

Проведено дослідження електричних властивостей анізотипних гетеропереходів n-TiO₂/p-CdTe, отриманих методом спреї-піролізу. Основні результати досліджень пояснені в рамках моделі структури з тонким високоомним прошарком на поверхні бази та наявністю значної концентрації поверхневих енергетичних станів на межі розділу компонент

Ключові слова: CdTe, TiO₂, гетероструктури, спреї-піроліз

Проведены исследования электрических свойств анизотипных гетеропереходов n-TiO₂/p-CdTe, полученных методом спреї-піроліза. Основные результаты исследований объяснены в рамках модели структуры с тонким высокоомным слоем на поверхности базы и наличием значительной концентрации поверхностных энергетических состояний на границе раздела компонент

Ключевые слова: CdTe, TiO₂, гетероструктуры, спреї-піроліз

ОСОБЛИВОСТІ ЄМНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕТЕРОСТРУКТУР n -Ti O₂/p -Cd Te , ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ СПРЕЙ-ПІРОЛІЗУ

В. В. Брус

Аспірант

Чернівецьке відділення

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України
вул. Ірини Вільде, 5, м. Чернівці, Україна, 58000

Контактний тел.: (0372) 55-12-32

E-mail: victorbrus@mail.ru

М. І. Ілащук

Кандидат фізико-математичних наук, асистент*

Контактний тел.: (0372) 55-28-30

О. А. Парфенюк

Доктор фізико-математичних наук, професор*

Контактний тел.: (0372) 52-26-80

E-mail: o.parfenyuk@chnu.edu.ua

П. Д. Мар'янчук

Доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри*

Кафедра електроніки і енергетики

Контактний тел.: (03722) 4-68-77

E-mail: p.maryanchuk@chnu.edu.ua

Н. М. Гавалешко

Кандидат фізико-математичних наук, доцент*

Контактний тел.: (03722) 4-69-79

*Кафедра електроніки і енергетики

Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича
вул. Коцюбинського, 2, Чернівці, Україна, 58012

1. Вступ

Телурид кадмію набув широкого застосування як базовий матеріал для сонячних елементів, що зумовлено його високою фоточутливістю та оптимальним для фотовольтаїчного перетворення значенням ширини забороненої зони ($E_g=1.5$ еВ при $T = 295$ К) [1]. Перспективним в даний час вважається виготовлення фотоперетворювачів на основі гетеропереходів, де оптичним вікном з широкою забороненою зоною є оксиди металів, зокрема діоксид титану (TiO_2), а поглинаючим шаром – CdTe. Значення ширини забороненої зони для TiO_2 складає $\sim 3.15 \div 3.5$ еВ у залежності від кристалічної структури і технології виготовлення плівок TiO_2 [2], що дозволяє розширити область спектральної фоточутливості гетеропереходів на основі CdTe в сторону малих довжин хвиль. Сонячні елементи на основі гетеропереходів $TiO_2/CdTe$ у тонкоплівковому виконанні з екстремально тонким поглиначем на структурованій поверхні були отримані

в [3], а реактивним магнетронним напиленням тонкої плівки діоксиду титану на монокристалічний CdTe – у [4].

У даній роботі приведені результати досліджень електричних властивостей анізотипних гетеропереходів n-TiO₂/p-CdTe, отриманих нанесенням тонких плівок діоксиду титану на свіжосколоті поверхні (110) монокристалічних підкладок CdTe методом спреї-піролізу.

2. Методика експерименту

Нанесення плівок TiO_2 проводили розпиленням розчину 0,1М $TiCl_3$ у дистильованій воді. Газом-носієм було стиснуте до 1.5 атм повітря. Швидкість розпилення розчину становила 5 мл/хв., температура підкладки – 400°C. Товщину отриманих плівок (0,5 мкм) визначали з використанням інтерферометра МІІІ - 4 за стандартною методикою.

Кристали для підкладок були вирощені методом Бріджмена. Їхні електричні параметри при $T=295\text{ K}$ становили: питома електропровідність $\sigma = 8,9 \cdot 10^{-2}\text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$, концентрація носіїв заряду $p = 8,9 \cdot 10^{15}\text{ см}^{-3}$. Нанесені на монокристалічні підкладки півки TiO_2 мали електронну провідність.

Електричні властивості отриманих структур $n\text{-TiO}_2/p\text{-CdTe}$ досліджували шляхом вимірювання вольт-амперних (ВАХ) та вольт-фарадних (ВФХ) характеристик при різних температурах (295-351K) та частотах змінного сигналу ($10\text{-}10^3\text{ кГц}$) за допомогою комплексу SOLARTRON SI 1286, SI 1255.

3. Результати та їх обговорення

Отримані гетеропереходи $n\text{-TiO}_2/p\text{-CdTe}$ володіли яскраво вираженими діодними характеристиками з коефіцієнтом випрямлення $6.0 \cdot 10^3$ при напрузі $V=2.0\text{ V}$. ВАХ досліджуваних структур при прямому зміщенні наведені на рис. 1.

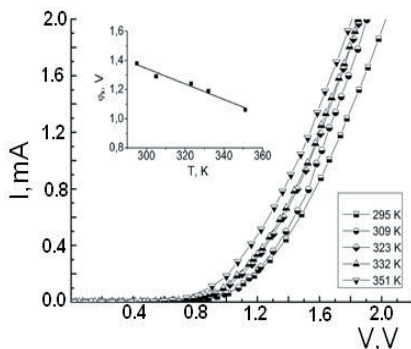


Рис. 1. Прямі гілки ВАХ структури $n\text{-TiO}_2/p\text{-CdTe}$ при різних температурах. На вставці приведена температурна залежність висоти потенціального бар'єра

Визначена висота потенціального бар'єра $e\phi_k$ при $T=295\text{ K}$ дорівнювала 1.36 V , що підтверджує хороші випрямляючі властивості досліджуваних електричних переходів.

Встановлено, що температурна залежність величини $e\phi_k$ отриманих гетероструктур $n\text{-TiO}_2/p\text{-CdTe}$ у досліджуваному діапазоні температур добре описується рівнянням:

$$e\phi_k = e\phi_k(0) - \beta_\phi \cdot T, \tag{1}$$

де $\beta_\phi = 4.4 \cdot 10^{-3}\text{ eV}\cdot\text{K}^{-1}$ – температурний коефіцієнт висоти потенціального бар'єра, а $e\phi_k(0) = 2.94\text{ eV}$ – його висота при абсолютному нулі температури (вставка на рис. 1).

Отримане значення $e\phi_k(0)$ значно перевищує ширину забороненої зони CdTe ($E_g = 1.6\text{ eV}$), що могло бути спричинене формуванням області просторового заряду не тільки в підкладці, але й у півки.

Однак величина визначеного з лінійних ділянок прямих гілок ВАХ при різних температурах послідовного опору структури практично співпадала з опором базового матеріалу, розрахованого при врахуванні геометричних розмірів підкладки (рис. 2), у всьому температурному інтервалі вимірювань.

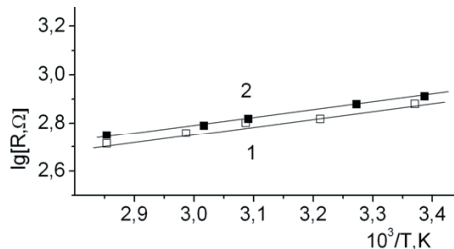


Рис. 2. Температурні залежності опору: 1- базового матеріалу (CdTe); 2 - послідовного опору досліджуваних структур $n\text{-TiO}_2/p\text{-CdTe}$

Це вказує на те, що електричний перехід формується у CdTe , а опір півки є меншим від опору підкладки. Тому можна допустити, що отримане значення $e\phi_k(0)$ зумовлене іншими причинами, що підтверджується при подальшому аналізі ВФХ структури.

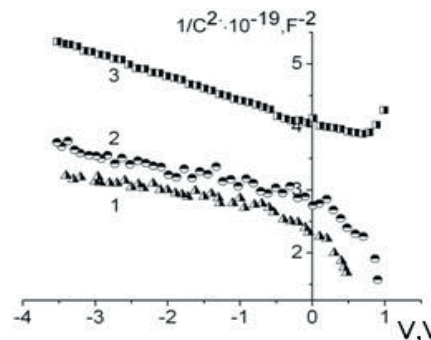


Рис. 3. ВФХ структури $\text{TiO}_2/p\text{-CdTe}$ при різних значеннях частоти змінного сигналу: 1-10кГц; 2 - 20кГц; 3 -1МГц

ВФХ гетеропереходу $n\text{-TiO}_2/p\text{-CdTe}$ у координатах $C^{-2} = f(V)$ при кімнатній температурі та різних частотах збуджуючого сигналу наведені на рис. 3. При низьких частотах ВФХ досліджуваних структур характеризуються двома яскраво вираженими ділянками: в області зворотних зміщень спостерігалася незначна залежність ємності структури від прикладеної зовнішньої напруги та різке її збільшення при зміні полярності (рис. 3, кр.1,2). Встановлені особливості ВФХ можуть бути пояснені наявністю в базі структури високоомного прошарку, опір якого R_b змінюється при включенні гетеропереходу в пряму напругу [5].

Як було запропоновано авторами [5], у такому випадку для досліджуваних структур необхідно використовувати еквівалентну схему заміщення, в якій, крім опору бази, враховується і її ємність (рис. 4).

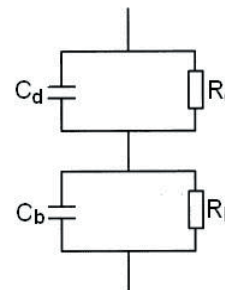


Рис. 4. Еквівалентна схема структури при врахуванні наявності тонкого високоомного прошарку

Аналіз отриманого в [5] виразу для вимірюваної ємності структури C_M , розрахованого на основі еквівалентної схеми (рис. 4), проведений при зворотних та прямих зміщеннях, добре пояснює результати ємнісних вимірювань структур $n\text{-TiO}_2/p\text{-CdTe}$.

Зворотні зміщення. Допускаючи, що при зворотних напругах опори високоомного прошарку R_b та збідненої області структури R_d приблизно рівні між собою $R_b \cong R_d$ (зазвичай вважають, що $R_b \ll R_d$), для повної ємності системи автори [5] отримали вираз:

$$C_M \cong \frac{C_d C_b}{C_d + C_b}, \quad (2)$$

тобто повна ємність системи складається із послідовно ввімкнених ємностей високоомного прошарку C_b та просторового заряду гетеропереходу C_d .

Оскільки при $V < 0$ спостерігається висока бар'єрна ємність електричного переходу $C_d \gg C_b$, вираз (2) набуває вигляду $C_M \cong C_b$, тобто абсолютне значення величини C_M наближається до ємності високоомного прошарку C_b .

Прямі зміщення. У цьому випадку відбувається істотна зміна величини C^2 , що пояснюється різким зменшенням опору високоомного прошарку бази внаслідок інжекції носіїв заряду. При цьому $R_b < R_d$, і для опису залежності $C_M = f(V)$ можна використати вираз

$$C_M = \frac{C_d}{1 + \omega^2 [R_b(V)]^2 C_d^2}. \quad (3)$$

Вважається, що кожному значенню напруги буде відповідати своє значення R_b .

Зростання ємності в області додатних зміщень залежить від здатності інжекттованих носіїв заряду встигати за зміною сигналу, на якому проводяться вимірювання. При невиконанні зазначеної умови, що може мати місце в області високих частот, збільшення ємності при $V > 0$ може не спостерігатися [6]. Так можна пояснити експериментальні $C-V$ залежності при $f = 1\text{МГц}$ (рис. 3, кр.3).

Зауважимо, що в рамках запропонованої моделі структури досліджуваних гетеропереходів

$n\text{-TiO}_2/p\text{-CdTe}$ неможливо пояснити експериментально спостережувану залежність ємності від частоти змінного сигналу в області зворотних зміщень (вираз 2). Найімовірніше припустити, що отримана залежність $C_M = f(\omega)$ пов'язана з наявністю поверхневих енергетичних станів на межі розділу високоомний прошарок – напівпровідник [6]. Їх густина, оцінена авторами роботи [7] для поверхонь CdTe , отриманих методом сколювання на повітрі, дорівнювала $6.2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{eV}^{-1}$. Крім цього, необхідно враховувати поверхневі енергетичні стани, зумовлені дислокаціями неузгодженості, які виникають через розбіжності параметрів грашок компонент структури.

Зауважимо, що згідно з дослідженнями стану поверхні CdTe , проведеними авторами цитованої роботи [7], при зберіганні на повітрі на його поверхні утворюється окисна плівка телуру TeO_2 . Було встановлено також, що внаслідок дії кисню, підсиленої підігрівом, крім діоксиду телуру додатково можуть утворюватися такі сполуки, як CdTeO_3 та $\text{Cd}(\text{OH})_2$, які так само, як і TeO_2 , є ізоляторами. Вказані процеси і будуть приводити до формування високоомного прошарку на поверхні підкладок CdTe при їх нагріванні до температури 400°C при виготовленні структур. Утворення тонких високоомних плівок TeO_2 на поверхні CdTe внаслідок взаємодії атомів телуру з киснем було встановлено також у роботі [8].

4. Висновки

Анізотипні гетеропереходи $n\text{-TiO}_2/p\text{-CdTe}$, отримані нанесенням тонкої плівки TiO_2 на монокристалічні пластини CdTe методом спреї-піролізу, характеризувалися високими значеннями контактної різниці потенціалів ($e\omega_k = 1.36 \text{ eV}$ при $T = 295 \text{ K}$) та діодного коефіцієнта випрямлення ($6.3 \cdot 10^3$ при напрузі $V = 2\text{В}$).

Установлено, що отримані гетеропереходи можна розглядати як структури з високоомним прошарком на поверхні базового матеріалу та наявністю поверхневих енергетичних станів на межі їх розділу.

Література

1. Fahrenbruch, A.L. Fundamentals of solar cells. Photovoltaic solar energy conversion [Текст] / A.L.Fahrenbruch, R.H.Bube. – Academic Press, New York, 1983 – 280p.
2. Diebold, U. The surface science of titanium dioxide [Текст] / U. Diebold // Surface Science Reports. – 2003. – V.43. – P. 53-229.
3. Ernst, K. Contacts to a solar cell with extremely thin CdTe absorber [Текст] / K. Ernst, R. Engelhardt, K. Ellmer, C. Kelch, H.-J. Muffler, M.-Ch. Lux-Steiner // Thin Solid Films. – 2001. – V.387 (26Ž). – P.26 -28.
4. Brus, V.V. Electrical and photoelectrical properties of photosensitive heterojunctions $n\text{-TiO}_2/p\text{-CdTe}$ [Текст] / V.V. Brus, M.I. Ilaschuk, Z.D. Kovalyuk, P.D. Maryanchuk, K.S. Ulyanytsky // Semicond. Sci. Technol. – 2011. – V.26. –P.125006-125012.
5. Лебедев, А.А. Ёмкостные измерения в случае сильной зависимости последовательного сопротивления базы диода от приложенного напряжения [Текст] / А.А.Лебедев, А.А.Лебедев, Д.В.Давыдов // ФТП.–2000.–№1(34).–С.113-116.
6. Зи, С.М. Физика полупроводниковых приборов [Текст] / С.М. Зи – М.:Энергия, 1973. – 655с.
7. Ponpon, J. P. A review of ohmic and rectifying contacts on cadmium telluride [Текст] / J. P. Ponpon // Solid State Elektron. –1985. –№.7(28) – P.689 -706.
8. Заверюхин, Б.Н. Пленочные детекторы ядерных излучений из теллурида кадмия [Текст] / Б.Н.Заверюхин, Н.Н.Мирсагатов, Н.Н.Заверюхина, В.В.Володарский, Е. Б. Заверюхина // Письма в ЖТФ. – 2003. –№.29(29). – С.80-87.

Abstract

The analysis of electrical properties of anisotype heterojunctions $\text{TiO}_2/p\text{-CdTe}$, prepared by TiO_2 thin film deposition onto freshly cleaved CdTe single crystal substrates using the spray pyrolysis technique, was carried out. The determined height of the potential barrier of the heterojunction under investigation $e\phi_k$ are equal to 1.36 and 2.94 eV at $T=295$ K and $T=0$ K. Since the electrical junction is formed in CdTe ($E_g=1,5$ eV), the obtained values of $e\phi_k$ were explained by the formation of a thin high-resistance layer on the semiconductor's surface as well as by the presence of surface states at the heterojunction interface. The established features of the C-V characteristics well correlate with the mentioned assumptions

Keywords: CdTe , TiO_2 , heterostructures, spray-pyrolysis method

Представлені спектри ЯКР ^{115}In в кристалах InSe вирошених з розплаву, записані неперервним методом для чотирьох резонансних переходів ^{115}In зі спіном $9/2$. Виявлена мультиплетність спектрів ЯКР з лініями, які відповідають забороненим переходам. Вважається, що така аномалія викликана наявністю гексадекапольної взаємодії ядер ^{115}In з градієнтом електричного поля в InSe

Ключові слова: мультиплетність спектрів, структурні дефекти, політипи, ЯКР, гексадекапольні взаємодії

Представлены спектры ЯКР ^{115}In в кристаллах InSe выращенных с расплава, записанные непрерывным методом для четырех резонансных переходов ^{115}In со спином $9/2$. Обнаружена мультиплетность спектров ЯКР с линиями, которые отвечают запрещенным переходам. Считается, что такая аномалия вызвана наличием гексадекапольного взаимодействия ядер ^{115}In с градиентом электрического поля в InSe

Ключевые слова: мультиплетность спектров, структурные дефекты, политипы, ЯКР, гексадекапольное взаимодействие

УДК 539.1

ПРО ІСНУВАННЯ ГЕКСАДЕКАПОЛЬНОЇ ВЗАЄМОДІЇ В СПЕКТРАХ ЯКР ^{115}In В InSe

Г.І. Ластівка

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: (03722) 4-24-36

E-mail: lasgal@ukr.net

О.Г. Хандожко

Доктор фізико-математичних наук, професор*

Контактний тел.: (03722) 4-24-36

E-mail: khand@chv.ukrpack.net

*Кафедра радіотехніки та інформаційної безпеки

Чернівецький національний університет

ім. Ю. Федьковича

вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, Україна, 58012

1. Вступ

За результатами досліджень усіх фундаментальних електростатичних взаємодій звичайних речовин встановлено, що ядерний гексадекапольний зв'язок є найбільш невизначеним. Починаючи з перших спостережень за взаємодією ядра з його оточенням через електричний момент, багато експериментів було проведено для дослідження, як статичних, так і часових залежностей цього явища.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Припущення про існування ядерної гексадекапольної взаємодії було висунуто дослідниками ще до відкриття ядерного квадрупольного резонансу, проте експериментальне дослідження цього явища проводилися значно пізніше і продовжуються до теперішнього

часу, і, на жаль, немає однозначності в отриманих результатах.

Ще в 1948 р. Паунд [1] продемонстрував часову залежність квадрупольної взаємодії, яка відповідала за релаксацію ядер Br^{79} і Br^{81} у розчинах. Автор спостерігав статичний ефект по розщепленню ліній ядерного резонансу в кристалі з симетрією нижче за кубічну. Група дослідників у 1956 р. спостерігала зовнішню індуквані квадрупольні переходи Cl^{35} , які відбувалися між виродженими квадрупольними рівнями в NaClO_3 .

Особливої уваги заслуговує робота Ванга [2], який вперше експериментально виявив зміну в квадрупольних спектрах Sb^{121} і Sb^{123} , що відбулася за рахунок статичної ядерно-електричної гексадекапольної взаємодії.

Махлер і Джеймс [3] в 1966 р. спостерігали ядерно-електричні гексадекапольні переходи між магнітно-розщепленими рівнями ^{115}In в InAs , а також авторами