



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 101270

(13) C2

(51) МПК

G01T 1/02 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2012 00375

(22) Дата подання заявки: 13.01.2012

(24) Дата, з якої є чинними
права на винахід: 11.03.2013

(41) Публікація відомостей
про заяву: 10.08.2012, Бюл.№ 15

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: 11.03.2013, Бюл.№ 5

(72) Винахідник(и):

Захарченко Олександр Олексійович (UA),
Рибка Олександр Вікторович (UA),
Кутній Володимир Євдокимович (UA),
Шляхов Ілля Миколайович (UA),
Кутній Дмитро Володимирович (UA)

(73) Власник(и):

НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
"ХАРКІВСЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ
ІНСТИТУТ",

вул. Академічна, 1, м. Харків, 61108,
Україна (UA)

(74) Представник:

Михайлюк Валентин Іванович, реєстр.
№1

(56) Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:

D.L. Cutajar et al. Intraoperative solid-state
based urethral dosimetry in low dose rate
prostate brachytherapy// IEEE
TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE,
VOL. 53, NO. 3, JUNE 2006, P. 1408-1412.
US 4292539; 29.09.1981;
WO 2002093194 A1; 21.11.2002;
RU 2361240 C1; 10.07.2009;
SU 231021 A1; 15.11.1968;
SU 1830497 A1; 30.07.1993;
US 3646347; 29.02.1972;
US 3729631; 24.04.1973;

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ПОГЛИНУТОЇ ДОЗИ γ - ВИПРОМІНЮВАННЯ

(57) Реферат:

Винахід належить до ядерної фізики, дозиметрії, ядерного приладобудування, радіаційної медицини і біології, а також до області техніки вимірів характеристик радіаційних потоків (поглинутої дози і потужності поглинутої дози). Спосіб вимірювання поглинутої дози γ -випромінювання, що заявляється, включає реєстрацію електричних імпульсів, які формуються дозиметром при взаємодії матеріалу детектуючого елемента дозиметра з γ -квантами, обробку результатів реєстрації й обчислення дози γ -випромінювання, при цьому обробку результатів реєстрації електричних імпульсів, які формуються дозиметром, здійснюють шляхом визначення середньої амплітуди імпульсу M , дисперсії D , коефіцієнта асиметрії A , а обчислення дози γ -випромінювання X здійснюють за формулою, що включає N - кількість імпульсів, зареєстрованих за час вимірювання дози; C_M , C_D , C_A , C_0 - константи, які визначаються при калібруванні дозиметричного пристрою. Технічним результатом винаходу є більш точний вимір поглинутої дози без необхідності детальної розшифровки спектрального складу.

UA 101270 C2

Винахід належить до ядерної фізики, дозиметрії, ядерного приладобудування, радіаційної медицини і біології, а також до області техніки вимірів характеристик радіаційних потоків (поглинутої дози і потужності поглинутої дози).

Детектори γ -випромінювання на основі широкозонних напівпровідників мають різку залежність чутливості δ від енергії γ -квантів E_γ у діапазоні енергій 10...3000 кеВ. Так співвідношення $\delta(60 \text{ кеВ})/\delta(662 \text{ кеВ})$ більше 20 для матеріалів, що належать до класу напівпровідників А2В6, А3В6, А3В5 і т.д. Багаторазові спроби використати ці матеріали в дозиметрії показали, що при використанні в дозиметрії одного детектора, помилка вимірювання дози випромінювання може складати сотні відсотків.

До основних видів погрішності вимірів існуючих дозиметрів можна віднести погрішність калібрування дозиметра; погрішності дозиметра, пов'язані з залежністю чутливості дозиметра від енергій γ -квантів; із залежністю чутливості дозиметра від кута падіння γ -квантів; нелінійністю чутливості при різних потужностях дози; статистичними флуктуаціями при малих значеннях потужностей дози; зміною чутливості при розрядці батарей, а також погрішності, обумовлені зовнішніми умовами виміру, а саме: зміною чутливості від температури, вологості і тиску; зміною чутливості через вплив електромагнітних полів; зміною чутливості через вібрацію і механічні удари.

Необхідною складовою відомих способів дозиметрії γ -випромінювання невідомого спектрального складу за допомогою напівпровідникових детекторів є корекція залежності чутливості детекторів від енергії γ -квантів, що реєструються, метою якої є зменшення додаткової погрішності вимірів дози, пов'язаної з цим ефектом (energy-compensated detectors). Таким чином, така компенсація необхідна для всіх типів професійних дозиметрів (наприклад, US 4292539 "Compensated Count-rate Circuit For Radiation Survey Meter" або WO2002093194 "A low cost digital pocket dosimeter"), однак, якщо для газорозрядних лічильників максимальна додаткова помилка вимірювання дози, що обумовлена енергетичною залежністю чутливості детектора, не перевищує 100 %, то для напівпровідникових детекторів вона може досягати 1000 % та більше.

Задача усунення додаткової помилки виміру дози випромінювання актуальна вже більше ніж 30 років і всі відомі нам технічні пропозиції спрямовані поки що на удосконалення способів корекції. Способи корекції поділяються на два класи: пасивні й активні.

Методи пасивної корекції залежності чутливості детекторів від енергії γ -квантів, застосовувані, наприклад, для газових лічильників, не забезпечують додаткову погрішність вимірів дози краще ніж ± 60 %. При цьому чутливість приладу в області $E_\gamma < 100$ кеВ наближається до 0. Методи електронної корекції дозволяють знизити додаткову погрішність вимірів до ± 10 %, але досягається це ціною значного ускладнення схеми приладу й суттєвого (на 2 порядки) зниження чутливості до випромінювання з $E_\gamma < 100$ кеВ. Крім того, коефіцієнти корекції, використовувані для вирівнювання чутливості таких дозиметрів, залежать від транспортних властивостей носіїв заряду в матеріалі детектора. Нині неможливо масово виготовляти високоомні матеріали з однорідними параметрами перенесення заряду. Це призводить до необхідності відбору детекторів з характеристиками, для яких параметри корекції були вже розраховані, а вихід таких складає не більше 5 % навіть у кращих виробників високоомного матеріалу. Другим виходом може бути індивідуальний розрахунок коефіцієнтів корекції для кожного приладу окремо, що вимагає спеціальної процедури їхнього калібрування. Обидва варіанти (добір і розрахунок) збільшують ціну приладу до неприйнятних величин.

У тому випадку, коли спектральний склад γ -випромінювання, що реєструється, відомий, доза випромінювання може бути визначена порівнянням обмірюваного спектра зі спектром еталонного джерела. Даний спосіб визначення дози можна використовувати тільки у вузькоспеціалізованих приладах (наприклад, при проведенні радіаційної терапії, коли всі характеристики джерела випромінювання точно відомі заздалегідь) і тільки для тієї геометрії розташування джерел випромінювання, у якій проводилося калібрування приладу.

Можливі також комбіновані прилади з активною і пасивною корекцією енергетичної залежності чутливості детектора в різних інтервалах енергій вимірюваних γ -квантів.

Відомі до цього спроби використання в дозиметрії аналізу спектрального складу γ -випромінювання обмежені вузьким інтервалом енергій ($E_\gamma < 200$ кеВ, де в напівізоляторах переважає фотоелектричне поглинання γ -квантів) і необхідністю попереднього розшифрування спектрального складу вимірюваного спектра. Такі прилади використовуються для дозиметрії джерел з постійним спектральним складом γ -випромінювання, наприклад, для визначення дози, поглинутої внутрішніми органами людини в курсах радіаційної терапії медичними ізотопами.

Зокрема, приклад такого здійснення способу вимірювання поглинутої дози за допомогою кремнієвого міні-дозиметра наведений у роботі D.L. Cutajar et al. Intraoperative solid-state based

urethral dosimetry in low dose rate prostate brachytherapy// IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, VOL. 53, NO. 3, JUNE 2006, P. 1408-1412. Спосіб включає реєстрацію електричних імпульсів, що формуються дозиметром при взаємодії матеріалу детектуючого елемента дозиметра з γ -квантами, обробку результатів реєстрації й обчислення дози γ -випромінювання.

5 Використовувався кремнієвий детектор з опором 10 кОм, площею $0,8 \times 2,5 \text{ мм}^2$ і товщиною збідненого шару 300 мкм. Реєструвалося випромінювання від джерела ^{125}I , основна лінія випромінювання якого дорівнює 27 кеВ. Точність виміру дози складала 5 %.

В основу винаходу поставлена задача розробити спосіб виміру поглинутої дози γ -випромінювання, який за рахунок оптимально підібраної послідовності дій, виконуваних при його реалізації, дозволить забезпечити точний вимір поглинутої дози випромінювання з довільним і заздалегідь невідомим спектральним складом у широкому діапазоні енергій γ -квантів без необхідності детальної розшифровки спектрального складу і розрахунку коефіцієнта корекції для використовуваного дозиметра.

Поставлена задача вирішується тим, що розроблено спосіб вимірювання поглинутої дози γ -випромінювання, що включає реєстрацію електричних імпульсів, сформованих дозиметром при взаємодії матеріалу детектуючого елемента дозиметра з γ -квантами, обробку результатів реєстрації й обчислення дози γ -випромінювання, при цьому обробку результатів реєстрації електричних імпульсів, сформованих дозиметром, здійснюють шляхом визначення середньої амплітуди імпульсу M , дисперсії D , коефіцієнта асиметрії A , а обчислення дози γ -випромінювання X по формулі:

$$X = N \times (C_M M + C_D D + C_A A + C_0),$$

де N - кількість імпульсів, зареєстрованих за час виміру дози; C_M , C_D , C_A , C_0 - константи, обумовлені при калібруванні дозиметричного пристрою.

Чутливість дозиметра до монохроматичного випромінювання виражена в даному випадку у вигляді функції від лінійної комбінації статистичних характеристик монохроматичного спектра. Лінійність цієї функції забезпечує розрахунок поглинутої дози випромінювання без необхідності визначення спектрального складу вимірюваного γ -випромінювання.

Під час реєстрації електричних імпульсів, що формуються дозиметром при взаємодії матеріалу детектуючого елемента дозиметра з γ -квантами, здійснюється також аналіз розподілу по амплітудах електричних імпульсів, що реєструються. Виходячи з параметрів такого розподілу можна робити висновок про спектр випромінювання. При цьому в процесі обробки результатів реєстрації електричних імпульсів детальну розшифровку (аналіз піків) спектра не здійснюють.

Описана реалізація способу дозволяє забезпечити ефективне вимірювання поглинутої дози γ -випромінювання з високою точністю в широкому діапазоні енергій γ -квантів (від 40 до 3000 кеВ), при цьому при здійсненні способу не потрібна корекція залежності чутливості детектора (дозиметра) від енергії γ -випромінювання, що реєструється, відсутня додаткова помилка вимірювання дози γ -випромінювання, пов'язана з залежністю чутливості детектора від енергії γ -випромінювання, що реєструється. Крім того, описана реалізація способу дозволяє суттєво скоротити витрати на виробництво приладів, використовуваних при реалізації способу, який заявляється, що забезпечує його високу економічну ефективність. При реалізації способу, що заявляється, не потрібне порівняння з еталонними джерелами випромінювання, а одержуваний результат не залежить від геометрії випромінювача і від спектрального складу γ -випромінювання, що реєструється.

Доцільним є як детектуючий елемент дозиметра використання напівпровідникового елемента на основі кристалів високоомних напівпровідникових сполучень (CdZnTe , HgI_2 , TlBr та ін.) з питомим опором від $10^9 \text{ Ом} \times \text{см}$. Такий питомий опір дозволяє одержати детектори з товщиною активного об'єму до 1 см. Для впевненої реєстрації γ -випромінювання з енергією вище 1 МеВ товщина високоомного детектора має бути більше ніж 2 мм.

Спосіб вимірювання поглинутої дози γ -випромінювання, що заявляється, реалізується наступним чином.

При реалізації способу використовують дозиметр, що включає спектрометричний тракт, який складається з неохолоджуваного детектуючого елемента на основі широкозонного напівпровідникового елемента, наприклад, на основі кристалів CdZnTe , HgI_2 , джерела живлення, передпідсилювача, підсилювача-формувача, аналого-цифрового перетворювача, пристрою обробки інформації (мікропроцесор для компактних приладів або персонального комп'ютера). При впливі γ -випромінювання, на матеріал детектуючого елемента дозиметра формуються електричні імпульси, реєстрацію й аналіз розподілу по амплітудах яких здійснюють при реалізації способу. Обробку результатів реєстрації електричних імпульсів, що формуються дозиметричним пристроєм, здійснюють шляхом визначення середньої амплітуди імпульсу M ,

дисперсії D і коефіцієнта асиметрії A прийнятим у даному випадку способом. Обчислення поглинутої дози γ -випромінювання X здійснюють за формулою:

$$X=N \times (C_M M + C_D D + C_A A + C_0),$$

- де N - кількість імпульсів, зареєстрованих за час вимірювання дози; C_M , C_D , C_A , C_0 - константи, обумовлені при калібруванні дозиметричного пристрою. Реєстрацію електричного імпульсу, що формується дозиметром, здійснюють у діапазоні енергій γ -випромінювання від 40 до 3000 кеВ. Як детектуючий елемент дозиметра використовують напівпровідниковий елемент на основі кристалів високоомних напівпровідникових з'єднань ($CdZnTe$, HgI_2 , $TlBr$ та ін.) з питомим опором від 10^9 Ом \times см, наприклад $CdZnTe$ детектор розмірами $6 \times 6 \times 3$ мм³ і питомим опором 9×10^{10} Ом \times см.

- Таким чином, спосіб вимірювання поглинутої дози γ -випромінювання, що заявляється, за рахунок оптимально підбраної послідовності дій, виконуваних при його реалізації, дозволяє забезпечити точне вимірювання поглинання дози випромінювання з довільним і заздалегідь невідомим спектральним складом у широкому діапазоні енергій γ -квантів без необхідності детальної розшифровки спектрального складу і розрахунку коефіцієнта корекції для використовуваного дозиметра.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб вимірювання поглинутої дози γ -випромінювання, що включає реєстрацію електричних імпульсів, які формуються дозиметром при взаємодії матеріалу детектуючого елемента дозиметра з γ -квантами, обробку результатів реєстрації й обчислення дози γ -випромінювання, який **відрізняється** тим, що обробку результатів реєстрації електричних імпульсів, які формуються дозиметром, здійснюють шляхом визначення середньої амплітуди імпульсу M , дисперсії D , коефіцієнта асиметрії A , а обчислення дози γ -випромінювання X здійснюють за формулою:

$$X=N \times (C_M M + C_D D + C_A A + C_0),$$

де N - кількість імпульсів, зареєстрованих за час вимірювання дози; C_M , C_D , C_A , C_0 - константи, які визначаються при калібруванні дозиметричного пристрою.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що реєстрацію електричних імпульсів, які формуються дозиметром, здійснюють у діапазоні енергій γ -випромінювання від 40 до 3000 кеВ.
3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що як детектуючий елемент дозиметра використовують напівпровідниковий елемент на основі кристалів високоомних напівпровідникових з'єднань з питомим опором від 10^9 Ом \times см.

Комп'ютерна верстка С. Чулій

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601