

# Електрофізичні характеристики контактів Au-Ge-TiB<sub>2</sub>-Au до InP після проходження швидкої термічної обробки

Новицький С.В.

Україна, Київ, Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова НАН України

[serg\\_nov@ukr.net](mailto:serg_nov@ukr.net)

Фосфід індію є широкозонним напівпровідниковим матеріалом, який поєднує в собі важливі електричні та оптичні характеристики, такі як висока рухливість електронів, висока швидкість насичення та слабка іонізація, це дає змогу використовувати даний матеріал для довгохвильової оптичної комунікації та високопотужної мікрохвильової електроніки, зокрема InP на даний час виступає перспективним матеріалом для створення високоефективних діодів Ганна короткого міліметрового діапазону [1].

Невід'ємною частиною будь-якого напівпровідникового приладу є омичний контакт, який повинен мати малий, порівняно з активною частиною приладу, опір в широких температурних і часових інтервалах. Для підвищення термічної стійкості і надійності омичних контактів, в контактну структуру включають стабілізуючий шар – дифузійний бар'єр, в якості якого виступають тугоплавкі метали та їх сплави, вони протидіють процесам масопереносу, які стимульовані температурним впливом на напівпровідниковий прилад. Разом з тим для формування омичного контакту, технологи застосовують швидку термічну обробку (ШТО), під впливом якої відбуваються твердофазні реакції між компонентами контактної структури. Знаходження оптимальних режимів термообробки для формування контактів з мінімальним опором є актуальною задачею [2].

Досліджувана контактна структура була сформована на епітаксійній підкладці InP типу n-n<sup>+</sup>-n<sup>++</sup>, де n – активний шар товщиною 2 мкм з концентрацією носіїв  $9 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , n<sup>+</sup> – буферний шар і n<sup>++</sup> – підкладка товщиною 350 мкм з концентраціями носіїв більше  $2 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , яка була попередньо очищена фотонною обробкою. Компоненти структури наносили попарово методом магнетронного розпилення в атмосфері аргону в одному технологічному циклі. Товщини нанесених шарів для Au-Ge-TiB<sub>2</sub>-Au складали відповідно 1800 Å, 600 Å, 1000 Å та 2000 Å. На поверхні зразка методом фотолітографії формували TLM-структури з радіальною геометрією контактних площадок, відношення зовнішнього діаметру до внутрішнього є величина стала і рівна 2,5 (рис. 1). Зразок розділявся на 4 частини кожна з яких пройшла швидку термічну обробку при температурах 410, 435, 450 та 460 °C протягом 30 секунд в атмосфері водню. Питомий контактний опір вимірювався TLM методом в інтервалі температур 100 – 380 K.

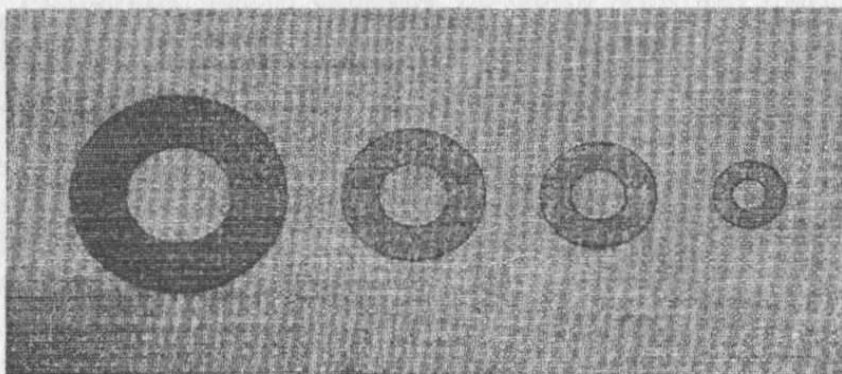


Рис. 1 Зовнішній вигляд контактної площадки з радіальною геометрією контактів, діаметри контактів 150, 100, 80 та 40 мкм відповідно.

При дослідженні залежності питомого контактного опору  $R_c$  від температури для даних структур було отримано нехарактерне зростання  $R_c$  майже на всьому температурному інтервалі. Подібні залежності були отримані в роботах [3–4], де вони пояснювалися струмопереносом по металічним шунтам, сформованими на дислокаціях в приконтактній області напівпровідника із обмеженням дифузійного підводу носіїв струму. Відповідно до запропонованої моделі, для невідродженого напівпровідника, питомий контактний опір породжений однією дислокацією, що проросла крізь область просторового заряду вглиб напівпровідника визначається з формули [3]:

$$R_{c0} = \frac{kT}{q} \left( 1 + \frac{0.6V_T}{4D_n} e^{y_{c0}} L_D \right) / \frac{qV_T}{4} n e^{y_{c0}} \quad (1)$$

де  $k$  – стала Больцмана,  $T$  – температура,  $q$  – заряд електрона,  $V_T$  – середня теплова швидкість електрона,  $D_n$  – коефіцієнт дифузії електрона,  $y_{c0} = q\phi_{c0}/kT$  – рівноважний безрозмірний потенціал в напівпровіднику в торці металічного шунта ( $\phi_{c0}$  – контактний потенціал),  $L_D$  – дебаєвська довжина екранування,  $n$  – концентрація донорів в напівпровіднику. До того ж якщо виконується умова  $V_T e^{y_{c0}} L_D / 4D_n \gg 1$  тоді термоелектронний струм обмежується дифузійним підводом і як наслідок зменшується з ростом температури. Загальний опір контакту в такому випадку буде визначатися відповідно до формули:

$$R_c = R_{diff} + R_{sh} = \frac{R_{c0}}{\pi L_D^2 N_D} + \frac{\rho_0 (1 + \alpha T) d_p}{\pi r^2 N_D}, \quad (2)$$

де  $R_{diff}$  – опір контакту відповідно до механізму дифузійного підводу носіїв струму,  $R_{sh}$  – опір металевих шунтів,  $N_D$  – густина дислокацій, що проросли крізь область просторового заряду вглиб напівпровідника,  $\rho_0$  – питомий опір металу при  $T=0$  °C,  $\alpha$  – температурний коефіцієнт металу,  $d_p$  – відстань яку проходять електрони по дислокації із об'єму напівпровідника до суцільного металічного контакту,  $r$  – радіус металічного шунта.

Відношення значень  $R_{c(експ)}$  отриманого з експерименту до значення  $R_{c(теор)}$ , яке було теоретично розраховане складає  $n=0,95-1,02$  це дає можливість говорити про високий ступінь узгодженості теорії та експерименту (рис. 2).

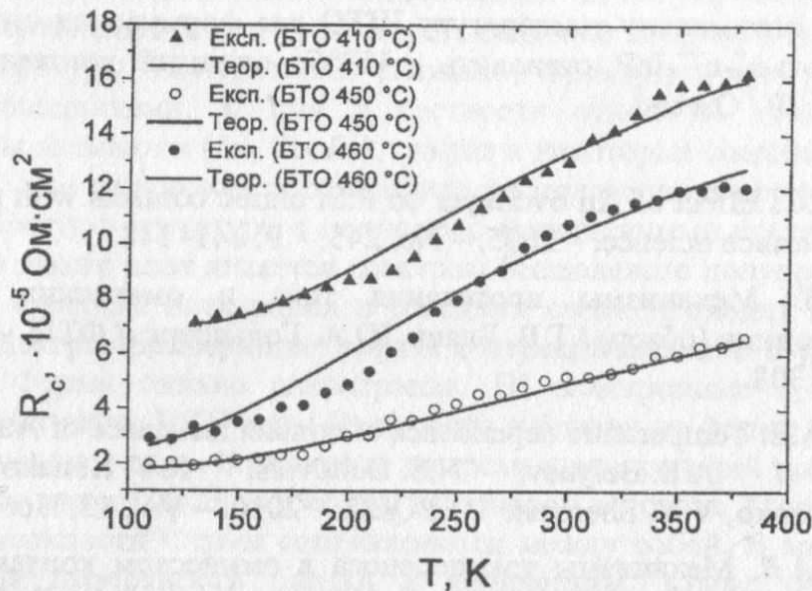


Рис. 2 Температурна залежність  $R_c$  омічних контактів  $Au-TiB_2-Ge-Au-n-p^+-n^{++}-InP$  після ШТО 410, 450 та 460 °C, 30с. Точки – експеримент, лінії – теоретичний розрахунок.

Залежність питомого контактного опору та теоретично обчисленої  $N_D$  від температури ШТО контактної структури  $Au-TiB_2-Ge-Au-n-p^+-n^{++}-InP$  показано на рисунку 3, як можна бачити  $R_c$  зменшується з ростом температури ШТО і досягає найменшого значення  $R_c=5,2 \cdot 10^{-5}$  Ом·см<sup>2</sup> при температурі відпалу 450 °C, густина дислокацій в такому випадку



зросла до значення  $1,3 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$ , яка при  $410^\circ\text{C}$  відпалу складала  $10^8 \text{ см}^{-2}$ . Відповідно формули (2) питомий контактний опір оберненопропорційний до густини провідних дислокацій, тому збільшення густини дислокацій веде до зменшення  $R_c$ . Подальше збільшення температури відпалу не призводить до зменшення питомого контактного опору, а навпаки призводить до його збільшення, що може бути пов'язано з процесами фазоутворення стимульованими ШТО, так як за теоретичними розрахунками в цьому випадку  $N_D$  змінюється дуже слабо і складає  $1,2 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$ . Відповідно для формування низькоомного контакту необхідно проводити відпал омичних контактів при температурі менше  $460^\circ\text{C}$ .

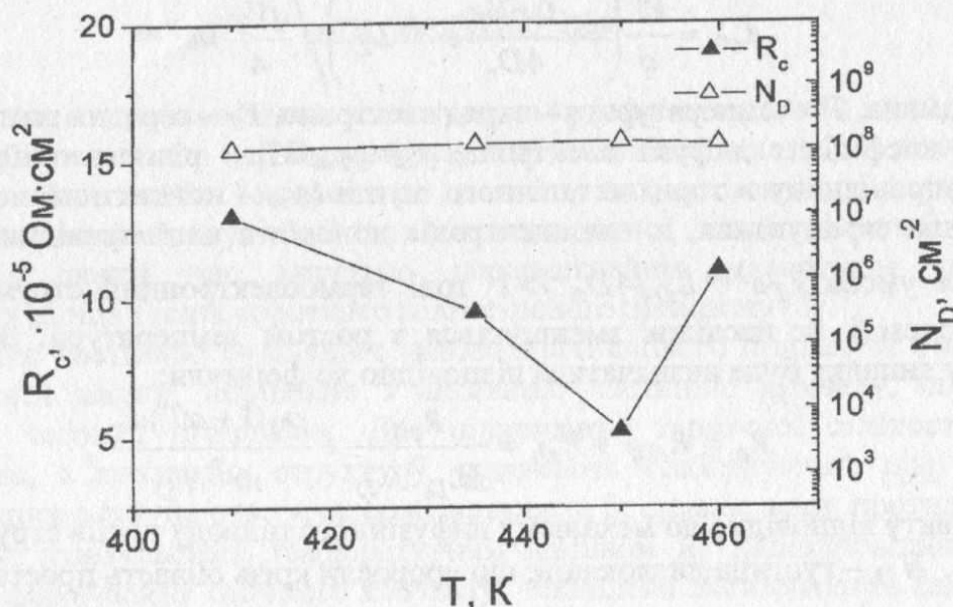


Рис. 3 Залежність питомого контактного опору при  $300 \text{ K}$  (ліва вісь) та густини дислокацій (права вісь) від температури ШТО для  $\text{Au-TiB}_2\text{-Ge-Au-n-n}^+\text{-n}^{++}\text{-InP}$ .

Представлена модель струмопереносу в омичних контактах з високою густиною дислокацій в приконтактній області напівпровідника відповідає експериментальним температурним залежностям контактного опору для омичних контактів  $\text{Au-Ge-TiB}_2\text{-Au}$  до  $\text{InP}$ . Також встановлено оптимальну температуру ШТО для формування омичного контакту, яка для  $\text{Au-TiB}_2\text{-Ge-Au-n-n}^+\text{-n}^{++}\text{-InP}$  становить  $450^\circ\text{C}$ , питомий контактний опір в такому випадку складає  $5,2 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ .

- [1] Huang W.C. Effect of Au overlayer on PtSi ohmic contacts with n-InP / W.C. Huang // Applied Surface Science. – 2005. – No. 245. – P. 141–148.
- [2] Бланк Т.В. Механизмы протекания тока в омических контактах металл-полупроводник (обзор) / Т.В. Бланк, Ю.А. Гольдберг // ФТП. – 2007. – Т. 41, №11. – С. 1281–1308.
- [3] Belyaev A.E. Temperature dependence of contact resistance of Au-Ti-Pd<sub>2</sub>Si-n<sup>+</sup>-Si ohmic contacts / A.E. Belyaev, N.S. Boltovets, R.V. Konakova, Ya.Ya. Kudryk, A.V. Sachenko, V.N. Sheremet // SPQEO. – 2010. – Vol. 13, No. 4. – P. 436–438.
- [4] Саченко А.В. Механизмы токопереноса в омическом контакте к GaN и другим соединениям A<sup>3</sup>B<sup>5</sup> с высокой плотностью дислокаций / А.В. Саченко, А.Е. Беляев, Н.С. Болтовец, Р.В. Конакова, Я.Я. Кудрик, С.В. Новицкий, В.Н. Шеремет // Нитрид галлия, индия и алюминия – структуры и приборы: VIII Всероссийская конференция, 26–28 мая 2011 г. Санкт-Петербург, Россия : материалы конф. – Санкт-Петербург. – С. 229–230.