

УДК 621.315.592

В цій роботі запропоновано метод визначення послідовного опору структур з потенціальним бар'єром із вольт – фарадних характеристик отриманих при різних частотах змінного сигналу

Ключові слова: послідовний опір, структура, ZnO, селенід індію

В этой работе предложен метод определения последовательного сопротивления структур с потенциальным барьером из вольт – фарадных характеристик, полученных при разных частотах переменного сигнала

Ключевые слова: последовательное сопротивление, структура, ZnO, селенид индия

The method for determination of the serial resistance of structures with a potential barrier from volt – capacitance characteristics obtained at different frequencies of the AC signal was proposed in this work

Key words: serial resistance, structure, ZnO, indium selenide

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПОСЛІДОВНОГО ОПОРУ СТРУКТУР З ПОТЕНЦІАЛЬНИМ БАР'ЄРОМ ІЗ ВОЛЬТ-ФАРАДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В. В. Брус

аспірант*

Контактний тел.: (0372) 55-12-32

e-mail: victorbrus@mail.ru

З. Д. Ковалюк

доктор фізико-математических наук, професор

*Чернівецьке відділення Інституту проблем матеріалознавства ім.

І. М. Францевича НАН України

вул. Ірини Вільде, 5, м. Чернівці, Україна, 58000.

Контактний тел.: (0372) 52-51-55

e-mail: chimsp@ukrpost.ua

П. Д. Мар'янчук

доктор фізико-математических наук, професор

завідувач кафедри електроніки і енергетики

Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича

вул. Коцюбинско 2, Чернівці, Україна, 58012.

Контактний тел.: (03722) 4-68-77

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

1. Вступ

Послідовний опір напівпровідникових структур складається з опору електричних контактів і опору базових областей, що не приймають участь в електричних процесах, але забезпечують необхідну механічну міцність. В більшості випадків послідовний опір є небажаним, але він є невід'ємною частиною будь – якого напівпровідникового приладу. Для правильного інтерпретування отриманих результатів при вимірюванні вольт – амперних та вольт – фарадних характеристик необхідно враховувати вплив послідовного опору. З вольт – амперної характеристики послідовний опір можна визначити по нахилу прямолінійної ділянки при прямому зміщенні. В свою чергу визначення величини послідовного опору з вольт – фарадної характеристики ускладнюється. В даній роботі запропоновано метод аналізу вольт – фарадних характеристик для визначення величини послідовного опору напівпровідникових структур. Також проведено

порівняння результатів отриманих при застосуванні запропонованого методу з результатами незалежних вимірювань.

2. Експериментальна частина

Монокристали InSe з електронним типом провідності вирощені методом Бріджмена. Підкладки селеніду індію з дзеркальною поверхнею отримувалися шляхом сколювання шаруватих монокристалів InSe без подальшої механічної обробки та хімічного травлення.

Напилення плівок ZnO проводилося методом пульверизації з наступним піролізом. Розчин для розпилення - 0,1M Zn(CH₃COO)₂·2H₂O (ацетату цинку) у дистильованій воді. В якості газу носія використовувалося стиснуте повітря під тиском 1,5 бар. Швидкість розпилення розчину становила 5 мл/хв. Кінчик пульверизатора знаходився на відстані 25 см

від підготовлених підкладок селеніду індію нагрітих до температури 400 °С. Температура поверхні підкладок визначалася за допомогою лазерного пірометра ... Для забезпечення стабільної температури підкладок був підібраний циклічний режим наплення: 5 с – розплення , 20 с – перерва для відновлення температури підкладок.

Товщина отриманих плівок оксиду цинку 0,5 мкм визначалася з використанням інтерферометра МІІІ – 4 за стандартною методикою.

Вимірювання вольт – фарадних та вольт – амперних характеристик проводилося на вимірювальному комплексі SOLARTRON SI 1286, SI 1255.

3. Отримані результати та їх обговорення

В роботі [1] розглянуто вплив послідовного опору напівпровідникової структури на її вольт – фарадні характеристики. Залежність вимірної ємності електричного переходу від послідовного опору у випадку однорідного розподілу домішки описується виразом (1):

$$C_M^{-2} = C_{b_0}^{-2} \frac{U_D - U}{U_D} + 2r^2\omega^2 \quad (1)$$

де C_M – виміряна ємність, C_{b_0} – ємність бар'єру при нульовому зміщенні, U_D – висота потенціального бар'єру, U – напруга зміщення, послідовний опір структури, ω – циклічна частота вимірювального сигналу.

Проведемо наступні перетворення з виразом (1):

$$\begin{aligned} C_M^{-2} &= C_{b_0}^{-2} \frac{U_D - U}{U_D} + 2r^2\omega^2 = \\ &= C_{b_0}^{-2} \left(1 - \frac{U}{U_D} \right) + 2r^2\omega^2 = \\ &= (C_{b_0}^{-2} + 2r^2\omega^2) - \frac{U}{U_D C_{b_0}^2} = b - aU \end{aligned} \quad (2)$$

де $b = C_{b_0}^{-2} + 2r^2\omega^2$, $a = \frac{1}{U_D C_{b_0}^2}$.

Похідна $\frac{dC_M^{-2}}{dU}$ визначає $\text{tg}\alpha$, де α – кут нахилу прямих залежності $C_M^{-2}(U)$ на рис. 1.

$$\frac{\Delta C_M^{-2}}{\Delta U} = \text{tg}\alpha = -a = -\frac{1}{U_D C_{b_0}^2} \quad (3)$$

З формули (1) випливає, що напруга відсічки $U_{\text{від}}$ залежності $C_M^{-2}(U)$, тобто напруга U , при якій $C_M^{-2}=0$, залежить від висоти потенціального бар'єру U_D , послідовного опору r та частоти ω [1]:

$$U_{\text{від}} = U_D + 2r^2 C_{b_0}^2 U_D \omega^2 \quad (4)$$

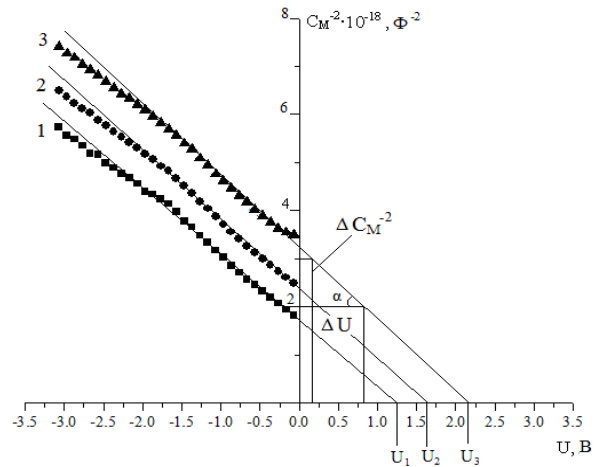


Рис. 1. ВФХ ізотипної гетероструктури n-InSe/n-ZnO виміряні при різних частотах вимірювального сигналу: 1 – 10 кГц, 2 – 20 кГц, 3 – 30 кГц. U_1 -3 – напруги відсічки.

Вираз (4) можна переписати:

$$U_{\text{від}} = b + a\omega^2 \quad (5)$$

де, $b = U_D$, а $a = 2r^2 C_{b_0}^2 U_D$

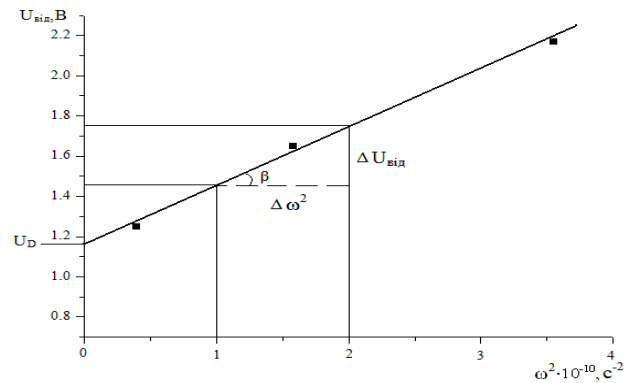


Рис. 2. Залежність $U_{\text{від}}(\omega^2)$ для ізотипної гетероструктури n-InSe/n-ZnO

Візьмемо похідну $\frac{\Delta U_{\text{від}}}{\Delta \omega^2}$ та знаходимо $\text{tg}\beta$, де β –

кут нахилу прямої залежності $U_{\text{від}}(\omega^2)$ представленої на рис. 2.

$$\frac{\Delta U_{\text{від}}}{\Delta \omega^2} = \text{tg}\beta = a = 2r^2 C_{b_0}^2 U_D \quad (6)$$

Визначимо $C_{b_0}^2$ з виразу (3)

$$C_{b_0}^2 = -\frac{1}{U_D \text{tga}} \quad (7)$$

та підставимо у вираз (6):

$$\text{tg}\beta = -\frac{2r^2 U_D}{U_D \text{tga}} \quad (8)$$

Звідки отримуємо:

$$2r^2 = -\text{tg}\alpha \cdot \text{tg}\beta \quad (9)$$

$$r = \sqrt{-\frac{1}{2} \text{tg}\alpha \cdot \text{tg}\beta} = \sqrt{-\frac{1}{2} \frac{\Delta C_M^{-2} \Delta U_{\text{вн}}}{\Delta U \Delta \omega^2}} \quad (10)$$

Проведемо аналіз розмінностей:

$$[r] = \left(\frac{\Phi^{-2} B}{B c^{-2}} \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{c}{\Phi} = \frac{c \cdot B}{K_L} = \frac{c \cdot B}{A \cdot c} = [\text{Om}]$$

Підставляючи у вираз (10) значення приведені на рис. 1 та рис. 2 отримаємо величину послідовного опору ізотипної гетероструктури n-InSe/n-ZnO.

$$r = \sqrt{\frac{1 (-10^{18}) 0.3}{2 0.672 10^{10}}} = 4.72 \cdot 10^3 = 4.72 \text{ kOm}$$

Для перевірки запропонованого методу визначення послідовного опору напівпровідникової структури з потенціальним бар'єром, були проведені додаткові вимірювання для незалежного визначення послідовного опору.

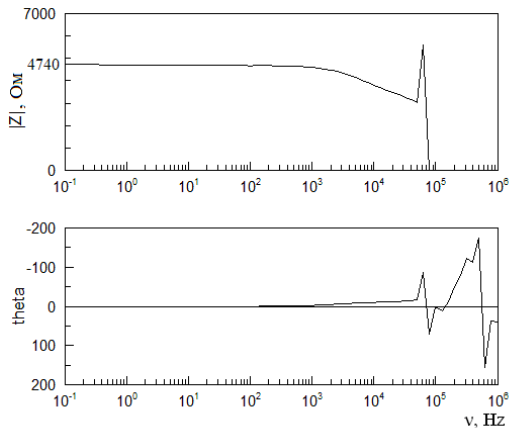


Рис. 3 Залежність імпедансу гетероструктури n-InSe/n-ZnO та кута зсуву фаз θ від частоти вимірювального сигналу.

Проведено дослідження частотної залежності імпедансу гетероструктури n-InSe/n-ZnO при прямому зміщенні в 1 В. Пряме зміщення прикладалося для відкриття гетеропереходу та усунення області просторового заряду. Як видно з рис. 3, в частотному діапазоні

від 10^2 до 10^{-1} Гц значення модуля імпедансу виходить на насичення, а кут зсуву фаз між напругою та струмом через досліджувану структуру рівний нулю. Це свідчить про те, що внаслідок прикладання прямого зміщення можна знехтувати областю просторового заряду і вважати, що струм протікає лише через активний опір [2]. Тому модуль імпедансу структури в даному випадку рівний значенню послідовного опору і складає 4,74 кОм, що добре узгоджується з результатами отриманими при застосуванні запропонованого вище методу.

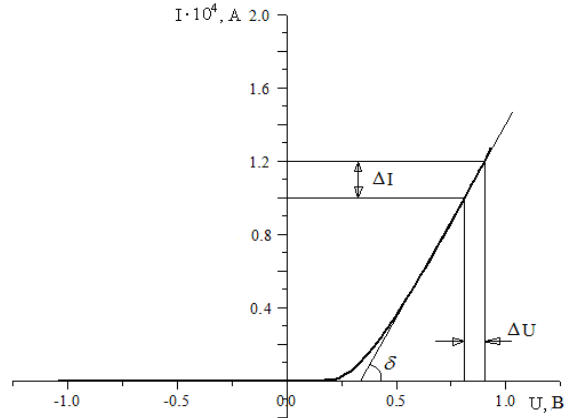


Рис. 4. Вольт – амперна характеристика гетеропереходу n-InSe/n-ZnO

На рис. 4 зображено вольт – амперну характеристику гетеропереходу n-InSe/n-ZnO. З прямої гілки ВАХ в області лінійної залежності $I(U)$ за нахилом прямої можна оцінити величину послідовного опору.

В даному випадку для величини послідовного опору можна записати:

$$r = \text{ctg}\delta = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{9.5 \cdot 10^{-2} \text{ В}}{2 \cdot 10^{-5} \text{ А}} = 4,75 \text{ kOm} \quad (11),$$

що добре узгоджується з попередніми результатами.

Варто зазначити, що при застосуванні запропонованого методу визначення послідовного опору напівпровідникової структури до даних приведених в роботі [1] також спостерігається співпадання значень послідовного опору у межах похибки експерименту.

4. Висновки

Виготовлено ізотипну гетероструктуру n-InSe/n-ZnO шляхом нанесення тонкої плівки ZnO методом пульверизації з наступним піролізом на нагріту підкладку монокристалічного InSe n – типу провідності. Запропоновано метод визначення послідовного опору напівпровідникових структур з вольт – фарадних характеристик. Проведене порівняння значення послідовного опору гетероструктури n-InSe/n-ZnO отриманого при застосуванні запропонованого методу з значеннями, що отримані з частотної залежності імпедансу та вольт – амперної характеристики

досліджуваної гетероструктури. Спостерігається хороше узгодження отриманих результатів в межах відносної похибки 0,6%.

Література

1. Гольдберг Ю.А. К вопросу об определении контактной разности потенциалов структуры с потенциальным барьером / Ю.А. Гольдберг, О.В. Иванова, Т.В. Львова, Б.В. Царенков // ФТП. — 1984. —Т. 18.— С. 1472–1476.
2. Barsoukov E. Impedance Spectroscopy Theory, Experiment and Application / E. Barsoukov, J. R. Macdonald, New Jersey: Wiley-Interscience, 2005. — 595 p.

Представлено результати науково-дослідних робіт з реалізації низькоенергоємної технології виробництва ніздрюватих бетонів, що твердіють у нормальних умовах

Ключові слова: ніздрюватий бетон, зола, доменний гранульований шлак

Представлены результаты научно-исследовательских работ по реализации низкоэнергоемкой технологии производства ячеистых бетонов естественного твердения

Ключевые слова: ячеистый бетон, зола, доменный гранулированный шлак

The results of scientific research in realization of energy-intensity cellular concrete production technology of normal condition hardening are shown

Keywords: cellular concrete, ash, granulated blast furnace slag

УДК 666.973.6

ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ КОМПОЗИЦІЙ НА ОСНОВІ НЕОРГАНІЧНИХ В'ЯЖУЧИХ

Т.С. Дашкова

Асистент*

Контактний телефон: (044) 454-91-62

e-mail: xtkm@user.ntu-kpi.kiev.ua

В.В. Глуховський

кандидат технічних наук, доцент*

Контактний телефон: (044) 454-91-62

e-mail: info@technologies.kiev.ua

І.В. Глуховський

кандидат технічних наук, доцент*

Контактний телефон: (044) 454-91-62

e-mail: info@technologies.kiev.ua

В.А. Свідерський

доктор технічних наук, професор.

Кафедра хімічної технології композиційних матеріалів
Національний технічний університет України „Київський
політехнічний інститут”

пр. Перемоги 37, м. Київ, Україна, 03057.

Контактний телефон: (044) 406-86-05

e-mail: xtkm@user.ntu-kpi.kiev.ua

Енергоємність галузі будівельних матеріалів є визначальним показником ефективності готового продукту та обумовлює її кінцеву собівартість. Цей показник включає, як енергетичні витрати технології виробництва, так і енергоємність сировинних компонентів. Енергетичні витрати технологічного процесу істотно залежать від наявності в процесі виробництва таких технологічних операцій як сушка або теплового обробка виробів. Енергоємність виробництв, які в якості в'язучого використовують портландцемент, визначається енергоємністю цього продукту.

За даними Української асоціації „Укрцемент”, середні по галузі витрати палива та електричної енергії на виробництво портландцементу складають: паливо - 123,5 кг ум. пал. на тонну клінкеру (при сухому

способі) та 226,2 кг ум. пал. (при мокрому способі); електроенергія – 121,6 кВт-год на тонну цементу (при сухому способі) та 105,9 кВт-год (при мокрому способі). У відповідності до вказаних показників загальна енергоємність виробництва портландцементу по галузі складає при сухому способі – 4900 МДж/т. цементу, при мокрому способі – 8200 МДж/т. цементу.

Високі енергетичні витрати цементного виробництва обумовлюють сучасні тенденції, що направлені на зниження клінкерної складової цементів, які відображені в національних нормативних документах та дозволяють вводити до складу цементів до 80 мас. % техногенних відходів інших виробництв. Але підприємствам виробникам портландцементу не завж-