

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ В КОНТАКТІ МЕТАЛ-InP

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 низькомічних надійних омичних контактів використовують багатшарові контактні металізації. Кожен шар металізації виконує певну функцію, а саме: поліпшує адгезію в контактній структурі, легує приповерхневий шар напівпровідника чи забезпечує можливість припайки провідників.

Важливу роль в омичних контактах для діода Ганна, відіграє їх стійкість до γ - 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.

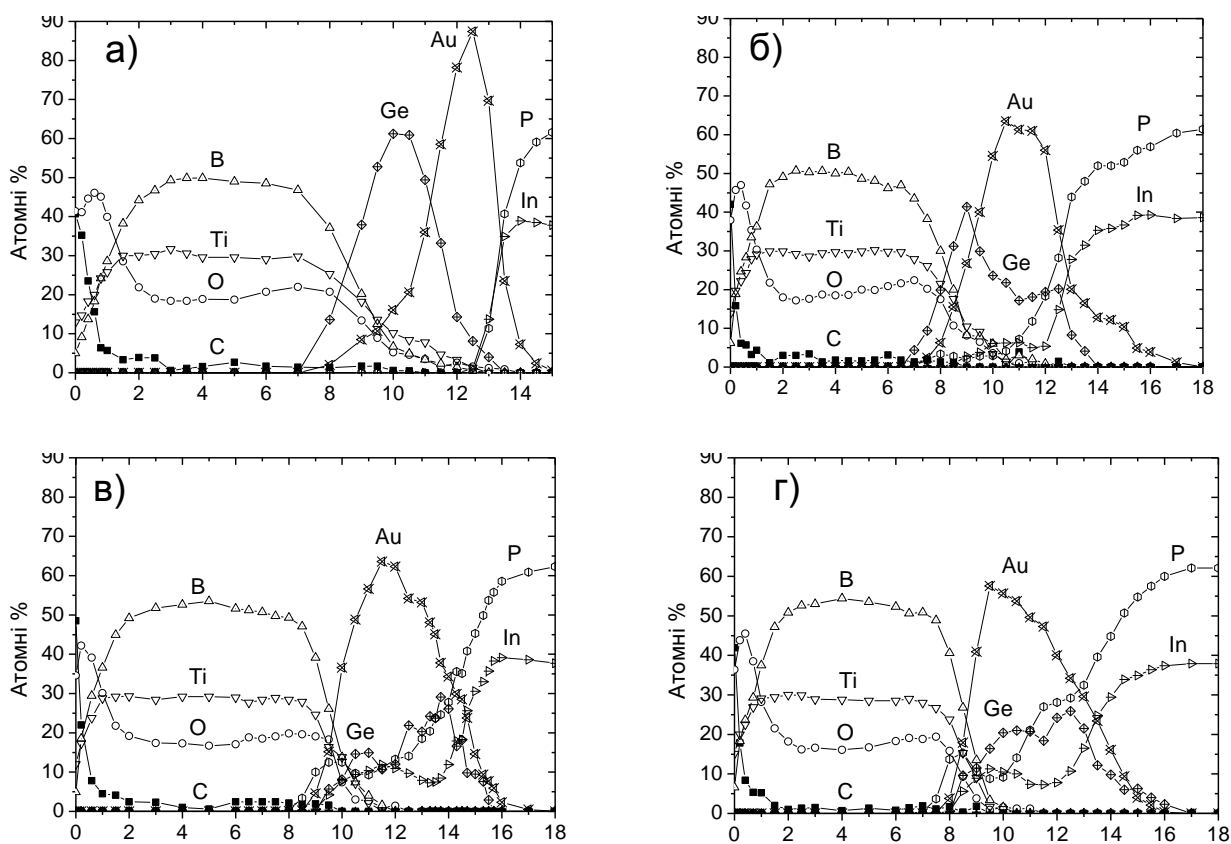


Рис 1. Розподіл компонентів контактної структури $TiB_2/Au/Ge/n-n^+-n^+-InP$ у вихідному зразку (а) та у зразках, що пройшли швидку термічну обробку при температурах $400^\circ C$ (б), $450^\circ C$ (в) та $490^\circ C$ (г).

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. Прикладом контактної схеми з дифузійним бар'єром може бути контактна структура $Au/TiB_2/Au/Ge/n-n^+-n^+-InP$, дослідження якої власне ми і проводили. В ролі дифузійного бар'єру було використано TiB_2 .

Для визначення оптимальної температури формування омичного контакту було проведено серію швидких термічних обробок (ШТО) контактної структури в інтервалі температур $400-490^\circ C$. Встановлено, що із збільшенням температури відпалу відбувається масопереніс Ge у InP, при цьому дифузійний бар'єр TiB_2 залишається стабільним при всіх температурах відпалу (рис 1).

Виміряні при кімнатній температурі значення контактного опору суттєво не змінювалося, це дозволяє говорити, що дифузійний бар'єр не несе значного впливу на величину ρ_c , при цьому TiB_2

виконує головну покладену на нього функції – протидія процесам масопереносу верхніх компонентів контактної металізації вглиб напівпровідника.

Нами також було проведено дослідження залежності питомого контактного опору омичних контактів $\text{Au/TiB}_2/\text{Au/Ge/n-n}^+-\text{n}^{++}-\text{InP}$ від температури навколишнього середовища $\rho_c(T)$. Вимірювання проводилися методом TLM в інтервалі температур 100–380К. 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). Відповідно до цієї моделі, величина контактної опору визначається з формули наведеній в (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.):

$R_{cs} = R_{diff} + R_{sh}(T)$, 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, μ_n – рухливість електронів, N_d – концентрація донорів в напівпровіднику, N_{D1} – густина провідних дислокацій (дислокації, що приймають участь у переносі струму), ρ_0 – питомий опір металу при $T=0^\circ\text{C}$, α – температурний коефіцієнт електричного опору металу, πr^2 – площа контакту.

Найкраще узгодження між експериментом та теорією було отримано при густині дислокацій, що

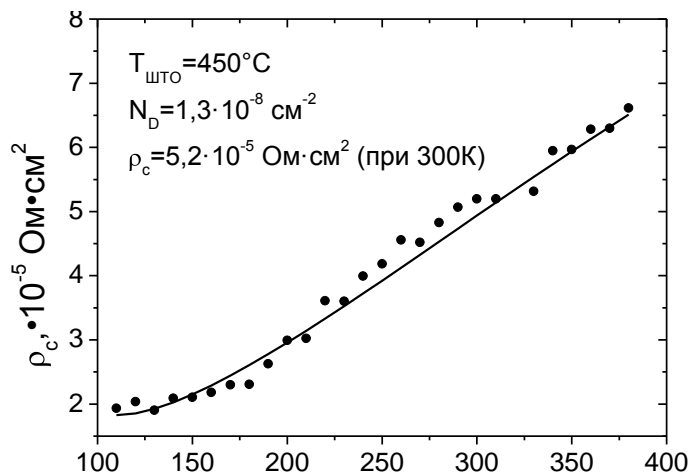


Рис. 2 Температурна залежність ρ_c омичного контакту $\text{Au-TiB}_2\text{-Ge-Au-n-n}^+-\text{n}^{++}-\text{InP}$. Точки – експеримент; лінія – розрахунок.

тугоплавких металів, не взаємодіючих з компонентами металізації і напівпровідника і які суттєво уповільнюють (або виключають) зернограничну дифузію.

Дослідження температурної залежності питомого контактної опору для омичних контактів $\text{AuGe-TiB}_2\text{-Au}$ 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 $\text{Au-TiB}_2\text{-Ge-Au-n-n}^+-\text{n}^{++}-\text{InP}$ (450°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.

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°C , значення питомого контактної опору було найменше серед всіх зразків $\rho_c=5,2 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$

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