

ІНЖЕКТУЮЧІ БАР'ЄРНІ ПЕРЕХОДИ НА ОСНОВІ АРСЕНІДУ ГАЛІЮ ДЛЯ ПРИЛАДІВ НВЧ ДІАПАЗОНУ

Дослідження і розробка інжектуючих бар'єрних переходів у даний час ведуться у напрямках пошуку нових композицій метал-напівпровідник, котрі забезпечують необхідну стабільність та відтворюваність параметрів приладів та підбору технологічних режимів створення проміжних фаз на межі метал-напівпровідник, що знижують вплив поверхневих станів напівпровідника на роботу приладів з бар'єрами Шотткі. Відсутні відомості про послідовність структурних перетворень на межі контакту метал-напівпровідник і їх рушійні механізми. Ці обставини не можна не враховувати, особливо, при створенні приладів з бар'єром Шотткі для міліметрового діапазону довжин хвиль, коли товщини перехідних шарів можуть бути співмірні з товщиною робочих областей. Одним з найбільш ефективних засобів управління структурою межі розділу контактів є відпал, механізм якого до теперішнього часу ще до кінця не вивчений. Розроблено режим термообробки у вакуумі не гірше $1,2 \cdot 10^{-6}$ Торр, який дозволяє збільшити висоту бар'єру Шотткі $\phi_{\text{Вн}}$ бар'єрних переходів Ag до n-n⁺GaAs(111) з $n_{\text{е.ш.}} = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ до 0,98 В при температурі підкладки під час наплення 393 К, температурі відпалу 803 К, часу відпалу 600 секунд, швидкості підйому температури відпалу та охолодження відповідно $V_{\text{нагр}} = 4,72 \text{ К/с.}$; $V_{\text{охол}} = 4,72 \text{ К/с.}$

Ключові слова: *Інжектуючий бар'єрний перехід, арсенід галію, срібло, термічне випаровування, відпал, висота бар'єру.*

Дослідження і розробка інжектуючих бар'єрних переходів у даний час ведуться у напрямках [1-4] пошуку нових композицій метал-напівпровідник, що забезпечують необхідну стабільність та відтворюваність параметрів приладів та підбору технологічних режимів створення проміжних фаз на межі метал-напівпровідник, котрі знижують вплив поверхневих станів напівпровідника на роботу приладів з бар'єрами Шотткі. У більшості робіт [3-5], що виконані у цих напрямках, головною метою є дослідження електрофізичних властивостей контактів (наприклад, висоти потенційного бар'єру), вивчення питань їх формування. Аналіз проблеми формування межі розділу структур метал-GaAs [6,7] дозволяє стверджувати, що в даний час відсутня єдина класифікація, яка дозволяє прогнозувати характер взаємодії металів і сплавів на їх основі з поверхнею GaAs. Навіть при кімнатних температурах мають місце міжфазні реакції і дифузія, інтенсивність яких залежить від умов осадження металу та його кількості і зростає при підвищенні температури. Відсутні відомості про послідовність структурних перетворень на межі контакту метал-напівпровідник та їх рушійних механізмів. Ці обставини не можна не враховувати, особливо, при створенні приладів з бар'єром Шотткі для міліметрового діапазону довжин хвиль, коли товщини перехідних шарів можуть бути співмірні з товщиною робочих областей.

На величину потенційного бар'єру певний вплив має вибір контактної пари. В даний час для створення інжектуючого бар'єрного переходу метал-GaAs застосовуються [8-11] Au, Ag, Pt, Pd, Cu, Ag, Fe, Ni, Sn, Ti та інші. Найбільш придатні для використання в НВЧ діапазоні бар'єри переходу з Ag і Au, оскільки ці матеріали зручні для технологічної реалізації. У порівнянні зі сріблом золото має більш високу вартість. До того ж у Ag менший коефіцієнт дифузії в арсенід галію ніж у Au, що важливо для зменшення товщини перехідного шару, Ag добре змочує поверхню GaAs, що забезпечує механічну міцність контакту, полегшує технологію створення інжектуючих бар'єрних переходів. Срібло має гарну теплопровідність [6,7], отже, випрямляючий контакт матиме високий рівень потужності. Срібло утворює з GaAs сполуки (перехідний шар), які не змінюються в робочому діапазоні температур. Таким чином, за результатами попередніх досліджень [6,7] в якості бар'єрного матеріалу обрано срібло високої чистоти (99,999).

Одним з найбільш ефективних засобів управління структурою межі розділу контактів є відпал, механізм якого до теперішнього часу ще до кінця не вивчений [4,6,7,12]. У роботі було досліджено вплив різних режимів термообробки на властивості інжектуючого бар'єрного переходу Ag/n-n⁺-GaAs(111). Контакти створювали у вакуумі методом термічного випаровування при залишковому тиску не гірше 10^{-6} Торр. Критерієм оцінки якості інжектуючого бар'єрного переходу Ag/n-n⁺-GaAs(111) є його висота $\phi_{\text{Вн}}$, що визначалася за

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

методом вольт-амперної характеристики [13]. ВАХ контактів вимірювали чотирьохзондовим методом [14].

Для дослідження використовувався n-n⁺GaAs(111)В епітаксійний монокристалічний, $d_{e.ш.}=2$ мкм, $n_{e.ш.}=2 \cdot 10^{16}$ см⁻³, $n_{підкл.}=10^{18}$ см⁻³, $\mu > 5000$ см²/(В*с). Кристалографічна орієнтація [13] впливає на величину потенційного бар'єру, найбільш високий бар'єр виходить на поверхні, орієнтованій за площиною $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$, менший на поверхні (111), та ще менший - на поверхні (100). Різниця між $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ і (100) становить 0,1 еВ.

Досліджено вплив температури підкладки у діапазоні температур 343...543 К на висоту інжектуючого бар'єрного переходу Ag/n-n⁺-GaAs(111). Результати аналізу ВАХ виготовлених інжектуючих бар'єрних переходів Ag/n-n⁺-GaAs(111) та розрахованих значень висоти потенційного бар'єру $\phi_{Вп}$ показали, що найбільші значення $\phi_{Вп}$ отримані при нанесенні срібла на підкладку при температурі 393 К (рис. 1), незалежно від подальшої термообробки виготовленого контакту.

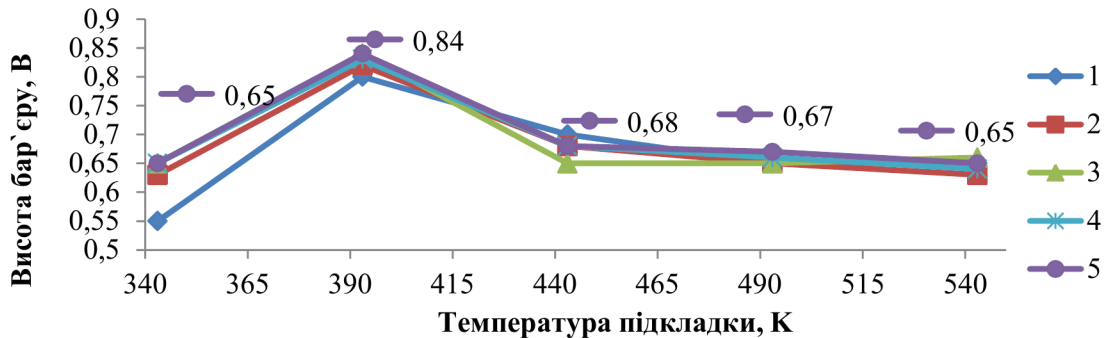


Рис. 1. Залежність висоти бар'єру Шотткі Ag/n-GaAs(111) від температури підкладки. Час відпалу: 600 с, 1...5 - № партії зразків

Досліджено вплив температури та часу відпалу на висоту інжектуючого бар'єрного переходу у діапазоні температур 703...853 К при часі відпалу 300...900 секунд. Найкращі значення висоти бар'єру $\phi_{Вп}=0,95..0,98$ В отримані при відпалі при 803 К впродовж 600 секунд (рис. 2). У результаті дослідження впливу на висоту інжектуючого бар'єрного переходу Ag/n-n⁺-GaAs(111) швидкості підйому температури відпалу $V_{нагр.}$ та швидкості охолодження напильної структури $V_{охол.}$ після відпалу до кімнатної температури дозволили рекомендувати $V_{нагр.}=4,72$ К/с та $V_{охол.}=4,72$ К/с.

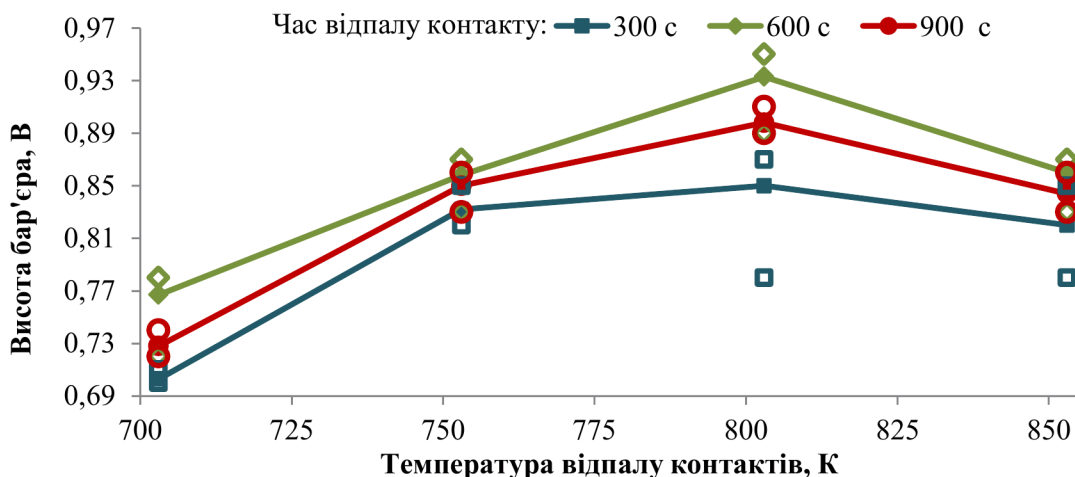


Рис. 2. Залежність висоти бар'єрного переходу Ag/n-GaAs(111) від температури відпалу

Висновки. Розроблено режим термообробки бар'єрних переходів Ag до n-n⁺GaAs(111) з $n_{e.ш.}=2 \cdot 10^{16}$ см⁻³ у вакуумі не гірше $1,2 \cdot 10^{-6}$ Торр, який дозволяє збільшити висоту бар'єру Шотткі $\phi_{Вп}$ до 0,98 В при температурі підкладки під час напильня 393 К, температурі відпалу 803 К, часу відпалу 600 секунд, швидкості підйому температури відпалу та охолодження відповідно $V_{нагр.}=4,72$ К/с.; $V_{охол.}=4,72$ К/с.

Інформаційні джерела

1. Зависимость проводимости от толщины активной области в тонкопленочных диодах Шоттки на GaAs [Электронный ресурс] / [С. А. Зуев, Г. В. Килесса, Э. Э. Асанов и др.]. // Физика и техника полупроводников. – 2016. – Т. 50, №6. – С. 825–829. – Режим доступа до ресурсу: <http://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/43212>
2. Влияние быстрого термического отжига на параметры арсенидгаллиевого низкобарьерного диода с приповерхностным δ -легированием [Электронный ресурс] / [А. В. Мурель, В. М. Данильцев, Е. В. Демидов и др.]. // Физика и техника полупроводников. – 2013. – Т. 47, №11. – С. 1481–1485. – Режим доступа до ресурсу: <http://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/5121>.
3. Швець Є. Я. Технологічні особливості виготовлення НВЧ датчика [Электронный ресурс] / Є. Я.Швець, В. С. Дмитрієв : зб. наук. пр. // Прогресивні технології та прилади. - Луцьк: ЛНТУ. - 2012. - Вип. 2. - С. 288-292. - Режим доступа до ресурсу: <http://www.ptp.pp.ua/uploads/vipuski/2.pdf>
4. Дмитрієв В. С. Технологические особенности изготовления усилителя бегущей волны / В. С. Дмитрієв, Є. Я. Швець // Сборник материалов 10-й международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ - 2014» / В. С. Дмитрієв, Є. Я. Швець. – Севастополь: СевНТУ, 2014. – С. 158.
5. Швець Є. Я. Исследование влияния поверхностных состояний на показатели качества и технологичности структур Me-GaAs / Е. Я. Швець, Л. Б. Дмитриева, В. С. Дмитриев // Металургія. – 2012. – Вип. 2(27). – С. 138-142. – (ISSN 2071-3789).
6. Швець Є. Я. Исследование влияния межфазной границы раздела на высоту барьера Шоттки / Е. Я. Швець, Л. Б. Дмитриева, В. С. Дмитриев // Металургія. – 2011. – Вип. 1(26). – С.126–130. – (ISSN 2071-3789).
7. Дмитриев В. С. Влияние межфазной границы раздела на параметры барьерных переходов металл-полупроводник [Электронный ресурс] / В. С. Дмитриев. // Журнал нано-та електронної фізики. – 2017. – №1. – С. 01016–1–01016–4. – Режим доступа до ресурсу: [http://dx.doi.org/10.21272/jnep.9\(1\).01016](http://dx.doi.org/10.21272/jnep.9(1).01016)
8. On the evaluation of Schottky barrier diode parameters of Pd, Au and Ag/n-GaAs [Электронный ресурс] / P.Jayavel, J. Kumar, P. Ramasam, R. Premanand. // Indian Journal of Engineering and Materials Sciences. – 2001. – Vol. 7, №5-6. – P. 340–343. – Режим доступа до ресурсу: <http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/24425/1/IJEMS%207%285-6%29%20340-343.pdf>.
9. Schottky barrier rectifier with high current density using vanadium as barrier metal [Электронный ресурс] / J. S.Kim, H. H. Choi, S. H. Son, S. Y. Choi. // Applied Physics Letters. – 2001. – Vol. 79, №6. – P. 860–862. – Режим доступа до ресурсу: <http://dx.doi.org/10.1063/1.1391402>
10. Kampen T. U. Barrier height engineering of Ag/GaAs(100) Schottky contacts by a thin organic interlayer [Электронный ресурс] / T. U. Kampen, S. Park, D. R. T. Zahn. // Applied Surface Science. – 2002. – №190. – P. 461–466. – Режим доступа до ресурсу: [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-4332\(01\)00919-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-4332(01)00919-9)
11. Pressure dependence of Cu, Ag, and Fe/n-GaAs Schottky barrier heights / [C. S. Gworek, P. Phatak, V. T. Jonker et al.]. // Physical Review B. – 2001. – Vol. 64, №4. – P. 3221–3226
12. Effects of the barrier metal thickness and hydrogen pre-annealing on the characteristic parameters of Au/n-GaAs metal–semiconductor Schottky contacts [Электронный ресурс] / Ö.Güllü, M. Biber, R. L. Van Meirhaeghe, A. Türüt. // Thin Solid Films. – 2008. – Vol. 516., №21. – P. 7851–7856. – Режим доступа до ресурсу: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2008.05.015>
13. Sze S. M. Physics of Semiconductor Devices, 3rd Edition / S. M. Sze, K. K. Ng. – Hoboken: A John Wiley & Sons, Inc., 2007. – 815 p.
14. Annual book of ASTM standards 2010 / – Baltimore: ASTM International, 2010. – Vol. 10.04

Дмитрієв В.С.

Запорожская государственная инженерная академия

ИНЖЕКТИРУЮЩИЕ БАРЬЕРНЫЕ ПЕРЕХОДЫ НА ОСНОВЕ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ ДЛЯ ПРИБОРОВ СВЧ ДИАПАЗОНА

Исследования и разработка инжектирующих барьерных переходов в настоящее время ведутся в направлениях поиска новых композиций металл-полупроводник, обеспечивающих необходимую стабильность и воспроизводимость параметров приборов и подбор технологических режимов создания промежуточных фаз на границе металл-полупроводник, снижающих влияние поверхностных состояний полупроводника на работу приборов с

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

барьерами Шоттки. Отсутствуют сведения о последовательности структурных преобразований на границе контакта металл-полупроводник и их движущих механизмах. Эти обстоятельства нельзя не учитывать, особенно при создании приборов с барьером Шоттки для миллиметрового диапазона длин волн, когда толщины переходных слоев могут быть соизмеримы с толщиной рабочих областей. Одним из наиболее эффективных способов управления структурой границы раздела контактов является отжиг, механизм которого до настоящего времени еще до конца не изучен. Разработан режим термообработки в вакууме не хуже $1,2 \cdot 10^{-6}$ Торр, который позволяет увеличить высоту барьера Шоттки ϕ_{Bn} барьерных переходов Ag к $n-n^+GaAs(111)$ с $n_{e,cl.} = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ до 0,98 В при температуре подложки во время напыления 393 К, температуре отжига 803 К, времени отжига 600 секунд, скорости подъема температуры отжига и охлаждения соответственно $V_{нагр} = 4,72 \text{ К/с}$ и $V_{охл} = 4,72 \text{ К/с}$.

Ключевые слова: Инжектирующий барьерный переход, арсенид галлия, серебро, термическое испарение, отжиг, высота барьера.

V. Dmitriev

Zaporizhia State Engineering Academy

THE GALLIUM ARSENIDE BASED INJECTING BARRIER TRANSITIONS FOR MICROWAVE RANGE DEVICES

The research and development of injection barrier transitions are currently conducted in searching for new metal-semiconductor compositions that provide the necessary stability and reproducibility of appliance parameters and the selection of technological regimes for creating intermediate phases at the metal-semiconductor interface that reduce the influence of the semiconductor's surface states on the Schottky barriers devices work. There is no information on the structural transformations sequence at the metal-semiconductor interface and their driving mechanisms. These circumstances can't be ignored, especially at creating devices with a Schottky barrier for the millimeter wavelength range, when the thicknesses of the transition layers can be commensurable with the thickness of the working areas. One of the most effective ways to control the structure contact interface is annealing, which mechanism has not yet been fully understood. The heat treatment regime in vacuum with meaning not worse than $1,2 \cdot 10^{-6}$ Torr, has been developed. This regime makes it possible to increase the Schottky barrier height ϕ_{Bn} of Ag to $n-n^+GaAs(111)$ barrier transitions with $n_{e,l.} = 2 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ to 0,98 V at a substrate temperature of 393 K during the deposition, an annealing temperature of 803 K, an annealing time of 600 seconds and an annealing temperature rise and cooling rate, respectively, $V_{rise} = 4,72 \text{ K/s}$ and $V_{cool.} = 4,72 \text{ K/s}$.

Key words: Injecting barrier transition, gallium arsenide, silver, thermal evaporation, annealing, barrier height.