

## Дослідження омичних контактів до n-InP

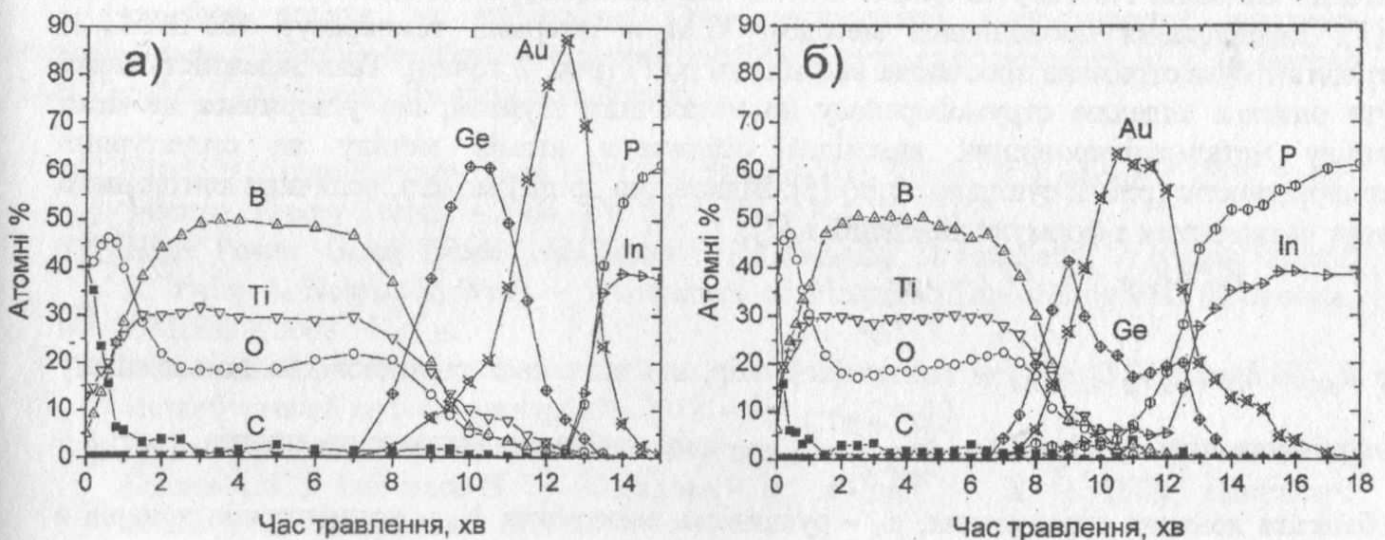
Новицький С.В.

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкаріова НАН України  
03028 просп. Науки, 41, Київ, Україна, e-mail: serg\_nov@ukr.net

В наш час фосфідіндієві діоди Ганна знайшли широке застосування для систем радіолокації, радіоспектроскопії, телекомунікацій, попередження автомобільних зіткнень і багатьох інших систем [1, 2]. Для стабільної роботи діода Ганна в екстремальних умовах, особливі вимоги висуваються не тільки до напівпровідникового матеріалу, а й до омичних контактів, за допомогою яких прилад включається в електричне коло. Для створення низькомних надійних омичних контактів використовують багатошарові контактні металізації. Кожен шар металізації виконує певну функцію, а саме: поліпшує адгезію в контактній структурі, легує приповерхневий шар напівпровідника чи забезпечує можливість припайки провідників [3].

Важливу роль в омичних контактах для діода Ганна, відіграє їх стійкість до  $\gamma$ - та НВЧ-опромінення, а також збереження малого значення питомого контактного опору при достатньо високих робочих температурах. При довгостроковій роботі приладу і підвищеній температурі між полікристалічними компонентами металізації спостерігається міжзеренна дифузія, що руйнує межу розділу метал-напівпровідник. Для обмеження дифузії та процесів масоперенесення в контактній металізації, використовують дифузійні бар'єри, в якості яких в технології омичних контактів використовують тугоплавкі метали та їх сплави [4]. Прикладом контактної схеми з дифузійним бар'єром може бути контактна структура Au/TiB<sub>2</sub>/Au/Ge/n-p<sup>+</sup>-p<sup>++</sup>-InP, дослідження якої власне ми і проводили. В ролі дифузійного бар'єру було використано TiB<sub>2</sub>.

Для визначення оптимальної температури формування омичного контакту було проведено серію швидких термічних обробок (ШТО) контактної структури в інтервалі температур 400-490°C. Встановлено, що із збільшенням температури відпалу відбувається масопереніс Ge у InP, при цьому дифузійний бар'єр TiB<sub>2</sub> залишається стабільним при всіх температурах відпалу (рис 1).



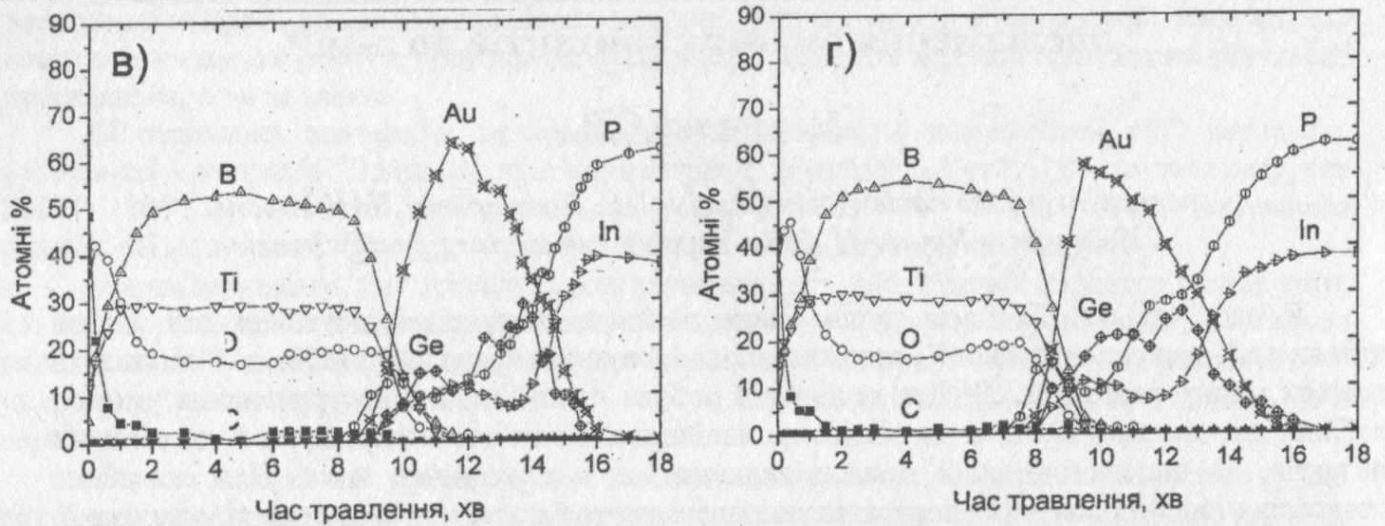


Рис 1. Розподілі компонентів контактної структури  $\text{TiB}_2/\text{Au}/\text{Ge}/\text{n-n}^+-\text{n}^{++}\text{-InP}$  у вихідному зразку (а) та у зразках, що пройшли швидку термічну обробку при температурах  $400^\circ\text{C}$  (б),  $450^\circ\text{C}$  (в) та  $490^\circ\text{C}$  (г).

Виміряні при кімнатній температурі значення контактного опору суттєво не змінювалося (табл. 1), це дозволяє говорити, що дифузійний бар'єр не несе значного впливу на величину  $\rho_c$  при цьому  $\text{TiB}_2$  виконує головну покладену на нього функції – протидія процесам масопереносу верхніх компонентів контактної металізації вглиб напівпровідника.

Таблиця 1

Значення  $\rho_c$  при 300К для вихідного зразка і зразків, що пройшли ШТО

Температура та час ШТО, $^\circ\text{C}/\text{сек}$	$\rho_c$ при 300К, $\text{Ом}\cdot\text{см}^2$
Вихідний	$12,9 \cdot 10^{-5}$
400/30	$9,5 \cdot 10^{-5}$
450/30	$5,19 \cdot 10^{-5}$
490/30	$10,7 \cdot 10^{-5}$

Нами також було проведено дослідження залежності питомого контактного опору омичних контактів  $\text{Au}/\text{TiB}_2/\text{Au}/\text{Ge}/\text{n-n}^+-\text{n}^{++}\text{-InP}$  від температури навколишнього середовища  $\rho_c(T)$ . Вимірювання проводилися методом TLM в інтервалі температур  $100\text{--}380\text{K}$ . В результаті була отримана зростаюча залежність  $\rho_c(T)$  (рис. 2 точки). Така залежність може бути описана моделлю струмопереносу по металічним шунтам, що утворилися на межі розділу метал-напівпровідник внаслідок осадження атомів металу на структурних неоднорідностях (рис. 2 суцільна лінія) [5]. Відповідно до цієї моделі, величина контактного опору визначається з формули наведеній в [5]:

$$R_{cs} = R_{diff} + R_{sh}(T), \quad (1)$$

де  $R_{diff} \sim L_D / (\mu_n N_d L_D^2 N_{D1})$  – контактний опір, що визначається відповідно до механізму дифузійного підводу,  $R_{sh}(T) = \frac{\rho_0(1+\alpha T)}{\pi r^2 N_{D1}} d_D$  – опір послідовно включених шунтів, тут  $L_D$  –

дебаївська довжина екранування,  $\mu_n$  – рухливість електронів,  $N_d$  – концентрація донорів в напівпровіднику,  $N_{D1}$  – густина провідних дислокацій (дислокації, що приймають участь у переносі струму),  $\rho_0$  – питомий опір металу при  $T=0^\circ\text{C}$ ,  $\alpha$  – температурний коефіцієнт електричного опору металу,  $\pi r^2$  – площа контакту.

Найкраще узгодження між експериментом та теорією було отримано при густині дислокацій, що проросли крізь область просторового заряду вглиб напівпровідника

$N_D=1,3 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$ . При цьому для зразка, що пройшов ШТО при температурі  $450^\circ\text{C}$ , значення питомого контактного опору було найменше серед всіх зразків  $\rho_c=5,2 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$

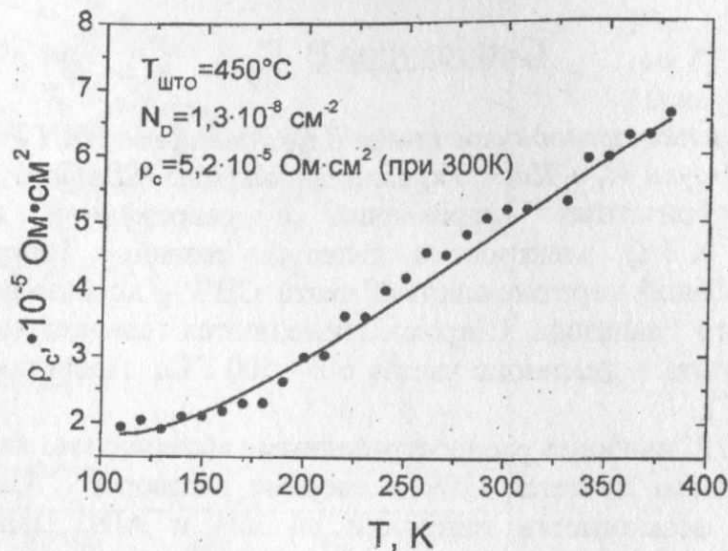


Рис. 2 Температурна залежність  $\rho_c$  омичного контакту Au-TiB<sub>2</sub>-Ge-Au-n-n<sup>+</sup>-n<sup>++</sup>-InP. Точки – експеримент; лінія – розрахунок.

Отже, основним механізмом деградації контактної металізації до фосфіду індія, сформованої полікристалічними плівками металів або сплавів, є масоперенесення компонентів металізації по межах (границях) зерен. Для підвищення термостійкості омичних контактів до фосфіду індія необхідно між контактоутворюючим матеріалом і верхнім шаром металізації створювати дифузійні бар'єри, що складаються з провідних плівок аморфних сплавів тугоплавких металів, не взаємодіючих з компонентами металізації і напівпровідника і які суттєво уповільнюють (або виключають) зернограничну дифузію.

Дослідження температурної залежності питомого контактного опору для омичних контактів AuGe-TiB<sub>2</sub>-Au до InP показали зростаючу залежність  $\rho_c(T)$ , що може бути пояснене моделлю струмопереносу в омичних контактах з високою густиною дислокацій в приконтактній області напівпровідника. Встановлена температура формування омичного контакту Au-TiB<sub>2</sub>-Ge-Au-n-n<sup>+</sup>-n<sup>++</sup>-InP ( $450^\circ\text{C}$ ), при якій питомий контактний опір найменший ( $\rho_c=5,2 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ ).

Особлива подяка, за проведення Оже-спектроскопії досліджуваних структур, висловлюється старшому науковому співробітнику Інституту електрозварки ім. Є.О. Патона НАН України Капітанчуку Леоніду Мусійовичу.

- [1] Eisele H. Submillimeter-Wave InP Gunn Devices / H. Eisele, R. Kamoua // IEEE Trans. Microw. Theory Techn.. – 2004. – V. 52, № 10. – P. 2371–2378.
- [2] High Power Gunn Diode Oscillators / [M. Gaskill, D. Headland, J. Higginbotham., R. Irwin, A. Nelms, R. Wan]. – Department of Electrical Engineering and Electronics, UMIST. – 2003. – 95 p.
- [3] Новицкий С.В. Омические контакты к фосфиду индия / С.В. Новицкий // Петербургский журнал электрон. – 2012. – №1. – С.24–40.
- [4] Фазы внедрения в технологии полупроводниковых приборов / [Агеев О. А., Беляев А. Е., Болтовец Н. С., Конакова Р. В. и др.]. – Х. : НТК «Институт монокристаллов», 2008. – 385 с.
- [5] Sachenko A.V. Mechanism of contact resistance formation in ohmic contacts with high dislocation density / A.V. Sachenko, A.E. Belyaev, N.S. Boltovets, R.V. Konakova, Ya.Ya. Kudryk, S.V. Novitskii, V.N. Sheremet, J. Li, S.A. Vitusevich // J. Appl. Phys.. – 2012. – № 111 – P. 083701.