

УДК 539.21:537.1

Я.М. Поляк, О.Б. Кондрат, М.І. Довгошей
**Електрофізичні характеристики структур Si(p)-плівка
Ge₃₃As₁₂Se₅₅ з різними інжектуючими контактами**

Ужгородський національний університет, 88000, м. Ужгород, вул. Підгірна, 46

З метою з'ясування впливу типу контактів на механізми переносу носіїв заряду в структурі Ni-Si(p)-Ge₃₃As₁₂Se₅₅-М (де М: Sb, Bi, Cd) досліджено їх вольт-амперні (ВАХ) і вольт-фарадні характеристики (ВФХ) та проведено розрахунок основних електрофізичних параметрів. Розрахунковим шляхом показано, що збіднена область поширена на всю товщину кремнію. З'ясовано, що вплив матеріалу електродів на основні електрофізичні властивості пов'язаний з просторовим перерозподілом заряду, що супроводжується порушенням термодинамічно рівноважного розподілу і утворенням областей, збіднених чи збагачених вільними носіями. Встановлено, що ВАХ гетероструктур добре описуються в рамках теорії електрообмеженого ефекту Шоттки з висотою бар'єру для Bi: $\Phi_{Bi}=4,27$ еВ; для Sb: $\Phi_{Sb}=4,08$ еВ; для Cd: $\Phi_{Cd}=3,92$ еВ. Максимум ВФХ гетероструктур спостерігається в області додатних напруг (0,1-0,6 В), що пояснюється вирішальною роллю ємностей поверхневих бар'єрів. Визначені внутрішні різниці потенціалів структури з контактом з Bi, які, відповідно, рівні $V_{D1}=0,3$ еВ і $V_{D2}=0,06$ еВ, а величина розриву валентної зони складає $\Delta E_v=0,94$ еВ.

Ключові слова: гетероструктура, поверхневий бар'єр, внутрішня різниця потенціалів, розрив валентної зони.

Стаття поступила до редакції 21.06.2001; прийнята до друку 17.10.2001

I. Вступ

Контактні явища на межі поділу металевих електродів з напівпровідниками можуть помітно вплинути на стабільність електричних властивостей ізотопних гетероструктур, так як зарядові стани можуть характеризуватися великими значеннями часів релаксації. Вплив контактів на явища переносу для р-р переходів мало досліджено, але проблема створення омичних контактів для них більш складна, ніж для n-n переходів [1]. Тому представляє інтерес провести дослідження впливу матеріалу електродів на вольт-амперні і вольт-фарадні характеристики гетероструктур з р-р переходами, що дозволяє встановити механізм переносу

носіїв заряду і оцінити характеристичні параметри. В даній роботі проведені дослідження ВАХ і ВФХ гетероструктур Si(p)-Ge₃₃As₁₂Se₅₅ з омичним контактом із Ni з боку кремнію і з інжектуючими контактами з Sb, Bi, Cd з боку плівки відповідно.

II. Методика одержання гетероструктур

На кремнієві підкладки р-типу електролітичним способом створювались омичні контакти з Ni. Методом дискретного термічного випаровування у вакуумі 10^{-4} Па на підкладку напилювалась плівка

Ge₃₃As₁₂Se₅₅ товщиною 1 мкм. Цим же методом через маску з круглими отворами діаметром (1±0,1) мм наносились інжектуючі контакти з Sb, Bi, Cd, відповідно.

III. Експериментальні результати та їх обговорення

В даній роботі проведені дослідження ВАХ і ВФХ гетероструктур Si(p)-Ge₃₃As₁₂Se₅₅ з омичним контактом із Ni з боку кремнію і з інжектуючими контактами з Sb, Bi, Cd з боку плівки відповідно. На

рис. 1 наведені залежності величини струму від напруги для зразків Ni-Si(p) і Sb-Ge₃₃As₁₂Se₅₅. При малих напруженостях електричного поля (E) ВАХ для даних структур лінійні. Відхилення від лінійної залежності спостерігаються для структури Ni-Si(p) при E>10 В/см.

У момент ввімкнення поле розподіляється у відповідності з геометричними ємностями шарів і розрахунок напруженості в p-Si і Ge₃₃As₁₂Se₅₅ може бути проведений за допомогою наступних виразів [2]:

$$E_1 = U \left[L_1 \left(1 + \frac{2\epsilon_1 L_2}{\epsilon_2 L_1} \right) \right]^{-1}, \quad (1)$$

$$E_2 = \left(\frac{U}{L_1} + \frac{eN_s}{\epsilon_0 \epsilon_1} \right) / \left(\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} + 2 \frac{L_2}{L_1} \right), \quad (2)$$

де U – напруга на структурі; L₁=2*10⁻² см - товщина Si; L₂=10⁻⁴ см – товщина Ge₃₃As₁₂Se₅₅; ε₁=12 [13] і ε₂=7,8 [28] – відповідно, відносні діелектричні проникності; eN_s=σ – поверхнева густина заряду; ε₀ – діелектрична постійна.

Якщо концентрація вільних носіїв в Si низька, то після повного перерозподілу рівноважних носіїв до границь між поверхневою густиною N_s, зовнішньою напругою U_i полем E₁ виконується співвідношення [2]:

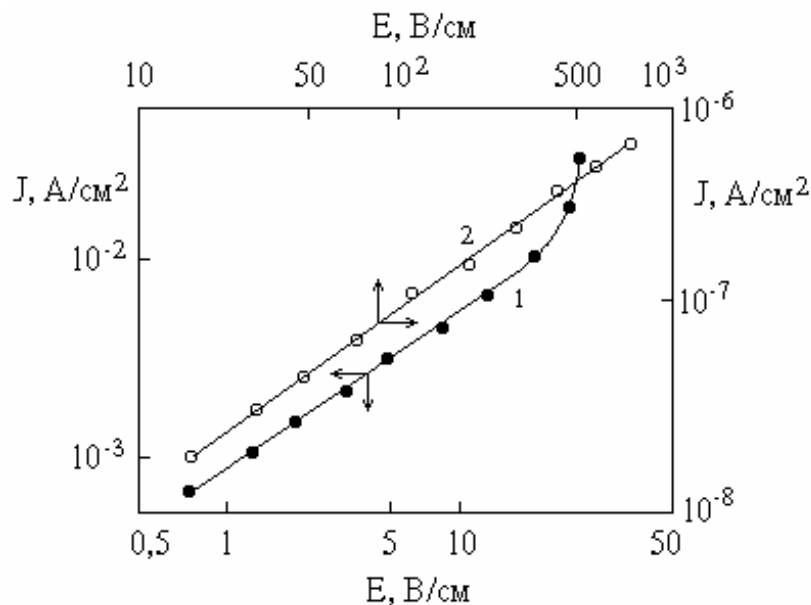


Рис. 1. Залежність густини струму J від напруженості електричного поля E для структури Ni-Si(p) (крива 1) і структури Sb-Ge₃₃As₁₂Se₅₅ (крива 2).

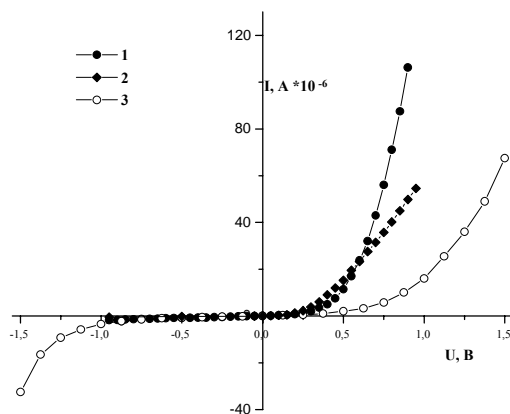


Рис. 2. Вольт-амперні характеристики гетероструктур Ni-p-Si(p)-Ge₃₃As₁₂Se₅₅-M, де Sb (крива 1); Ві (крива 2); Cd (крива 3).

$$N_s = \frac{\epsilon_0 \epsilon_2}{2eL_2} \left[U - E_1 L_1 \left(1 + \frac{2L_2 \epsilon_2}{L_1 \epsilon_1} \right) \right] \quad (3)$$

Розрахунки показали, що при $U=1$ В поверхнева густина дорівнює $3,5 \cdot 10^{12}$ см⁻², а поля $E_1=49$ В/см і $E_2=3 \cdot 10^5$ В/см.

Товщину збідненої області в Si(p) можна визначити з рівності [2]

$$L_0 = \frac{N_s}{n_0}, \quad (4)$$

де $n_0=5 \cdot 10^{13}$ см⁻³ – концентрація іонізованої домішки. Для нашого випадку $L_0=0,26$ мм, тому збіднена область в Si(p) повинна

розповсюджуватись на всю товщину напівпровідника.

На рис. 2 і рис. 3 зображені ВАХ гетероструктур Ni-Si(p)-Ge₃₃As₁₂Se₅₅-M (де M: Sb, Ві, Cd) в різних координатах.

Аналіз ВАХ показав, що проходження струму в даних гетероструктурах добре пояснюється на основі електрообмеженого ефекту Шоттки, для якого:

$$J = AT^2 \exp\left(-\frac{\Phi_0 - \beta\sqrt{E}/2}{kT}\right), \quad (5)$$

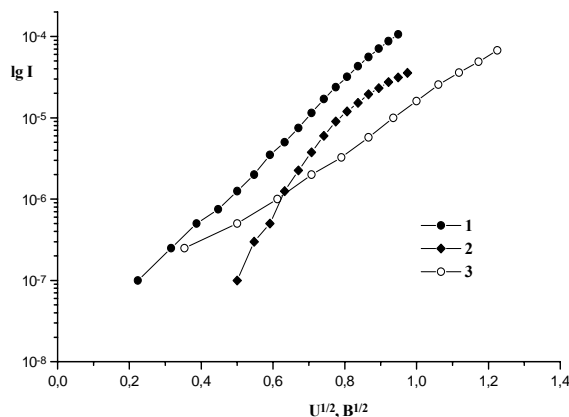


Рис. 3. Вольт-амперні характеристики, побудовані в координатах $\lg I-U^{1/2}$ для гетероструктур Ni-Si(p)-Ge₃₃As₁₂Se₅₅-M, де M: Sb (крива 1); Ві (крива 2); Cd (крива 3).

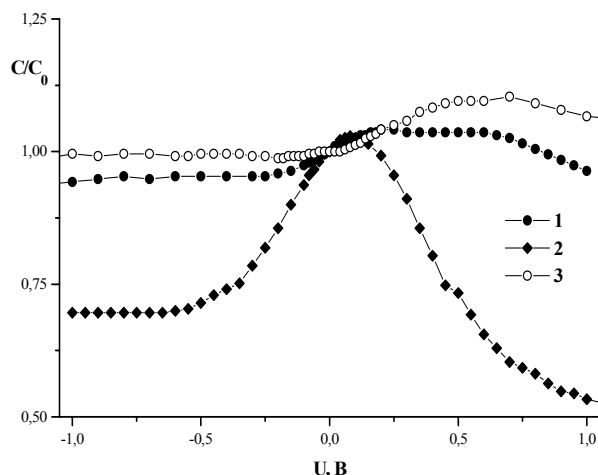


Рис. 4. Вольт-фарадні характеристики гетероструктур Ni-Si(p)-Ge₃₃As₁₂Se₅₅-M, де M: Sb (крива 1); Bi (крива 2); Cd (крива 3).

де Φ_6 – потенціальний бар’єр на границі метал-напівпровідник.

Екстраполюючи прямі до перетину з віссю $\lg I$ із співвідношення (5) знайдено відповідні висоти бар’єрів ($\Phi_{Bi}=4,27$ eV; $\Phi_{Sb}=4,08$ eV; $\Phi_{Cd}=3,92$ eV) [3].

Для гетероструктур з контактами із Sb спостерігаються гістерезисні ефекти, причому величина струму сильно залежить від швидкості зміни напруги. До гістерезисних ефектів може призвести захоплення зарядів на границі розділу. Крім того, при наявності в плівці заряджених частинок, пов’язаних з електродифузією, в струмі зміщення може з’явитися додаткова складова

На рис. 4 зображені ВФХ гетероструктур Ni-Ge₃₃As₁₂Se₅₅-M (де M: Sb, Bi, Cd). Ємність гетероструктури Si(p)-Ge₃₃As₁₂Se₅₅ можна розглядати як послідовне з’єднання ємностей двох ввімкнених на межі розділу поверхневих бар’єрів, причому один з них ввімкнений в прямому напрямі по відношенню до струму, а інший в зворотному. При прикладанні напруги змінюються висоти поверхневих бар’єрів: один збільшується, а інший – зменшується. Так як сумарна товщина збіднених

поверхневих шарів при цьому може зменшуватися, то буде спостерігатися зростання ємності структури з ростом напруги. Товщина приповерхневих збіднених шарів значно менша за товщину напівпровідника. Тому спостерігається відносно незначне зростання ємності [4]. Для випадку, коли товщина поверхневих бар’єрів за порядком величини співрозмірна з товщиною Si(p), може спостерігатися значна зміна ємності під дією постійної напруги. Несиметричність вольт-фарадних характеристик можна пояснити несиметричністю поверхневих бар’єрів Si(p)-Ge₃₃As₁₂Se₅₅ [5].

Шляхом екстраполяції прямолінійних ділянок ВФХ гетероструктури Ni-Si(p)-Ge₃₃As₁₂Se₅₅-Bi, побудованої в координатах $1/C^2-U$ (рис. 5), визначено величину внутрішньої різниці потенціалів для Si(p) – $V_{D2}=0,06$ eV і для Ge₃₃As₁₂Se₅₅ – $V_{D1}=0,3$ eV. Слід відмітити, що в додатній області напруг наявна і друга лінійна ділянка, яка дає значення $V_{D1}^*=1$ eV.

Використовуючи одержані значення V_{D1} і V_{D2} можна розрахувати величину розриву валентної зони [1]

$$\Delta E_v = e(V_{D1} + \delta_1 - V_{D2} - \delta_2), \quad (6)$$

де $\delta_1 = 0,9$ eV, $\delta_2 = 0,2$ eV – різниці енергій

між рівнем Фермі і валентною зоною. Для

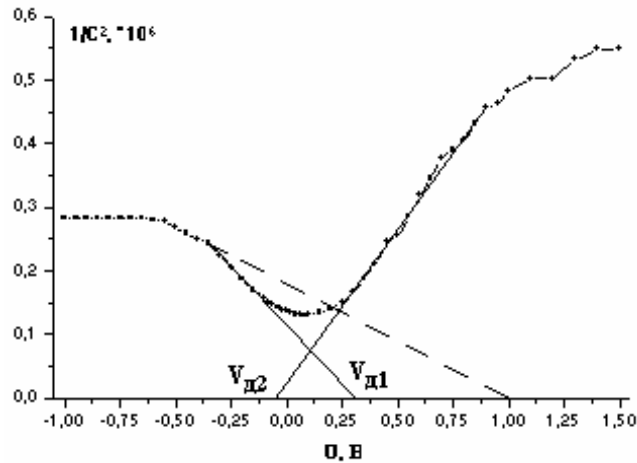


Рис. 5. Вольт-фарадна характеристика, побудована в координатах $1/C^2-U$ для гетероструктури Ni-Si(p)-Ge₃₃As₁₂Se₅₅-Bi.

нашого випадку $\Delta E_V=0,94$ eВ.

IV. Висновки

Встановлено, що перенос носіїв заряду в гетероструктурах Ni-Ge₃₃As₁₂Se₅₅-M (де M: Sb, Bi, Cd) добре описуються в рамках теорії електрообмеженого ефекту Шоттки. Показано, що вплив матеріалу електродів на основні електрофізичні властивості

пов'язаний з просторовим перерозподілом заряду, що супроводжується порушенням термодинамічно рівноважного розподілу і утворенням областей, збіднених чи збагачених вільними носіями. З'ясовано, що максимум ВФХ гетероструктур спостерігається в області додатних напруг, що пояснюється вирішальним вкладом ємностей поверхневих бар'єрів.

- [1] А. Милнс, Д. Фохт. *Гетеропереходи и переходы металл-полупроводник*. Мир, М., 205 с. (1975)
- [2] Н.Ф.Ковтонюк. *Электронные элементы на основе структур полупроводник-диэлектрик*. Энергия, М., 316 с. (1976).
- [3] Е. Родерик. Физика барьеров Шоттки // *Зарубежная электроника*, **5**, сс. 72-87 (1971).
- [4] К. Као, В. Хуанг. *Перенос электронов в твердых телах*. Мир, М., 250 с. (1984).
- [5] М.І. Довгошей, О.Б. Кондрат, М.Д. Савченко, Ю.Й. Сідок. Дослідження впливу матеріалу електродів на перенесення носіїв заряду в структурах Si - Ge₃₃As₁₂Se₅₅ // *Фізика і хімія твердого тіла*, **1**(1), сс.119-124 (2000).

Y.M. Polyak, O.B. Kondrat, M.I. Dovgoshey

**Electrophysical Characteristics Of Structures
Si(p)-film Ge₃₃As₁₂Se₅₅ with Differentinjective Contacts**

*Uzghorod National University,
Pidhirna St., 46, Uzghorod, 88000, Ukraine*

To establish of contacts influence on transfer charge mechanism in the structure Si(p)-Ge₃₃As₁₂Se₅₅, the current-voltage and capacitance-voltage characteristics were investigated. The influence of electrode material on electrophysical properties connects with special redistribution of charges and creation of poor-charged or rich-charged ranges. The current-voltage characteristics of structures Ni-Si(p)-Ge₃₃As₁₂Se₅₅-Me (where Me: Bi, Sb, Cd) correspond to electrolimited Schottky effect. The maximum of capacitance-voltage characteristics of these heterostructures were observed in positive voltage range and explained by decisive role of the surface barrier capacities.