

ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

УДК 504.064.38 + 504.064.36 : 574

СПЕКТРОМЕТР ГАММА-ВИПРОМІНЮВАНЬ НА БАЗІ ТЕЛУРИД КАДМІЄВИХ ДЕТЕКТОРІВ

О.М. Арсен'єва¹, Л.Б. Беденко², О.М. Григор'єв², М.Г. Стервоєдов³

(¹Харківський національний університет радіоелектроніки,

²Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”,

³Харківський національний університет)

Розроблено спектрометричний прилад на базі телурид кадмієвого детектору для вимірювання кількості та складу радіонуклідів в навколишньому середовищі в польових умовах. Показано, що в діапазоні енергій від 59 до 662 кеВ енергетичний дозвіл достатній для розділення радіонуклідів на складові та дозволяє вирішувати також такі задачі, як аналіз складу важких елементів в сполуках за характеристичним рентгенівським випромінюванням. При цьому у багатьох випадках вимірювання не потребують пробовідбору, що значно зменшує час вимірювання. Також при застосуванні у складі спектрометра напівпровідникового детектора альфа-випромінювань були проведені вимірювання енергетичного спектру альфа-часток в діапазоні температур від – 10 до + 40 °С.

спектрометричний прилад, телурид кадмієвого детектору, радіонуклід, рентгенівське випромінювання

Вступ. Техногенні аварії і пов'язане з ними поширення радіонуклідного забруднення навколишнього середовища вимагають оперативної оцінки рівня забрудненості та складу радіонуклідів. У останні роки найбільш поширеним методом вимірювання складу радіонуклідів є спектрометрія гамма-випромінювань за допомогою напівпровідникових детекторів (НПД) на базі германію, охолодженого до температури рідкого азоту.

Для польових умов (робоча температура від – 50 до + 50 °С) необхідно застосовувати напівпровідники з більшою, ніж у германію, шириною забороненої зони.

Аналіз публікацій за останні 10 років показує, що понад 90% пові-

домлень про детекторні матеріали, які можуть бути застосовані для гамма-спектрометрії, присвячено телуриду кадмію (CdTe, CdZnTe). До переваг CdTe варто віднести:

1) достатньо близьку до оптимальної ширину забороненої зони (1,42 eV), що дозволяє одержати питомий опір до 10^9 Ом/см при кімнатній температурі; у роботі [1] показано, що CdTe може працювати протягом тривалих періодів (принаймні 24 години) при 90°C і здатний багато разів пройти цикл між кімнатною температурою і 90°C; слід зауважити, що детектори з CdZnTe вже застосовувались для детектування рентгенівського, гамма-випромінювання та спектрометрії альфа-часток з достатньою величиною енергетичного дозволу (2,5 кеВ при енергії 59,5 кеВ) [2, 3];

2) високу чутливість до гамма-випромінювання за рахунок великого атомного номера (48:52) складових елементів Cd і Te і високої щільності (6,06 г/см³).

Хоча технологія виробництва телуриду кадмію не сьогодні недостатньо відпрацьована, енергетичний розподіл детекторів досягає декілька процентів для енергії гамма-квантів 662 кеВ (цезій-137), що дозволяє застосовувати його для визначення складу радіонуклідів з енергетичним спектром середньої складності.

Проблема оперативності вимірів полів гамма-випромінювання виявилася після Чорнобильської аварії, коли протягом тижня була майже відсутня інформація про кількість та склад викидів радіонуклідів, а тому і керівницькі рішення не відповідали оперативній обстановці.

Для роботи у польових умовах авторами був розроблений спектрометричний комплекс ТДК 10 на базі телурид кадмієвого детектора (рис. 1), що дозволяє оперативно вимірювати кількість та склад радіонуклідів.

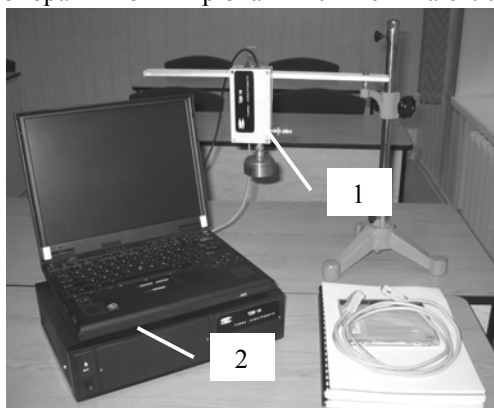


Рис.1. Спектрометр ТДК 10:

1 – детектор з передпідсилювачем;
2 – блок аналого-цифрового перетворювача

1. Структурна схема спектрометра і принцип його роботи. Основними структурними елементами ТДК 10 є:

- детектор (Д);
- зарядочутливий передпідсилювач (ЗЧПП);
- спектрометричний підсилювач (СМП);
- піковий детектор (ПД);
- аналого-цифровий перетворювач (АЦП);
- керуючий мікроконтролер (МК);
- перетворювач рівня (ПР);
- компаратор напруги (КН);
- джерело вторинного електроживлення (ВДЖ);
- зарядний пристрій (ЗП);
- акумуляторна батарея (АКБ).

Конструктивно детектор і зарядочутливий передпідсилювач виконані в окремому моноблоці у зв'язку з малою амплітудою вихідних імпульсів детектора, а також з необхідністю компенсації залежності амплітуди вихідного імпульсу детектора від ємності навантаження (у тому числі ємності кабелю). Всі інші структурні елементи спектрометра розміщені в блоці АЦП.

Структурна схема спектрометра ТДК 10 приведена на рис. 2.

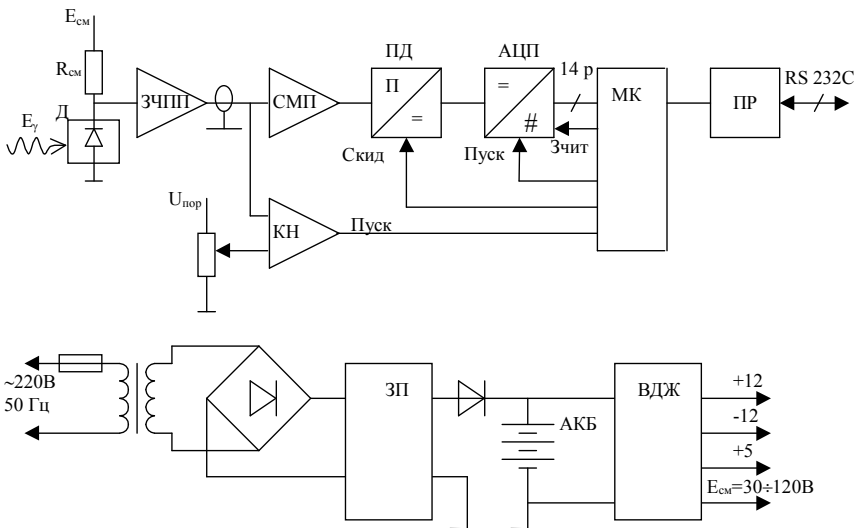


Рис. 2. Структурна схема гамма-спектрометра ТДК 10

У спектрометричному підсилювачі імпульс напруги від ЗЧПП піддається обробці для поліпшення співвідношення сигнал/шум і підсилюється по амплітуді до рівня, достатнього для проведення аналого-цифрового пе-

ретворення з необхідною точністю. На додаток до цього, після проходження спектрометричного підсилювача, сигнал здобуває дзвіноподібну форму, найбільш підходящу для наступного запам'ятовування сигналу на піковому детекторі. Спектрометричний підсилювач являє собою два послідовно включених інтегруючих і диференціюючих контури з проміжним посиленням сигналу на операційних підсилювачах.

З виходу спектрометричного підсилювача імпульс напруги надходить на піковий детектор, де запам'ятовується на ємності на час аналого-цифрового перетворення.

Піковий детектор зібраний на операційних підсилювачах типу КР544УД2. По завершенні аналого-цифрового перетворення ємність пікового детектора, що запам'ятовує, розряджається ланцюжком, зібраним на польових транзисторах. Керуючий сигнал на розряд запам'ятовуючої ємності подається мікроконтролером PIC16F84.

З виходу пікового детектора постійна напруга, що дорівнює амплітуді імпульсу на виході спектрометричного підсилювача, подається на вхід АЦП АД7810. АЦП за командою мікроконтролера PIC16F84 починає перетворення вхідного сигналу в 14-розрядний подвійний код. Після закінчення часу, необхідного для перетворення, мікроконтролер зчитує рівнобіжний подвійний код з виходів АЦП і передає його в ПЕОМ.

Керування роботою блоку АЦП і передачу в ПЕОМ інформації про амплітуду імпульсу здійснює мікроконтролер PIC16F84 фірми Microchip. У цілому блок АЦП працює так: при надходженні імпульсу в блок АЦП від ЗЧПП, здійснюється порівняння його амплітуди з попередньо встановленим граничним значенням. Якщо амплітуда вхідного імпульсу перевищує граничне значення, то з виходу компаратора напруги на відповідний вхід мікроконтролера надходить імпульс. За виявленням цього імпульсу, мікроконтролер подає на вхід запуску АЦП команду на запуск перетворення. Після закінчення часу, необхідного для виконання перетворення, мікроконтролер подає на вхід керування зчитуванням інформації з АЦП команду на зчитування результату перетворення. За зчитуванням інформації з АЦП, мікроконтролер подає команду на розряд запам'ятовуючої ємності пікового детектора, підготовляючи його до запам'ятовування амплітуди наступного імпульсу. Після цього мікроконтролер передає в ПЕОМ по послідовному інтерфейсу RS 232C лічене значення коду АЦП двома послідовними байтами. Сполучення TTL рівня послідовного інтерфейсу мікроконтролера PIC16F84 з рівнями інтерфейсу RS 232C (± 12 В) здійснюється перетворювачем рівня MAX 232.

У процесі виконання виміру спектра гамма-випромінювання разом із блоком АЦП працює ПЕОМ, що здійснює прийом інформації, її візуалізацію і запис на диск.

2. Аналізатор імпульсів для спектрометричних вимірювань. Багатофункціональний амплітудний аналізатор являє собою багатофункціональну плату із шиною ISA і призначений для реєстрації і нагромадження інформації з ядерно-фізичних детекторів: сцинтиляційних, напівпровідникових, інфракрасних і пропорційних лічильників. Плата аналізатора встановлюється в персональний комп'ютер IBM PC XT/AT і не вимагає додаткового устаткування. Режими роботи аналізатора задаються програмно.

Висока швидкодія аналізатора в сполученні з гарними точнісними параметрами роблять його універсальним приладом, який може успішно використовуватися в службах радіаційного контролю підприємств різного профілю, у системах екологічного моніторингу, у наукових дослідженнях.

Аналізатор представляється програмою, що забезпечує завдання режимів роботи, нагромадження й обробку амплітудних розподілів. Обробка містить у собі процедуру енергетичного калібрування, пошук і ідентифікацію піків, згладжування, арифметичні дії зі спектрами і т.п. Програмне забезпечення працює в середовищі Windows-5/98/2000/NT.

Аналізатор призначений для роботи як з імпульсами мікросекундного діапазону, так і з повільно мінливою у часі вхідною напругою. Момент виміру величини аналогового сигналу може визначатися зовнішнім сигналом (подаваний на логічний вхід) чи внутрішнім, котрий виробляється піковим детектором аналізатора. Відповідні режими – «зовнішнє» – «внутрішнє» стробування вибираються програмно. У режимі внутрішнього стробування логічний вхід може використовуватися для організації режиму збігів або антизбігів. У режимі зовнішнього стробування максимальна частота дискретизації складає 800 кГц.

Аналізатор постачаний дискримінатором нижнього рівня. Поріг дискримінації встановлюється програмно в діапазоні 0 – 1,25 В.

У залежності від обраного режиму, програмно може бути заданий метод нагромадження інформації – пам'ять гістограмна або стекового типу. Пам'ять у режимі "гістограмна" являє собою 2048 каналів з ємністю кожного каналу $2^{32}-1$. У стековому режимі в пам'ять можна записати 4096 послідовних значень коду АЦП. У цьому режимі роботи пам'яті можна використовувати сигнали переривання шини ISA з номерами IRQ3–IRQ7 для обробки заповнення стека.

Плата АЦП адресується як пристрій вводу-виводу, що займає три порти. Базова адреса може приймати наступні значення: 300h, 310h, 320h, 330h, 340h, 350h, 360h, 370h.

Полярність вхідних сигналів, базова адреса пристрою (порт вводу-виводу) і використовуване переривання задаються перемичками, розташованими на платі.

Обробка гамма-спектрів може бути здійснена за допомогою інтерактивного графічного методу ідентифікації ізотопів [4]. Ефективність методу достатньо висока, особливо при низькій статистиці вимірювань. Метод може бути використаний для різних типів гамма-детекторів і поглиначів. Цей метод дозволяє отримувати швидкий відгук для випадку наявності або відсутності визначеного ізотопу. У порівнянні з іншими метод простий у використанні і може бути застосований в дослідженнях гамма-спектрів відпрацьованих твелів та інших ядерних матеріалів.

Висновки. Енергетичний дозвіл спектрометра ТДК 10 при енергії гамма-квантів 662 кеВ складає 2,5%, що достатньо для проведення вимірів спектрів середньої складності. Це дозволяє визначати склад та кількість радіонуклідів при стандартному забрудненні радіонуклідами навколишнього середовища у результаті техногенних аварій на об'єктах ядерної промисловості.

В діапазоні енергій від 5,9 кеВ до 662 кеВ енергетичний дозвіл на пропонуваному спектрометрі дозволяє вирішувати такі задачі, як аналіз складу важких елементів в сполуках за характеристичним рентгенівським випромінюванням. При цьому у багатьох випадках вимірювання не потребують пробовідбору, що значно зменшує час вимірювання. Також при застосуванні у складі спектрометра напівпровідникового детектора альфа-випромінювань можна вимірювати енергетичний спектр альфа-часток з енергетичним розподілом 16 – 20 кеВ при енергії альфа-часток 5 МеВ в діапазоні температур від – 10 до + 40 °С.

ЛІТЕРАТУРА

1. Squillante M.R., Entine G. *Questions of scale-spectrometry // Nucl. Instr. and Meth. Phys. Res.* – 1996. – A.380, №2. – P. 160 – 164.
2. Pearson C.J., Regan P.H., Divoli A. *The application of CdZnTe detectors for coincident α - γ spectroscopy // Nucl. Instrum. and Meth. Phys. Res.* – 2001. – A. 462, № 3. – P. 393 – 396.
3. Niraula M., Nakamura A., Aoki T., Tomita Y., Hatanaka Y. *A new fabrication technique of CdTe strip detectors for gamma-ray imaging and spectroscopy // Phys status solidi.* – 2002. – A. 229, № 2. – P. 1103 – 1107.
4. Brutscher J., Arit R., Czock K.H. *Isotope identification soft ware for gamma spectra taken with CdZnTe detectors // Nucl. Instrum. and Meth. Phys. Res.* – 2001. – A. 458, № 1 – 2. – P. 189 – 195.

Надійшла 20.05.2005

Рецензент: доктор технічних наук, професор Є.Ю. Прохач,
Державне підприємство МО України „Екоцентр-43”, Харків.