

Винахід належить до сцинтиляційної техніки і може бути використаний при створенні детекторів для реєстрації теплових нейтронів на фоні гамма-випромінювання для фізики високих енергій, атомної енергетики, моніторингу стану навколишнього середовища та інших галузей науки і техніки.

Актуальною задачею є отримання тонкошарових і плівкових сцинтиляційних матеріалів та сцинтиляційних елементів на їх основі, що будуть мати високу ефективність реєстрації нейтронів на фоні гамма-випромінювання.

Розповсюдженням детектором для реєстрації теплових нейтронів є сцинтиляційні елементи на основі суміші порошку сульфід цинку, активованого сріблом (ZnS:Ag), та конвертора нейтронів. Конвертором нейтронів є ізографи атомів, здатних поглинати нейтрони та випромінювати альфа-частки до яких є чутливий сцинтилятор ZnS:Ag . Найпоширенішими конверторами нейтронів є ізографи ^6Li та ^{10}B . Зазвичай, через більш високу загальну енергію альфа-часток, що випромінюються в результаті захоплення нейтронів, як конвертор використовують сполуки, що збагачені ізографом ^6Li . Проте ізограф бору ^{10}B має ряд переваг. Переріз захоплення теплових нейтронів ^{10}B приблизно в 4 рази вище в порівнянні з ^6Li . До того ж вміст нейтроночутливого ізографу ^{10}B у природному борі майже в три рази вищий за вміст ^6Li в природному літії (20 % та 7,5 %, відповідно). Використання літію як ефективного конвертора нейтронів неможливо без високого рівня збагачення ^6Li , у той час як використання бору можливо при природному складі ізографів. Традиційно як боровмісний конвертор використовують оксид бору, природний вміст ізографу ^{10}B в якому складає 6,3 %. Такий вміст ізографу ^{10}B дозволяє використовувати оксид бору без додаткового збагачення, але не дозволяє досягти необхідного рівня ефективності реєстрації нейтронів. Для підвищення ефективності реєстрації нейтронів потрібно підвищувати концентрацію ізографу ^{10}B .

Відомий сцинтиляційний елемент для детектування теплових нейтронів у присутності гамма-випромінювання [THERMAL NEUTRON DETECTION EJ-420, <https://eljentechnology.com/products/neutron-detectors/ej-420>], який складається з пластмасового прозорого диску вкритого тонким шаром сцинтиляційного матеріалу, що містить суміш сцинтиляційного порошку ZnS:Ag і порошку конвертора нейтронів ^6LiF , збагаченого до 95 % ізографом ^6Li , які дисперговані у прозорій полімерній матриці.

Недоліком відомого сцинтиляційного елемента є низька ефективність реєстрації нейтронів, що складає порядку 60 % для нейтронів з енергією 0,01 еВ або менше.

Відомий сцинтиляційний елемент для детектування теплових нейтронів [В.А. Тарасов, Л.А. Андрющенко, И.М. Дубцов, О.Л. Шпилинская, Л.Н. Трефилова, В.Ю. Яковлев. Детектор тепловых нейтронов на основе оптимизированной по составу смеси $\text{ZnS:Ag}/^6\text{LiF}$. Аспекты сцинтилляционной техники (под редакцией А.В. Гектина) - Харьков: "ИСМА", 2017. - 264 с.], який складається з шарів, що чергуються: 4 з органічного скла (поліметилметакрилату), які виконують функцію світловода та сповільнювача нейтронів, і 5 шарів сцинтиляційного матеріалу товщиною 200 мкм, що містить суміш сцинтиляційного порошку ZnS:Ag і порошку конвертора нейтронів ^6LiF , збагаченого до 90 % ізографом ^6Li , що диспергована у прозорій полімерній матриці. Як відбивач використовується світловідбиваюча плівка з політетрафторетилену (PTFE).

Недоліком відомого сцинтиляційного елемента є низька ефективність реєстрації нейтронів, що складає 75 %.

Як прототип за кількістю загальних ознак вибрано останній із наведених аналогів.

В основу винаходу поставлено задачу створення сцинтиляційного елемента для реєстрації теплових нейтронів, який буде мати вищу ефективність реєстрації нейтронів на фоні гамма-випромінювання, ніж у існуючих аналогів.

Вирішення поставленої задачі забезпечується тим, що сцинтиляційний елемент для реєстрації теплових нейтронів складається з шарів поліметилметакрилату, що чергуються з шарами сцинтиляційного матеріалу із суміші порошку сульфід цинку, активованого сріблом, та конвертора нейтронів, диспергованого у прозорій полімерній матриці, які покриті з п'ятих сторін світловідбиваючим матеріалом, згідно з винаходом, сцинтиляційний елемент містить 3-4 шари сцинтиляційного матеріалу, а як конвертор нейтронів - дикарба-клозо-додекаборан(12), при наступному співвідношенні компонентів у сцинтиляційному матеріалі, мас. %:

дикарба-клозо-додекаборан(12) ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}\text{B}_{10}$)	5-20
сульфід цинку, активований сріблом (ZnS:Ag)	решта.

Використання 3-4 шарів сцинтиляційного матеріалу дозволяє зменшити товщину сцинтиляційного елемента за рахунок більшої ефективності сцинтилятора, при цьому ефективність реєстрації нейтронів сцинтиляційного елемента складає 78-85 % (Приклад 1-2).

Використання дикарба-клозо-додекаборану(12) (карборану), як конвертора нейтронів у сцинтиляційному матеріалі, дозволяє підвищити ефективність реєстрації нейтронів та використовувати цей конвертор без додаткового збагачення ізографом ^{10}B завдяки тому, що загальний вміст бору у карборані становить 75 %, що забезпечує вміст чутливого до нейтронів ізографу ^{10}B на

рівні 15 %. Така концентрація ^{10}B більше, ніж у два рази перевищує концентрацію нейтроночутливого ізотопу у оксиді бору (6,3 %), що традиційно використовують як боровмісний конвертор нейтронів.

Вміст карборану 5-20 мас. % у сцинтиляційному матеріалі (сцинтиляторі) визначено експериментально (Таблиця). Зменшення концентрації карборану у сцинтиляційному матеріалі менш ніж 5 мас. % призводить до низького вмісту конвертора нейтронів ^{10}B , і як наслідок до зниження ефективності реєстрації нейтронів (Таблиця, зразок 1).

Збільшення концентрації карборану у сцинтиляційному матеріалі більш ніж 20 мас. % призводить до перевищення товщини шару конвертора нейтронів над середньою довжиною вільного пробігу альфа-часток, і як наслідок зменшується доля альфа-часток які потрапляють на сцинтилятор ZnS:Ag , що, в свою чергу, призводить до зменшення ефективності реєстрації нейтронів (Таблиця, зразок 5).

На фіг. 1 наведено схему сцинтиляційного елемента, який складається з полірованих пластин з поліметилметакрилату (1), що виконують функцію світловоду, шарів сцинтиляційного матеріалу ZnS:Ag /карборан, диспергованого в прозорій полімерній матриці (2), які покривають світловідбиваючим матеріалом (3) з п'яти сторін.

У таблиці наведені дані про склад та ефективність реєстрації теплових нейтронів сцинтиляційного матеріалу, що заявляється.

Таблиця

Зразок сцинтилятора, що заявляється	Склад сцинтилятора, мас. %		Ефективність реєстрації теплових нейтронів η_n , %
	ZnS:Ag	Карборан	
Зразок 1	97	3	22,4
Зразок 2	93	7	43,25
Зразок 3	86	14	49,2
Зразок 4	80	20	32,3
Зразок 5	75	25	25,6

Спосіб виготовлення сцинтиляційного елемента для реєстрації теплових нейтронів наведено у прикладі.

Приклад 1. Спосіб отримання сцинтиляційного елемента для реєстрації теплових нейтронів, що містить 4 шари сцинтиляційного матеріалу.

Сцинтиляційний матеріал ZnS:Ag /карборан, що заявляється, отримують методом осадження розчиненого конвертора на поверхню частинок ZnS:Ag . У стакан об'ємом 50 мл наливають 1,11 г толуолу, додають 0,33 г карборану та перемішують до повного розчинення. Потім додають 2 г ZnS:Ag та при постійному перемішуванні нагрівають до температури 80 °C, і витримують за цієї температури при перемішуванні до отримання сухого порошку. Отриманий порошок поміщають у сушильну шафу, нагріту до 120 °C, і витримують протягом 30 хв для остаточного видалення толуолу.

Для вимірювання ефективності реєстрації нейтронів η_n шар сцинтиляційного матеріалу товщиною 200 мкм розміщують між скляним вікном і алюмінієвою підкладкою площею 40×40 мм. Вимірювання ефективності реєстрації нейтронів η_n проводять на установці з аналого-цифровим перетворювачем Лесгоу 2249а, фотоелектронного помножувача (ФЕП) Hamamatsu R1307 і джерелом швидких нейтронів ^{252}Cf . Для отримання теплових нейтронів джерело ^{252}Cf розміщують у центрі сферичного сповільнювача нейтронів з парафіну діаметром 160 мм з атестованим коефіцієнтом термалізації (10 %). Зразок сцинтиляційного матеріалу розміщують безпосередньо на вхідному вікні ФЕП. Теплові нейтрони поглинають за допомогою екрана (товщиною 1 мм) з металевого кадмію з природним ізотопним складом. Швидкість рахунку нейтронів вимірюють з кадмієвим екраном і без нього. Різниця отриманих швидкостей рахунку ("кадмієва різниця") представляє собою швидкість рахунку теплових нейтронів. Відношення цієї величини до розрахункового значення потоку теплових нейтронів через шар сцинтиляційного матеріалу являє собою ефективність реєстрації теплових нейтронів η_n . Ефективність реєстрації (Таблиця, зразок 3) складає 49,2 %.

Для виготовлення сцинтиляційного елемента з листа поліметилметакрилату вирізають три пластини світловодів розміром 44×29×3 мм та полірують поверхні, які будуть контактувати з сцинтиляційними шарами.

Для створення одного сцинтиляційного шару 0,42 г (70 мас. %) сцинтиляційного матеріалу ZnS:Ag /карборан диспергують у 0,18 г (30 мас. %) оптично прозорого двокомпонентного епоксидного клею Magic Crystal 3D Clear. Отриману суміш вакуумують для видалення бульбашок повітря впродовж 5 хв та наносять рівномірно на світловод за допомогою ракельного пристрою, після чого зверху розміщують інший світловод, формуючи сцинтиляційний шар товщиною 200 мкм, який залишають для отвердження при нормальних умовах на 12 год. Таким же чином формують наступний сцинтиляційний шар, що чергується зі світловодом. Потім сцинтиляційні шари наносять на дві зовнішні поверхні світловодів і залишають для отвердження.

Виготовлену багатошарову конструкцію шліфують і полірують з усіх торцевих сторін, після чого її загальний розмір складає близько 40×25×9,8 мм. Отриману заготовку сцинтиляційного елемента з п'яти сторін покривають двома шарами світловідбиваючої плівки з PTFE товщиною 200 мкм. Шосту сторону (меншу торцеву) залишають вільною.

Ефективність реєстрації нейтронів сцинтиляційного елемента вимірюють аналогічно ефективності реєстрації нейтронів сцинтиляційного матеріалу. Але у випадку сцинтиляційного елемента його встановлюють безпосередньо на вхідне вікно ФЕП стороною, вільною від світловідбиваючого покриття. Ефективність реєстрації нейтронів виготовленого сцинтиляційного елемента склала 85 %, що значно вище, ніж у прототипу.

Приклад 2. Спосіб отримання сцинтиляційного елемента для реєстрації теплових нейтронів, що містить 3 шари сцинтиляційного матеріалу.

Отримання сцинтиляційного елемента для реєстрації теплових нейтронів, що містить 3 шари сцинтиляційного матеріалу, проводять відповідно Прикладу 1, використовуючи два світловоди з поліметилметакрилату.

Ефективність реєстрації нейтронів виготовленого сцинтиляційного елемента склала 78 %, що є на рівні існуючих аналогів, але використання 3-х шарів дозволяє суттєво зменшити товщину сцинтиляційного елемента.

Створено нейтроночутливий сцинтиляційний елемент, що має ефективність реєстрації нейтронів на рівні 85 %, який може бути використаний для створення високоефективних детекторів нейтронів для різноманітних застосувань.

