

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН
України, доктору фізико-математичних наук,
старшому науковому співробітнику відділу
гетероструктурованих матеріалів Інституту
сцинтиляційних матеріалів НАН України
Тарасенко Олегу Анатолійовичу

ВІДГУК

рецензента, кандидата технічних наук, старшого дослідника, заступника
завідувача відділу технології вирощування монокристалів Інституту
сцинтиляційних матеріалів НАН України Герасимова Ярослава Віталійовича на
дисертаційну роботу Єлісєєвої Оксани Володимирівни «Розроблення шляхів
підвищення радіаційної стійкості пластмасового сцинтилятора», подану до
захисту у разову спеціалізовану вчену раду Інституту сцинтиляційних матеріалів
Національної академії наук України на здобуття ступеня доктора філософії за
спеціальністю 132 Матеріалознавство в галузі знань 13 Механічна інженерія

Актуальність обраної теми дисертації

Пластмасові сцинтилятори використовуються у різних галузях науки та
техніки, як ефективні сцинтиляційні елементи в детекторах іонізуючого
випромінювання, зокрема, на Великому адронному колайдері. Їх використання
зумовлено низкою суттєвих переваг, серед яких варто зазначити високу
чутливість, швидкодію, технологічну простоту виготовлення, а також відносно
низьку вартість у порівнянні з іншими типами сцинтиляторів. Однак, із постійним
зростанням технічних вимог до експлуатаційних характеристик детекторних
систем, зокрема, в умовах дії високих рівнів радіаційного навантаження на
прискорювальних установках нового покоління, питання забезпечення належної
радіаційної стійкості матеріалів набуває дедалі більшої актуальності. Так,
традиційні пластмасові сцинтилятори на основі полістиролу або полівінілтолуолу
демонструють низький рівень радіаційної стійкості, що становить лише 1–5 Мрад
(типи сцинтиляторів SCSN-81T, BC-408 та UPS-923A). Тоді як у провідних

фізичних експериментах, що реалізуються на Великому адронному колайдері Європейської організації ядерних досліджень (CMS, ATLAS та LHCb), сцинтиляційні матеріали піддаються впливу значних доз іонізуючого випромінювання, які можуть досягати десятків Мрад.

З огляду на це, вважаю, що дисертаційна робота Оксани Володимирівни є актуальною та своєчасною, оскільки направлена на розроблення шляхів підвищення радіаційної стійкості пластмасового сцинтилятора, які забезпечать створення більш ефективних матеріалів, що будуть застосовані у нових поколіннях детекторних систем, здатних працювати в умовах інтенсивного радіаційного навантаження.

Загальна характеристика роботи та отриманих у ній результатів

Дисертаційна робота, що подана на рецензію, складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг кваліфікаційної наукової праці становить 213 сторінок. Обсяг основного тексту – 127 сторінок (вступ, розділи дисертації та висновки). Дисертація містить 24 таблиці, 35 рисунків, 3 додатки та 148 джерел використаної літератури.

Перший розділ сфокусований на огляді літературних джерел, на базі яких визначено актуальність та доцільність проведення дисертаційного дослідження. Здобувачка розглядає існуючі шляхи та методи підвищення радіаційної стійкості пластмасових сцинтиляторів.

Другий розділ – це опис методів синтезу активаторів, люмінофорів, підсилювачів дифузії та зшиваючих агентів. Також у цьому розділі наведено методики отримання зразків радіаційностійких пластмасових сцинтиляторів та зазначено методи дослідження їх сцинтиляційних та механічних властивостей.

У ***третьому розділі*** надано результати досліджень з підвищення радіаційної стійкості пластмасових сцинтиляторів за рахунок використання як активаторів фторпохідних 3-гідроксифлавонолу. Використання фтор-, феніл- та фторфенілпохідних 3-гідроксифлавонолу дозволило суттєво збільшити радіаційну стійкість пластмасового сцинтилятора на основі полістиролу та досягнути дози половинного ослаблення світлового виходу ($D_{1/2}$) 49 Мрад.

Результати отримані у *четвертому розділі* вказують на можливість підвищення радіаційної стійкості пластмасових сцинтиляторів за рахунок одночасного використання у його складі підсилювачів дифузії та зшиваючих агентів при збереженні світлового виходу та механічних властивостей на рівні достатньому для функціонального застосування. Отримано зразок сцинтиляційного матеріалу з радіаційною стійкістю 9,7 Мрад ($D_{1/2}$) та мікротвердістю за Віккерсом 105 МПа.

У *п'ятому розділі* продемонстровано можливість підвищення радіаційної стійкості пластмасових сцинтиляторів за рахунок використання полісилоксанових основ. Розроблено пластмасові сцинтилятори на основі полісилоксанів з $D_{1/2}$ до 60 Мрад. На змішаній основі полістирол-поліфенілметилсилоксан отримано сцинтиляційний матеріал з $D_{1/2}=22$ Мрад.

Беручи до уваги викладене, вважаю, що дисертаційне дослідження Єлісеєвої Оксани Володимирівни є своєчасним, актуальним і повністю відповідає сучасним науковим та практичним потребам. Робота має значний теоретичний внесок у розвиток відповідної галузі знань, а також містить практичні рекомендації, що можуть бути ефективно використані у відповідній сфері діяльності.

Значимість дослідження для науки

Наукова новизна полягає в обґрунтуванні та реалізації ефективних підходів до підвищення радіаційної стійкості пластмасових сцинтиляторів шляхом оптимізації їхнього складу та структури. Запропоновані технічні рішення дозволяють одержати пластмасовий сцинтилятор з підвищеною радіаційною стійкістю без суттєвого погіршення сцинтиляційних та механічних характеристик, що є ключовим для його використання в умовах інтенсивного радіаційного навантаження.

При виконанні дисертаційної роботи автором *вперше*:

- Розроблено та отримано ряд нових люмінесцентних добавок з великим зсувом Стоксу – похідних 3-гідроксифлавоу.
- Показано, що введення одного або двох атомів фтору в будь-яку частину молекули 3-гідроксифлавоу та його 4'-фенілпохідного не впливає на характер спектрів люмінесценції. Максимум люмінесценції зазнає батофлорного зсуву на

5–10 нм лише після заміни чотирьох атомів водню на фтор. Часові характеристики сцинтиляційного імпульсу пластмасових сцинтиляторів, активованих фторпохідними 3-гідроксифлавону, що містять один, два або чотири атоми фтору, не зазнають змін, при цьому час загасання для всіх зразків становить 7,6 нс.

- Продемонстровано, що використання фтор-, феніл- та фторфенілпохідних 3-гідроксифлавону як активаторів пластмасового сцинтилятора дозволяє суттєво збільшити його радіаційну стійкість та досягнути дози половинного ослаблення світлового виходу ($D_{1/2}$) 49 Мрад.

- Визначено, що одночасне застосування зшиваючого агенту та підсилювача дифузії в складі полімерної сцинтиляційної композиції приводить до підвищення радіаційної стійкості матеріалу ($D_{1/2} = 9,7$ Мрад) при збереженні його світлового виходу та механічних властивостей на рівні придатному для функціонального застосування.

- Показано, що використання підсилювача дифузії, зшиваючого агенту та похідного 3-гідроксифлавону в одній сцинтиляційній композиції дозволяє суттєво підвищити радіаційну стійкість пластмасового сцинтилятора ($D_{1/2} = 37$ Мрад), при цьому зберегти його мікротвердість та світловий вихід на високому рівні.

- Встановлено, що в ряду сцинтиляторів на основі полісилоксанів, активованих 2,5-дифенілоксазолом, як радіаційна стійкість, так і світловий вихід збільшуються з підвищенням вмісту фенільних груп у полісилоксановій основі.

- Показано, що поєднання в одній сцинтиляційній композиції одночасно двох полімерних основ – полістиролу та поліфенілметилсилоксану – дозволяє отримати матеріал з високою радіаційною стійкістю ($D_{1/2} = 22$ Мрад) з одночасним збереженням його механічних властивостей на рівні стандартного пластмасового сцинтилятора.

Практичне значення отриманих результатів

Синтезовано нові активатори з великим зсувом Стоксу – феніл, фтор- та фторфенілпохідні 3-гідроксифлавону. Їх використання у складі пластмасових сцинтиляторів на основі полістиролу дозволило підвищити радіаційну стійкість матеріалу до 49 Мрад (доза половинного ослаблення світлового виходу).

Розроблено радіаційностійкі пластмасові сцинтилятори на основі полістиролу, що містять зшиваючі агенти та посилювачі дифузії, при цьому зберігають свої механічні властивості на рівні придатному до якісної обробки матеріалу: $D_{1/2} = 9,7$ Мрад та мікротвердість за Вікерсом 105 Мрад.

Отримано 2,4,4''-три-*трет*-бутил-1,1':4',1''-терфеніл. Це новий активатор, розчинність якого у полімерному середовищі на основі полісилоксану досягає 1,5 мас. %. З його використанням розроблено полісилоксанову сцинтиляційну композицію з $D_{1/2}=60$ Мрад.

Створено радіаційностійкі пластмасові сцинтилятори на змішаній основі полістирол-поліфенілметилсилоксан з $D_{1/2}$ від 10 Мрад до 22 Мрад. Мікротвердість за Віккерсом такого матеріалу становить від 174 МПа до 215 МПа, що відповідає рівню традиційних пластмасових сцинтиляторів.

Розроблено «Лабораторну методику виготовлення радіаційностійких пластмасових сцинтиляторів».

За результатами дослідження опубліковано 9 наукових статей (індексуються базою Scopus) та отримано 9 патентів України на винахід. Розроблені технічні рішення, що знайшли відображення у патентах, мають потенціал практичного впровадження у виробництво пластмасових сцинтиляторів з підвищеними показниками радіаційної стійкості. Запропоновані матеріали за сукупністю експлуатаційних характеристик, зокрема, світловим виходом, механічною міцністю та радіаційною стійкістю, демонструють переваги над існуючими комерційними аналогами, що дозволяє розглядати їх як перспективну альтернативу у створенні детекторів нового покоління.

Дискусійні положення та зауваження до дисертації

1. Ви вказуєте, що ефективний метод підвищення світлостійкості органічних барвників – це введення в їх молекули атомів фтору. З яких міркувань Ви виходили, вважаючи, що цей спосіб підвищення стійкості до світла (неіонізуючого випромінювання) буде ефективним і у випадку підвищення радіаційної стійкості?

2. Стр. 112. Чому вибрано саме 25 мас. % підсилювачів дифузії у таблиці 4.2.

3. Для пластмасового сцинтилятора UPS-923A приведено різні мікротвердість: у таблицях 4.2–4.4 (122 МПа) та 5.6 (250 МПа). Чому? Як визначали мінімальну механічну міцність, достатню для задовільної обробки матеріалу?

4. Чому для створення пластмасових сцинтиляторів на полісилоксанових основах вибрано саме кополімер диметилсилоксан-дифенілсилоксан та поліфенілметилсилоксан, адже полісилоксанових основ існує велика кількість?

Зазначені зауваження та дискусійні положення мають переважно уточнювальний характер і не впливають на змістовну цілісність дисертаційної роботи. Вони жодним чином не знижують рівень наукової новизни отриманих результатів і не ставлять під сумнів їх практичну значимість. Основні положення, винесені на захист, залишаються обґрунтованими, послідовними та достатньо підтвердженими експериментальними даними. У цілому дисертаційне дослідження заслуговує позитивної оцінки як завершене наукове дослідження, що відповідає сучасним вимогам до кваліфікаційних робіт такого рівня.

Відсутність порушень академічної доброчесності

У процесі виконання дисертаційного дослідження здобувачка дотримувалась встановлених норм академічної доброчесності, що є невід'ємною складовою сучасної наукової практики. Ретельна перевірка тексту дисертації, представлених результатів та використаних джерел не виявила випадків академічного плагіату, а також жодних ознак фабрикації чи фальсифікації експериментальних або аналітичних даних. Усі результати, що становлять наукову новизну роботи, ґрунтуються на власних дослідженнях авторки, мають належне обґрунтування та підтверджуються відповідним фактичним матеріалом. Це свідчить про високий рівень відповідальності здобувачки у виконанні наукової роботи та її дотримання етичних стандартів у сфері наукових досліджень.

Загальний висновок та оцінка дисертації

Отже, з урахуванням актуальності обраної теми, належного рівня обґрунтованості наукових положень, достовірності та новизни отриманих результатів, їх теоретичної та практичної значимості, обсягу проведених досліджень, рівня сформульованих висновків, а також повноти їх висвітлення у наукових публікаціях, дисертаційна робота Єлісєєвої Оксани Володимирівни на тему «Розроблення шляхів підвищення радіаційної стійкості пластмасового сцинтилятора» повністю відповідає встановленим вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор, Єлісєєва Оксана Володимирівна, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 Матеріалознавство в галузі знань 13 Механічна інженерія.

Рецензент:

кандидат технічних наук, старший дослідник,
заступник завідувача відділу технології
вирощування монокристалів Інституту
сцинтиляційних матеріалів НАН України

Ярослав ГЕРАСИМОВ

Підпис Я. Герасимова засвідчую:

учений секретар Інституту
сцинтиляційних матеріалів
Національної академії наук України,
кандидат технічних наук, старший дослідник

Юрій ДАЦЬКО