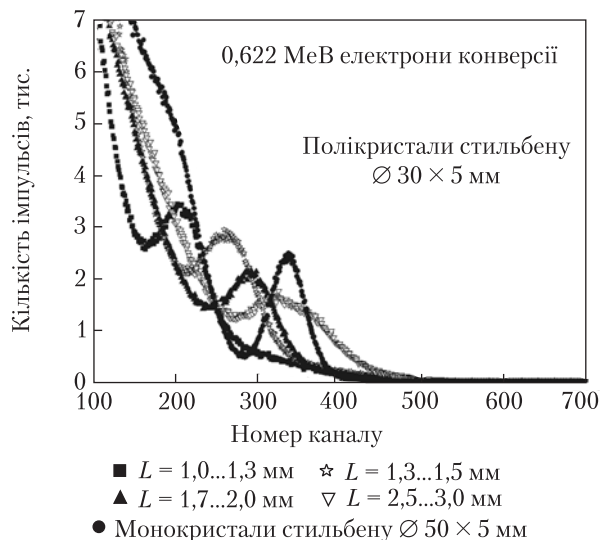


Рис. 4. Спектри амплітуд β -сцинтиляцій полікристалів стильбену діаметром 30×5 мм, отриманих методом гарячого пресування, та монокристала стильбену діаметром 50×5 мм

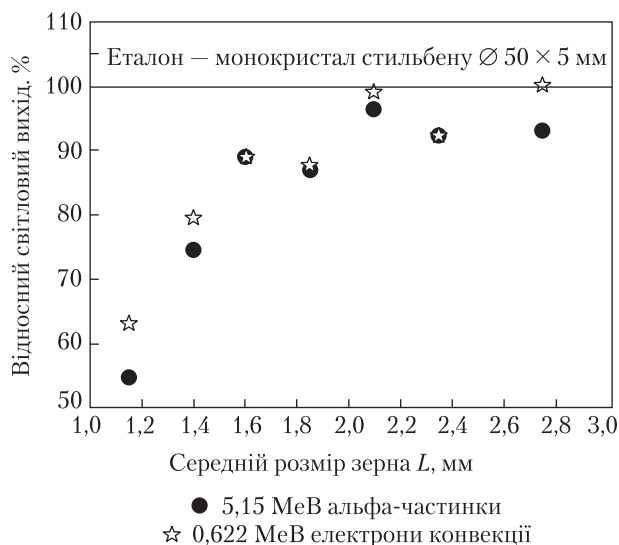


Рис. 5. Значення відносного світлового виходу полікристалів стильбену діаметром 30×5 мм, отриманих методом гарячого пресування, для випадків α -збудження та збудження електронами конверсії

1,3 до 1,5 мм, від 1,5 до 1,7 мм, від 1,7 до 2,0 мм, від 2,0 до 2,2 мм, від 2,2 до 2,5 мм та від 2,5 до 3,0 мм. На рис. 3 та рис. 4 як приклад наведені спектри амплітуд α - та β -сцинтиляцій для 4-х

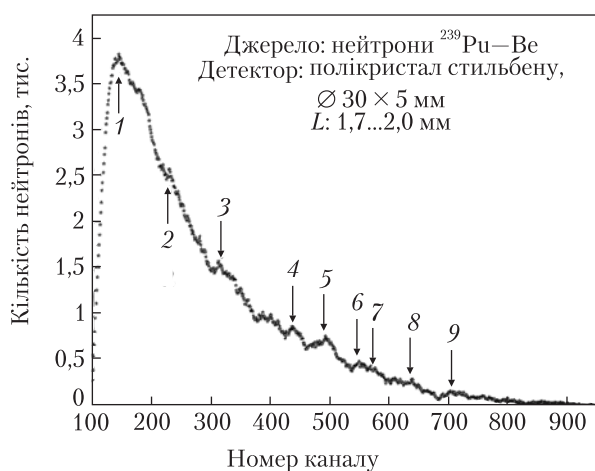


Рис. 6. Реконструйований нейтронний спектр джерела $^{239}\text{Pu}-\text{Be}$ для полікристалічного детектора стильбену діаметром 30×5 мм

зразків полікристалів стильбену відповідно. Як еталон використовувався монокристал стильбену діаметром 50×5 мм, абсолютний світловий вихід якого був $1,78 \times 10^4$ фотонів на 1 MeV γ -випромінювання. За результатами вимірів спектрів сцинтиляцій проведено розрахунки відносного світлового виходу полікристалів стильбену різних фракцій, отриманих шляхом гарячого пресування. Результати розрахунків наведені на рис. 5. Значення L на рис. 5 відповідають середньому розміру кожної з 7-ми фракцій зерен. Світловий вихід еталонного монокристала приймався за 1.

На рис. 6 (як приклад використання полікристалічних органічних сцинтиляторів — детекторів швидких нейтронів) наведено реконструйований нейтронний спектр джерела $^{239}\text{Pu}-\text{Be}$ для полікристала стильбену діаметром 30×5 мм, отриманого методом гарячого пресування.

Вищенаведені результати дозволяють зробити висновок, що для полікристалів отримані сцинтиляційні характеристики, близькі до характеристик монокристалів. Водночас для полікристалів відсутній основний недолік, характерний для монокристалів, а саме відносно невеликі граничні розміри діаметра зразків вирощених монокристалів.

ВИСНОВКИ

В результаті розробки промислових методів отримання та організації дослідного виробництва сцинтиляторів на основі стильбену і *n*-терфенілу для митного та екологічного моніторингу були отримані такі основні результати:

- ✦ розроблено ескізний проект розміщення системи клімат-контролю в технологічних приміщеннях;
- ✦ проведено підготовчі роботи в технологічних приміщеннях;
- ✦ проведено монтаж системи клімат-контролю в технологічних приміщеннях та пусконаладжувальні роботи;
- ✦ відпрацьовано та впроваджено виробничий процес виготовлення сцинтиляторів та розроблені такі технологічні регламенти:
- ✦ очищення стильбену методом спрямованої кристалізації,
- ✦ очищення *n*-терфенілу методом зонного топлення,
- ✦ вирощування активованих монокристалів *n*-терфенілу,
- ✦ вирощування структурно-досконалих монокристалів стильбену на підвищених швидкостях у герметичних ампулах.

Результати досліджень сцинтиляційних характеристик отриманих детекторів стильбену та *n*-терфенілу свідчать про те, що запропонована розробка дає можливість одержувати ефективні детектори для реєстрації як швидких нейтронів, так і короткопробіжних іонізуючих випромінювань. Запропонована розробка може знайти широке використання в системах контролю за ядерними енергетичними установками, в приладах митного контролю, в радіоекології, експериментальній ядерній фізиці і енергетиці.

ЛІТЕРАТУРА

1. *The 2007 Recommendations of the ICRP// Annals of the ICRP.* — 2007. — Vol. 37, № 2–4. — P. 1–332.
2. *Галунов Н.З., Семіноженко В.П.* Теория и применение радиолуминесценции органических конденсированных сред. — К.: Наук. думка, 1997. — 280 с.

3. Galunov N.Z. New generation of highly effective organic scintillators and their process technologies. In: Abstracts of an International Technology Transfer Conference. Iowa State University, June 1998. — P. 124–125.
4. Baker J.H., Budakovskiy S.V., Galunov N.Z. et al. Organic polycrystals as the new luminescent systems for scintillation and ecology techniques. // J. of Lumin. — 2003. — Vol. 102–103. — P. 464–468.
5. Budakovskiy S.V., Galunov N.Z., Kim J.K. et al. New effective organic scintillators for fast neutron and short-range radiation detection // IEEE Trans. on Nucl. Sci. — 2007. — Vol. 54, № 6. — P. 2734–2740.
6. Krainov I.P., Galunov N.Z., Budakovskiy S.V. The influence of controlled electron-seeking addition agents of the melt on stilbene single crystal structure and radioluminescence properties // Cryst. Res. and Techn. — 1989. — Vol. 24, No. 2. — P. 193–197.
7. Budakovskiy S.V., Galunov N.Z., Krainov I.P. The properties of molecular crystals growing from the melt containing electron-seeking addition agents // Mol. Cryst. Liq. Cryst. — 1993. — Vol. 236. — P. 127–132.
8. Красовицкий Б.М., Афанасиади Л.М. Препаративная химия органических люминофоров. — Харьков: Фолио, 1997. — 208 с.
9. Karl N. High purity organic molecular crystals. In: Crystal Growth, Properties and Application // Heidelberg: Springer Verlag. — 1980. — Vol. 4. — P. 1–100.
10. Будаковський С.В., Галунов Н.З., Країнов І.П., Семиноженко В.П. Особенности структуры и радиoluminesцентных характеристик монокристаллов стиблена, выращенных из расплава, содержащего электроакцепторные примеси // Докл. АН УССР. Сер. А. — 1989. — № 1. — С. 46–48.
11. Galunov N.Z. The study of the properties of organic bulk materials based on the new knowledge of their radioluminescence mechanism // Mol. Cryst. Liq. Cryst. — 1994. — Vol. 252. — P. 135–143.
12. Baker J. H., Galunov N. Z., Stepanenko A. M., Tarasenko O. A. Some aspects of discrimination techniques for the measurement of neutrons and photons of gamma radiation in geological applications // Radiat. Meas. — 2004. — Vol. 38. — P. 817–820.

С.В. Будаковський, Н.З. Галунов,
Б.В. Гринев, О.А. Тарасенко

РАЗРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ МЕТОДОВ
ПОЛУЧЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ
ОПЫТНОГО ПРОИЗВОДСТВА
СЦИНТИЛЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ СТИЛЬБЕНА
И *n*-ТЕРФЕНИЛА ДЛЯ ТАМОЖЕННОГО
И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Представлены результаты разработок промышленных методов получения органических молекулярных сцинтилляторов на основе монокристаллов и поликристаллов стиблена и *n*-терфенила для их использования в системах таможенного и экологического мониторинга в виде детекторов быстрых нейтронов и детекторов короткопробежных излучений. Приведены результаты исследования сцинтилляционных характеристик полученных детекторов стиблена и *n*-терфенила.

Ключевые слова: органический сцинтиллятор, стиблен, *n*-терфенил, технология выращивания, очистка, поликристалл.

S.V. Budakovskiy, N.Z. Galunov,
B.V. Grinyov, O.A. Tarasenko

DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL
TECHNOLOGIES AND PILOT PRODUCTION
OF STILBENE AND *p*-TERPHENYL BASED
SCINTILLATORS FOR CUSTOM AND ECOLOGY
MONITORING

The work presents the results of the development of the industrial production of organic molecular scintillators on the base of stilbene and *p*-terphenyl single crystals for custom and ecology monitoring devices in a form of detectors for fast neutrons and short-range ionizing particles. The results of investigation of scintillation characteristics of the obtained stilbene and *p*-terphenyl detectors are shown.

Key words: organic scintillator, stilbene, *p*-terphenyl, growth technology, purification, polycrystal.

Надійшла до редакції 23.03.09.