



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **87411** (13) **U**  
(51) МПК (2014.01)  
**C30B 11/00**  
**C30B 11/04** (2006.01)  
**C30B 11/12** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<b>(21)</b> Номер заявки: <b>u 2013 09074</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Склярчук Валерій Михайлович (UA),</b> <b>Фочук Петро Михайлович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>19.07.2013</b>	
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.02.2014</b>	<b>(73)</b> Власник(и): <b>ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ</b> <b>УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ЮРІЯ ФЕДЬКОВИЧА,</b> вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, 58012 (UA)
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.02.2014, Бюл.№ 3</b>	

**(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕНОСУ ЗАРЯДУ В НАПІВІЗОЛЮЮЧИХ МАТЕРІАЛАХ НА ОСНОВІ CdTe ТА ЙОГО ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ**

**(57) Реферат:**

Спосіб визначення параметрів переносу заряду в напівізолюючих матеріалах на основі CdTe та його твердих розчинів включає створення двох омичних контактів до напівпровідника відомої товщини ( $d$ ) та визначення добутку рухливості вільних носіїв заряду ( $\mu$ ) на час їх життя ( $\tau$ ) -  $\mu\tau$ . Вимірюють вольт-амперну характеристику зразка (ВАХ), причому діапазон напруг вибирають таким, щоб спостерігались дві ділянки ВАХ - лінійна ( $I \sim V$ ) та квадратична ( $I \sim V^2$ ), та визначають  $\mu\tau$  як результат ділення квадрата товщини кристала на напругу переходу  $V_0$  лінійної ділянки ВАХ в квадратичну і розраховують  $\mu\tau$  за формулою  $\mu\tau = d^2/V_0$ .

UA 87411 U



Корисна модель належить до методики визначення ключового параметра напівізолюючого напівпровідникового матеріалу детекторної якості, а саме добутку рухливості вільних носіїв заряду на їх час життя ( $\mu\tau$ ). Це характеристика напівпровідникового детектора, яка показує його здатність до реєстрації іонізуючого випромінювання, суттєво залежить від параметрів, які визначають процес переносу заряду - рухливості  $\mu$  та часу життя  $\tau$  носіїв заряду електронів ( $n$ ) і дірок ( $p$ ). Чим більше значення  $\mu\tau$ , тим кращі детектори можуть бути виготовлені з такого матеріалу.

Відомо, що добуток  $\mu\tau$  суттєво впливає на ефективність збирання нерівноважних носіїв заряду та розрізну здатність детекторів іонізуючого випромінювання, для виготовлення яких використовують монокристали таких напівпровідників як Ge, Si, CdTe,  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ,  $\text{HgJ}_2$  та інші. Величина  $\mu\tau$  використовується для кількісної оцінки процесу збору нерівноважного заряду.

Визначення  $\mu\tau$  ускладнюється тим, що для виготовлення детекторів потрібен напівпровідниковий матеріал з питомим опором  $\rho=10^8\text{-}10^{11}$  Ом $\times$ см і більше. Прямі виміри параметрів переносу заряду, що ґрунтуються на ефекті Холла, в напівпровідниках типу CdTe,  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  ( $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ), які використовують для виготовлення детекторів іонізуючого випромінювання, досить непрості. Причина - великий питомий опір та відносно значні поверхневі струми, які вносять суттєві похибки. Це приводить до помилок, що співмірні за величиною з параметрами, які визначаються.

Відомі способи визначення ґрунтуються на порівнянні експериментально отриманих  $\gamma$ -спектрів з розрахованими  $\gamma$ -спектрами, отриманими методом математичного моделювання [1-3]. Але оскільки форма спектрів суттєво залежить від рівня шумів, наявності розсіюючих середовищ та інш., то отримані значення  $\mu\tau$  можуть відрізнитись від інших експериментальних вимірів, причому досить помітно. Крім цього підбір параметрів, які узгоджуються з експериментом в такому методі, потребує тривалого часу як для вимірювань, так і розрахунків. Тобто, ці методи вимагають значних затрат часу, наявності радіоактивних джерел випромінювання, спеціального обладнання для вимірів  $\gamma$ -спектрів, що у випадку промислового використання значно ускладнює процес та збільшує вартість виготовлення детекторів.

Найближчим аналогом є спосіб, описаний в роботі [4]. В ній автори для визначення величини  $\mu\tau$  вимірюють залежність ефективності роботи детектора від прикладеної напруги  $i$ , використовуючи формулу Хехта, визначають  $\mu\tau$ . Це досить непроста методика, в якій потрібно залучати складне та вартісне обладнання, що застосовується для виміру  $\gamma$ -спектрів.

В основу корисної моделі поставлено задачу запропонувати короткотривалий та простий спосіб визначення  $\mu\tau$ , апробований на монокристалах CdTe,  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  та  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ . Це дозволить швидко отримати необхідний результат, який потрібен для оцінки придатності монокристалів для виготовлення детекторів.

Суть корисної моделі полягає в тому, що до монокристалів відомої товщини ( $d$ ) виготовляють омичні контакти та вимірюють вольт-амперну характеристику (ВАХ). Діапазон зміни напруги при вимірюванні вибирають таким, щоби на ВАХ спостерігались дві характерні ділянки: омична, де струм пропорційний прикладеній напрузі ( $I\sim V$ ), та квадратична, де струм пропорційний квадрату прикладеної напруги ( $I\sim V^2$ ). Тоді, з графіка ВАХ можна визначити напругу переходу лінійної ділянки в квадратичну ( $V_0$ ). Потрібне значення  $\mu\tau$  визначається за формулою:  $\mu\tau=d^2/V_0$ .

Запропонований спосіб відрізняється тим, що суттєво спрощує визначення  $\mu\tau$  не тільки з точки зору затрат часу, але і з точки зору використовуваного технологічного та вимірювального обладнання.

Такі ознаки не зустрічаються в жодному з аналогів. Промислове використання запропонованої корисної моделі не вимагає спеціальних технологій і матеріалів, її реалізація можлива на існуючих підприємствах електронного приладобудування.

На фіг. 1, 2, 3 наведені приклади ВАХ, які ілюструють запропонований спосіб.

Послідовність виконання запропонованого процесу визначення  $\mu\tau$  для монокристалів CdTe ( $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ,  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ) наступна. З вибраного для досліджень куска матеріалу виготовляють монокристалічні зразки правильної геометричної форми (бажано), наприклад  $5\times5\times2$  мм<sup>3</sup>. На двох великих поверхнях створюють омичні контакти за допомогою нанесення на них краплини ~5 % розчину  $\text{HAuCl}_4$ , (надлишок розчину через 60 секунд видаляють фільтрувальним папером або напильником. Вимірюються вольт-амперні характеристики (ВАХ) в достатньому інтервалі напруг, з яких визначається  $V_0$  (фіг. 1, 2, 3).

Потрібне значення  $\mu\tau$  розраховують за формулою  $\mu\tau=d^2/V_0$ .

Приклад конкретного виконання.

Описаний спосіб був використаний для визначення  $\mu\tau$  монокристалів CdTe р-типу провідності та для монокристалів  $\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te}$  n-типу провідності. З монокристалів виготовляли зразки:

- 5 CdTe1 -  $5 \times 2 \times 0,5 \text{ мм}^3$  ( $d=5 \text{ мм}$ );  
 Cd<sub>0,9</sub>Zn<sub>0,1</sub>Te -  $5 \times 5 \times 3 \text{ мм}^3$  ( $d=3 \text{ мм}$ );  
 CdTe2 -  $1 \times 2 \times 0,45 \text{ мм}^3$  ( $d=0,45 \text{ мм}$ ).

Омічні контакти до р-CdTe виготовляли вакуумним термічним нанесенням нікелю, а до n-Cd<sub>0,9</sub>Zn<sub>0,1</sub>Te - термічним напиленням індію в вакуумі.

- 10 Технологічні процеси здійснювались на установці вакуумного напилення ВУП-5М. Результати вимірів ВАХ приведено на малюнках 1 (зразок CdTe1), 2 (зразок Cd<sub>0,9</sub>Zn<sub>0,1</sub>Te) та 3 (зразок CdTe2). Оскільки процес переходу від омічної ділянки ВАХ до квадратичної не миттєвий, потрібне значення  $V_0$  знаходимо як точку перетину двох прямих  $I \sim V$  та  $I \sim V^2$ .

Для зразка CdTe1 значення  $V_0$  становило 25 В,  $\mu\tau=10^{-2} \text{ см}^2 \times \text{В}^{-1}$ ;

- 15 зразка Cd<sub>0,9</sub>Zn<sub>0,1</sub>Te -  $F_0=45 \text{ В}$ ,  $\mu\tau=2 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2 \times \text{В}^{-1}$ ;  
 CdTe2 -  $V_0=2 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2 \times \text{В}^{-1}$ .

Джерела інформації:

1. Sato G., Parsons A., Hullinger D. et al. Development of a spectral model based on charge transport for the Swift/BAT 32K CdZnTe detector array // Nucl. Instr. & Meth. A. - 2005. - Vol. 541. - P. 372-384.  
 20 2. Sato G., Takahashi T., Sugiho M. et al. Characterization of CdTe/CdZnTe detectors // IEEE Trans. Nucl. Sci. - 2001. Vol. 49. - P. 1258-1263.  
 3. Hirt, M. Polack, J. K. Sturgess, J. Sferrazza, N. D. A. E. Bolotnikov et al. A technique for electron lifetime measurements in the high  $\mu$ - $\tau$  product CdZnTe material // Proceedings of the Institute of Nuclear Materials Management Ann. - 2010, p1.  
 25 4. Ruihua Nan, Wanqi Jie, Gangqiang Zha, Hui Yu. Relationship between high resistivity and the deep level defects in CZT:In. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A705 (2013) 32-35.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

30

1. Спосіб визначення параметрів переносу заряду в напівізолюючих матеріалах на основі CdTe та його твердих розчинів, що включає створення двох омічних контактів до напівпровідника відомої товщини ( $d$ ) та визначення добутку рухливості вільних носіїв заряду ( $\mu$ ) на час їх життя ( $\tau$ ) -  $\mu\tau$ , який **відрізняється** тим, що вимірюють вольт-амперну характеристику зразка (ВАХ), причому діапазон напруг вибирають таким, щоб спостерігались дві ділянки ВАХ - лінійна ( $I \sim V$ ) та квадратична ( $I \sim V^2$ ), та визначають  $\mu\tau$  як результат ділення квадрата товщини кристала на напругу переходу  $V_0$  лінійної ділянки ВАХ в квадратичну і розраховують  $\mu\tau$  за формулою  $\mu\tau=d^2/V_0$ .

35

2. Спосіб визначення параметрів переносу заряду в напівізолюючих матеріалах на основі CdTe та його твердих розчинів за п. 1, який **відрізняється** тим, що напругу переходу  $V_0$  визначають як точку перетину лінійної та квадратичної ділянки ВАХ.

40

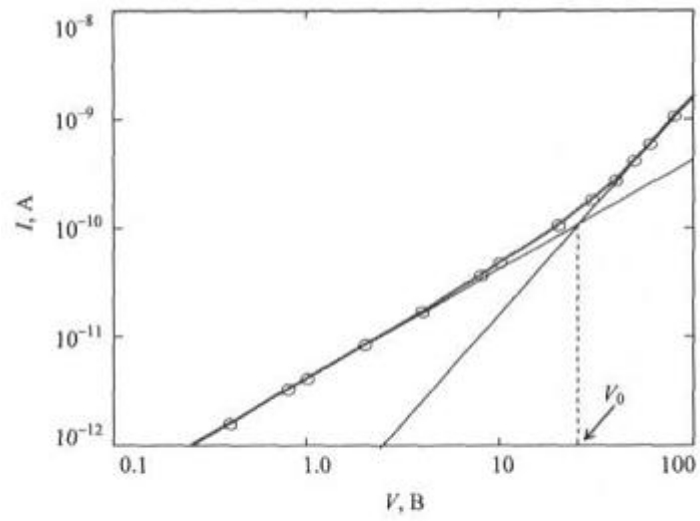


Fig. 1

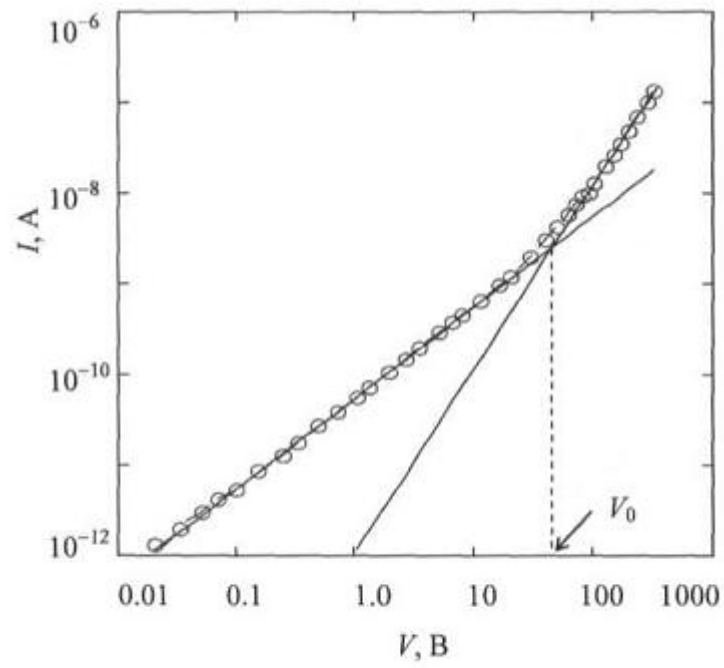
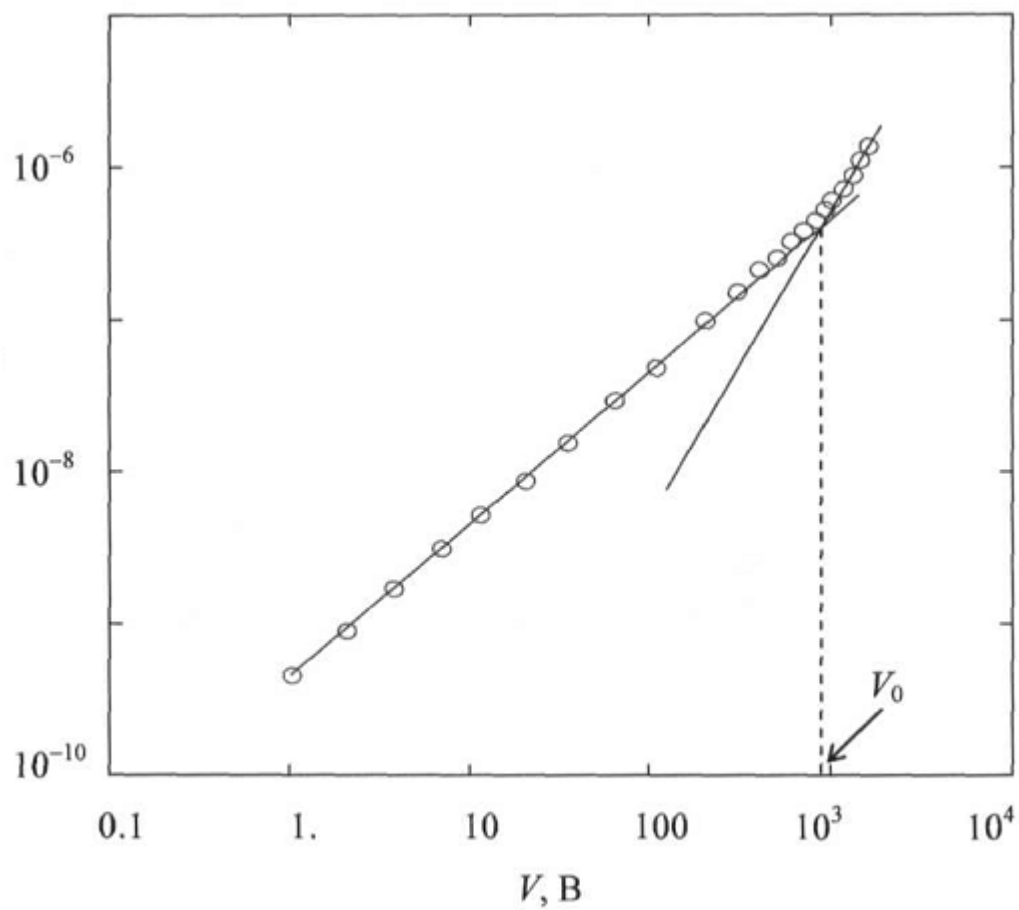


Fig. 2



Фиг. 3

---

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

---

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