

температурних умов. До складу таких сенсорів можуть входити не лише датчики температури, а й вологості, вмісту CO₂ та інших показників мікроклімату, що дає змогу враховувати додаткові фактори під час прийняття рішень. Дані із сенсорів зберігаються у хмарних сховищах, що полегшує доступ і обробку інформації, дозволяючи більш ефективно проводити історичний аналіз для вдосконалення моделі прогнозування та виявляти закономірності для подальшої оптимізації системи та гарантувати безпеку зберігання даних.

Хмарне сховище також полегшує масштабування системи, підтримку декількох об'єктів з єдиного центру керування та доступ до даних з будь-якої точки світу через захищений веб-інтерфейс або API. Це відкриває можливості для централізованого моніторингу і аналізу даних з різних будівель, що особливо актуально для комерційних об'єктів та багатоквартирних будинків.

Мікросервісна архітектура дозволяє гнучко оновлювати та розширювати функціонал системи без переривання її роботи. Нові модулі прогнозування, обробки даних, інтерфейсні компоненти тощо можуть бути впроваджені окремо, що спрощує супровід та розвиток проекту, знижує ризики помилок під час розгортання оновлень і забезпечує плавний перехід до нових технологій. Завдяки чітко визначеним API взаємодія між компонентами залишається стабільною навіть за умови модернізації окремих сервісів або їх заміни на більш сучасні рішення без необхідності кардинальної перебудови всієї системи.

У випадку виходу з ладу одного з модулів інші елементи системи продовжують функціонувати без порушення загальної працездатності, що підвищує надійність і безвідмовність експлуатації. Таким чином, мікросервісний підхід забезпечує високу адаптивність, технологічну незалежність модулів, зменшення часу відновлення після збоїв і довгострокову життєздатність системи в умовах постійного розвитку технологій і підвищення вимог до енергоефективності та комфорту у приміщеннях.

Ключові слова: інтелектуальна система, управління температурою, розумний будинок, мікросервісна архітектура, нейронні мережі, IoT-сенсори, енергоефективність.

УДК 539.1.073

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ СЦИНТИЛЯЦІЙНОГО МЕТОДУ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

^{1,2)}Швалюк Є. П.

ДУ «КИЇВСЬКИЙ АвіАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ», Київ, Україна
ДП «КИЇВОБЛСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ», Біла Церква, Україна
E-mail: 8863264@stud.kai.edu.ua

В основі даного методу лежить явище сцинтиляції. Деякі речовини (сцинтилятори) мають таку особливість, що процес проходження через них іонізуючого

випромінювання супроводжується слабкими світловими спалахами, які можуть бути виявлені й виміряні апаратурою, що має високу світлочутливість.

Основою сцинтиляційного методу є збудження й іонізація атомів і молекул речовини при проходженні через неї заряджених частинок. Через певний час вони переходять в основний стан, випускаючи світлове випромінювання, спектр якого залежить від структури енергетичних рівнів атомів і молекул речовини. Спалах світла може відбутися й при проходженні через сцинтилятор непрямо іонізуючого випромінювання за рахунок вторинних частинок.

При проходженні фотонів це будуть електрони віддачі й фотоелектрони, а при проходженні нейтронів - це ядра віддачі або заряджені частинки, що з'явилися в результаті (n, α) -, (n, p) -реакцій і т. д.

Механізм висвічування неорганічного сцинтилятора (рис. 1). Світіння пов'язане з існуванням центрів люмінесценції, обумовлених наявністю будь-яких домішок.

Для пояснення процесів, що протікають, необхідно скористатись зонною моделлю енергетичних рівнів електронів у кристалі. Електрони в ізолюваних атомах можуть мати лише деякі дискретні значення енергії. У результаті існування хімічних зв'язків між атомами в кристалі кожний енергетичний рівень електрона розщеплюється в безперервний набір дозволених рівнів, названий зоною.

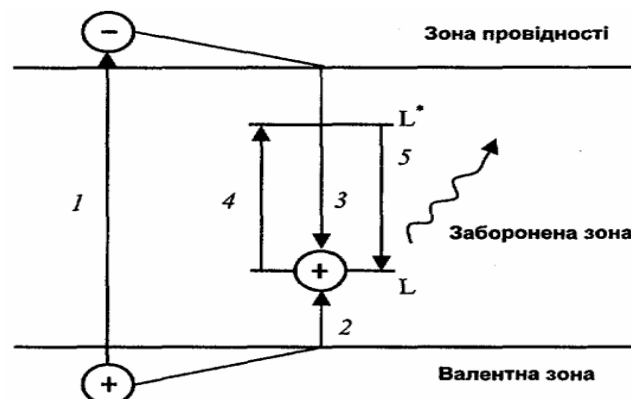


Рис. 1. Механізм висвічування неорганічного сцинтилятора:

1 - перехід електрона з валентної зони в зону провідності; 2 - захоплення дірки центром люмінесценції; 3 - рекомбінація електрона з діркою на центрі люмінесценції; 4 - порушення центра люмінесценції; 5 - випромінювальний перехід в основний стан

Для пояснення процесів, що протікають, необхідно скористатись зонною моделлю енергетичних рівнів електронів у кристалі. Електрони в ізолюваних атомах можуть мати лише деякі дискретні значення енергії. У результаті існування хімічних зв'язків між атомами в кристалі кожний енергетичний рівень електрона розщеплюється в безперервний набір дозволених рівнів, названий зоною. Сукупність дозволених енергетичних рівнів для вільних електронів називається зоною провідності, а для електронів, що беруть участь в утворенні валентних зв'язків між атомами кристала, - валентною зоною. Для переведення електрона зі зв'язаного стану у валентній зоні у вільний стан у зоні провідності

необхідно передати йому енергію, рівну енергії валентного зв'язку. Ця енергія визначає ширину забороненої зони, що розділяє зону валентних рівнів і зону провідності. Заборонена зона не містить електронних енергетичних рівнів, якщо в кристалі відсутні домішки й дефекти структури.

Під впливом іонізуючого випромінювання відбувається перехід електрона з валентної зони в зону провідності. Дірка, або вакансія, що утворюється при цьому, переходить з валентної зони в заборонену зону на рівень L і стає центром висвічування (люмінесценції). Електрон притягується надлишковим позитивним зарядом і рекомбінує з діркою. Центр люмінесценції переходить у збуджений стан, що знімається випромінюванням світлового фотона.

Висвічування органічних сцинтиляторів пояснюється внутрішніми молекулярними процесами збудження одного з хімічних зв'язків з наступним зняттям збудження випромінюванням світлового фотона.

Фотони, що виникають у сцинтиляторі під дією іонізуючого випромінювання, по світлопроводу попадають на фотокатод фотоелектронного помножувача (ФЕП) і вибивають з нього фотоелектрони, фотоелектрони проходять через фокусувальну діафрагму й розганяються електричним полем. Проходячи через систему помножувальних електродів (динодів) електронний потік підсилюється в середньому в 10^5 - 10^6 разів і потрапляє на анод ФЕП. Величина анодного струму пропорційна кількості сцинтиляцій і, отже, пропорційна інтенсивності випромінювання, що потрапляє на сцинтилятор.

Для живлення ФЕП використовується джерело високої стабілізованої напруги, тому що для вторинної електронної емісії (помноження числа електронів) необхідно, щоб енергія електрона, що потрапляє на динод, перевищувала роботу виходу електронів з динода. Вимірюванню може підлягати як середнє значення струму, так і число імпульсів за одиницю часу (струмовий і лічильний режими роботи). Струмовий режим використовується для визначення поглиненої енергії, лічильний - для визначення густини потоку [1].

Сцинтилятори характеризуються такими параметрами: сцинтиляційною ефективністю, світловим виходом, часом висвічування, прозорістю до власного випромінювання.

Сцинтиляційна (конверсійна) ефективність - це та частина поглиненої в сцинтиляторі енергії іонізуючого випромінювання, що перетворилася в енергію світлового спалаху.

Конверсійна ефективність η_k - відношення енергії світлових фотонів E_ϕ до енергії зарядженої частинки E_n , поглиненої в сцинтиляторі.

$$\eta_k = \frac{E_\phi}{E_n}$$

Значення η_k залежить від типу сцинтилятора і вимірюється в межах від 0,01 до 0,3. Із співвідношення можна визначити число фотонів η_ϕ , випущених сцинтилятором:

$$\eta_\phi = \eta_k \cdot \frac{E_n}{E}$$

де \bar{E} - середня енергія фотонів.

Світловий вихід χ - відношення числа фотонів світлового спалаху до енергії зарядженої частинки, поглиненої в скінтіляторі:

$$\chi = \frac{\eta_{\phi}}{E_n} = \frac{\eta_k}{\bar{E}}$$

Час висвічування τ - середній час життя, яким характеризуються збуджені стани атомів. Цей час характерний для кожного скінтілятора й коливається в межах 10^{-9} – 10^{-5} с. Часовий розподіл фотонів підкоряється експоненціальному закону

$$n = \frac{n_0 \cdot \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right)}{\tau}$$

де n - число фотонів, що випускаються за одиницю часу. Постійна часу висвічування τ характеризує час, необхідний для зменшення максимальної кількості фотонів, що випускаються, в p разів.

Розрізняють органічні й неорганічні скінтілятори. Органічні скінтілятори являють собою монокристали деяких органічних сполук - антрацену, стильбену, нафталіну, толану. Вміст водню в органічних скінтіляторах дозволяє використовувати їх для реєстрації швидких нейтронів. Антрацен має найбільшу конверсійну ефективність ($\eta_{до} \approx 0,04$) серед усіх органічних кристалів, але дуже чутливий до різких змін температури, що призводять до втрати скінтіляційних властивостей.

Більш стійким монокристалом є стильбен, що широко використовується для реєстрації швидких нейтронів. Стильбен зручний також при використанні в апаратурі розділення при реєстрації частинок різних типів. Він має дуже малий час висвічування швидкої компоненти ($\tau \approx 6 \cdot 10^{-9}$ с) і відносно високу конверсійну ефективність ($\eta \approx 0,02$).

При детектуванні важких частинок органічні скінтілятори мають низький і нелінійний (залежно від енергії) світловий вихід [2].

Неорганічні скінтілятори, застосовувані для детектування й спектрометрії іонізуючого випромінювання, можна розділити на три групи: сульфідів (ZnS, активовані сріблом або міддю, CdS, активовані сріблом); галогеніди лужних металів (NaI, CsI, LiI, активовані талієм, CaI₂, LiI, активовані європієм, CsF - неактивований) і вольфрамату (CaWO₄, CdWO₄). При вирощуванні кристалів у більшість із них вводяться спеціальні домішки (активатори), що збільшують щільність центрів люмінесценції.

На сьогодні у більшості скінтіляційних лічильників використовується йодистий натрій, активований талієм. Хімічна формула записується як NaI(Tl). Додатки талію дозволяють збільшити світловий вихід кристалів при кімнатній температурі. Коли при втратах енергії фотонів утворюються фотоелектрони, комптонівські електрони й електронно-позитронні пари, то у фосфорі вони перетворюються у світловий спалах із тривалістю близько чверті мікросекунди. Світлові фотони перебувають у блакитній області оптичного спектра (довжина хвилі

близько 410 нм). Через малий час формування спалаху лічильник може працювати при великих швидкостях лічення. Інтенсивність світлового спалаху прямо пропорційна енергії, втраченій фотоном у кристалі.

Головною перевагою сцинтиляційних лічильників перед газонаповненими є їх значно більша ефективність при реєстрації γ -випромінювання. Це пов'язано з двома факторами: щільністю й атомним номером речовини чутливої області детектора. Щільність кристала NaI дорівнює $3,7 \text{ г/см}^3$, у той час як щільність газів знаходиться близько $0,001 \text{ г/см}^3$.

Таким чином, на шляху γ -випромінювання виявляється в кілька тисяч разів більше атомів, що сильно збільшує ймовірність взаємодії. По-друге, наявність у кристалі йоду ($Z = 53$) приводить до більшого середнього атомного номера в порівнянні зі звичайним газом-наповнювачем аргоном ($Z=18$). Це істотно підвищує переріз фотоефекта в чутливій області детектора при низьких енергіях фотонів.

Ключові слова: сцинтилятор, конверсійна ефективність, світловий вихід, час висвічування, іонізуюче випромінювання.

Література.

- [1] О. О. Ключников, А. В. Косовський, *Основи дозиметрії іонізуючих випромінювань: Навчальний посібник*. Київ, Україна: Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, 2007.
[2] І. Ю. Чернявський, В. В. Марущенко, І. М. Мартинюк *Військова дозиметрія: навчальний посібник*. Харків, Україна: ФВП НТУ «ХПІ», 2011.

УДК 528.11, 528.4: 528.6

ЩОДО РІШЕННЯ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЗАДАЧІ ЗБІЛЬШЕННЯ ЧАСУ РОБОТИ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ В АВТОНОМНИХ МІСІЯХ

¹⁾Зінченко М. О., ¹⁾Сайко В. Г., ¹⁾Комаров В. О. ²⁾Коломійцев О. В.

¹⁾Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна,

²⁾Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

E-mail: m030575z@ukr.net, vgsaiko@gmail.com, vladimir@komarov.in.ua, alexus_k@ukr.net

Традиційні підходи дистанційного зондування з розміщенням віддалених датчиків на вежах над полями сільськогосподарських культур (тепловізійних, мульти- і гіперспектральних камер і т.д.) мають обмежений радіус дії через фіксоване положення, поруч з яким збираються дані. Інший традиційний метод дистанційного зондування заснований на використанні літальних апаратів або супутників, але часове і просторове розпізнавання істотно обмежує їх ефективність для сільськогосподарських оцінок, враховуючи вельми динамічні зміни в рослинності по відношенню до навколишнього середовища.

Останнім часом стрімко зростає застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в аерозніманні, це пояснюється тим, що собівартість аерознімання