

Дмитрієв В.С.

Запорізька державна інженерна академія

ОМІЧНІ КОНТАКТИ НА ОСНОВІ СРІБЛА ДЛЯ НВЧ ПРИЛАДІВ

Для створення омичних контактів використовують подвійні або більш складні сплави на основі срібла, золота, паладію, титану з домішкою алюмінію, індію та інші, які легко окислюються. Опір ерозії цієї групи сплавів базується на захисній дії оксидних плівок, що перешкоджають випаровуванню, але не перешкоджають контактній провідності. Сплави срібла подібного типу досить добре пручаються корозії, зберігаючи низький контактний опір. Срібло під дією електричних розрядів окислюється, але оксиди срібла електропровідні і легко дисоціюють, внаслідок чого окислення майже не позначається на стійкості контактного опору срібних контактів. Омичні переходи на основі потрійного сплаву Ag-Ge-In (75% Ag, 20% Ge, 5% In) до $n\text{-}n^+\text{GaAs}$ (111) з $n_{e.u.} = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ забезпечують достатньо низький контактний опір ($\rho_k = (5 \dots 7) \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$) при нанесенні контактного матеріалу на підігріту до температури 453 K підкладку та відпалі отриманої структури при 893 K упродовж 60 с у вакуумі при залишковому тиску не гірше $1,2 \cdot 10^{-6} \text{ Торр}$, швидкості підйому температури відпалу 7,2 K/c і швидкості охолодження контакту після відпалу 4,75 K/c.

Ключові слова: Омичні контакти, арсенід галію, срібло, термічне випаровування, відпал.

При виготовленні напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем на арсеніді галію однією з найважливіших технологічних операцій є формування омичних контактів (ОК) [1]. Зниження опору ОК дозволяє зменшити опір пасивних областей і таким чином домогтися зниження коефіцієнта шуму в МІС НВЧ підсилювачів, зниження прямих втрат у МІС НВЧ перемикачів і фазообертачів.

Параметри омичного неінжектуючого контакту метал-напівпровідник [2] (питомий перехідний опір ρ_k , лінійність ВАХ, коефіцієнт інжекції γ та механічна міцність) залежать від різних факторів. Основна увага в відомих роботах [3-6] про ОК приділяється вибору матеріалів, режимам підготовки поверхні та вакуумного напилення, дослідженню морфології поверхні, режимам термообробки напилених структур, дослідженню структури межі розділу метал-напівпровідник [7], яка формується при виготовленні контакту. Основні проблеми омичних контактів до GaAs [8-11]: відсутність рівномірного змочування металу, шорсткість поверхні, сегрегація металу у приконтактну область, наявність безлічі фаз метал-напівпровідник, ерозія поверхні контакту, недостатньо низький контактний опір, низька термостабільність електричних параметрів контактів, неконтрольоване протравлення межі розділу метал-напівпровідник при відпалі контакту.

Для створення омичних контактів використовують подвійні або більш складні сплави [3-6,9,10] на основі срібла, золота, паладію, титану з домішкою металів (кадмію, магнію, алюмінію, індію та ін.), які легко окислюються. Опір ерозії цієї групи сплавів базується на захисній дії оксидних плівок, що перешкоджають випаровуванню, але не перешкоджають контактній провідності. Сплави срібла подібного типу досить добре пручаються корозії, зберігаючи низький контактний опір [3]. Срібло під дією електричних розрядів окислюється, але оксиди срібла електропровідні і легко дисоціюють (температура дисоціації $\sim 573 \text{ K}$). Внаслідок цього окислення майже не позначається на стійкості контактного опору срібних контактів. Срібло володіє схильністю до утворення непровідних плівок сульфідів Ag_2S в результаті взаємодії з сірководнем, сліди якого завжди присутні в атмосфері. Наявність вологи прискорює перебіг реакції. Тому срібні контакти не рекомендується [3] застосовувати поруч з гумою, ебонітом й іншими матеріалами, що містять сірку. У [11-13] досліджено термічну стабільність тонких срібних плівок, оскільки при підвищенні температури може виникнути агломерація, що виявляється в зміні морфології та веде до зміни електричних характеристик плівок. В [8,11,13] було запропоновано для зменшення явища агломерації вводити легуючі компоненти, які перешкоджають зростанню зерен під час відпалу. При цьому важливе значення для Ag плівок мають не тільки ретельний підбір легуючих елементів, але і їх кількість. У порівнянні з Au Ag має більшу тепло- та електропровідність, менший питомий опір, відносно невеликий коефіцієнт дифузії в арсенід галію, що дозволяє зменшити товщину перехідного шару і характеризується суттєво меншою вартістю. Тому у технології GaAs НВЧ ІС перехід до металізації на основі срібла повинен підвищити технічні характеристики виробів та зменшити собівартість їх виробництва. Широке застосування срібла стримується його великим природним дефіцитом.

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Для створення омичного контакту до GaAs було обрано сплав срібло-германій-індій, що складається з 75% Ag, 20% Ge, 5% In, де Ag є основним матеріалом, Ge - легуюча добавка, In - покращує змочуваність (для GaAs - найкращу змочуваність In отримують при 773 К [10]). Легування металу, який вплавають, невеликою кількістю домішок, зменшує поверхневе натягнення металу. Для срібних сплавів такою домішкою є індій [10]. Сплав виготовлено у вакуумі у кварцовій ампулі з витримкою при 1273 К впродовж 1800 секунд. Контакти зі сплаву Ag-Ge-In стабільні до температури 873 К.

Одним з основних етапів виготовлення омичних контактів є температурна обробка, яка змінює концентрацію носіїв заряду у приповерхневому шарі напівпровідника, параметри проміжного шару і поверхневих електронних станів.

Досліджували омичні контакти, створені на епітаксійному монокристалічному n-n⁺GaAs (111)В, $d_{e.ш}=2$ мкм, $n_{e.ш}=2 \cdot 10^{16}$ см⁻³, $n_{підкл}=10^{18}$ см⁻³, $\mu > 5000$ см²/(В*с). Омичні контакти Ag-Ge-In/n-n⁺GaAs (111) виготовляли методом вакуумного випаровування при залишковому тиску $p=(1,8...2) \cdot 10^{-6}$ Торр. Товщина плівки контакту 0,5 мкм задавалась точною вагою навішування випаровуваного матеріалу. Пластили GaAs обробляли в суміші толуолу та метилового спирту (1:2), у сірчанокислому травнику H₂SO₄:H₂O₂:H₂O=3:1:1, витримували впродовж 1200 секунд у діоксидантарній кислоті HOOC-CH(OH)-CH(OH)-COOH, промивали у гарячій, холодній дистильованій та деіонізованій воді та у метиловому спирті. Далі зразки арсеніду галію додатково відпалювали у вакуумі не гірше, ніж $1,2 \cdot 10^{-6}$ Торр при температурі 873 К впродовж 60 секунд.

Опір омичних контактів достатньо сильно залежить від режиму відпалу контактів. Відомі [4-6,11-13] дані про оптимальні режими дуже суперечливі. У кожному окремому випадку опір контактів дуже критичний до режиму вплавлення. Процеси попереднього відпалу GaAs підкладки (після хімічної обробки), нанесення потрібного сплаву методом термічного випаровування та термообробка одержаної структури контакту проводилися у єдиному вакуумному циклі. Вольт-амперні характеристики контактів вимірювали чотирьохзондовим методом [14]. При розрахунку величини питомого перехідного опору використовувався метод еквівалентних схем [15].

Наведено результати дослідження впливу на питомий контактний опір контакту температури підкладки при термічному випаровуванні матеріалу контакту (рис. 1), температури та часу відпалу контактної структури (рис. 2). Встановлено (рис. 1), що найкращу адгезію контактного матеріалу до арсеніду галію одержано при температурі підкладки 453 К, $\rho_k=(4...7) \cdot 10^{-5}$ Ом*см². Доведено (рис. 2), що час та температура відпалу контактної структури істотно впливають на якість омичного контакту. Кращі результати $\rho_k=(5...7) \cdot 10^{-5}$ Ом*см² отримані при температурі відпалу 893 К та часі відпалу 60 с.

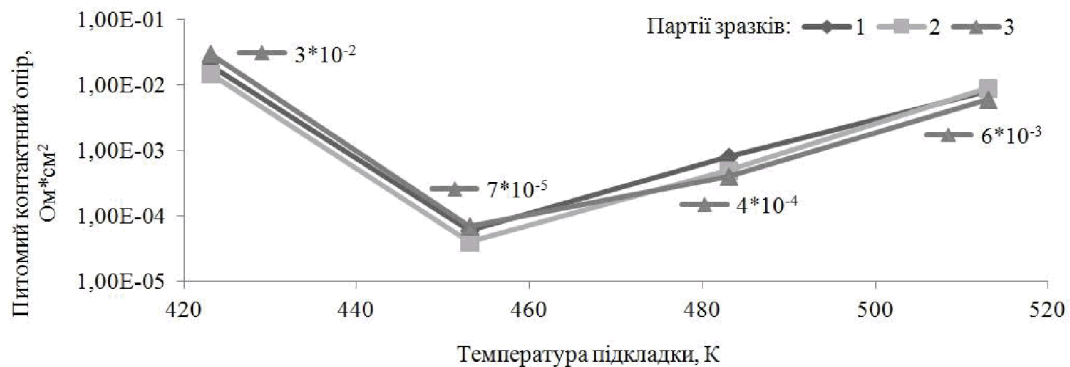


Рис. 1. Залежність питомого перехідного опору омичних контактів Ag-Ge-In/n-n⁺GaAs(111)В від температури підкладки при напilenні

Збільшення швидкості підйому температури відпалу від 5,55 К/с до 7,2 К/с призводить до незначного зниження величини питомого перехідного опору. Рекомендована швидкість підйому температури відпалу 7,2 К/с. Зміна швидкості охолодження контакту після відпалу в інтервалі (4,76...4,75) К/с практично не впливає на значення питомого перехідного опору. Рекомендована швидкість охолодження контакту після відпалу 4,75 К/с. Отримані контакти мають лінійну характеристику. Контакти зі сплаву Ag-Ge-In до арсеніду галію мають задовільну механічну міцність.

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

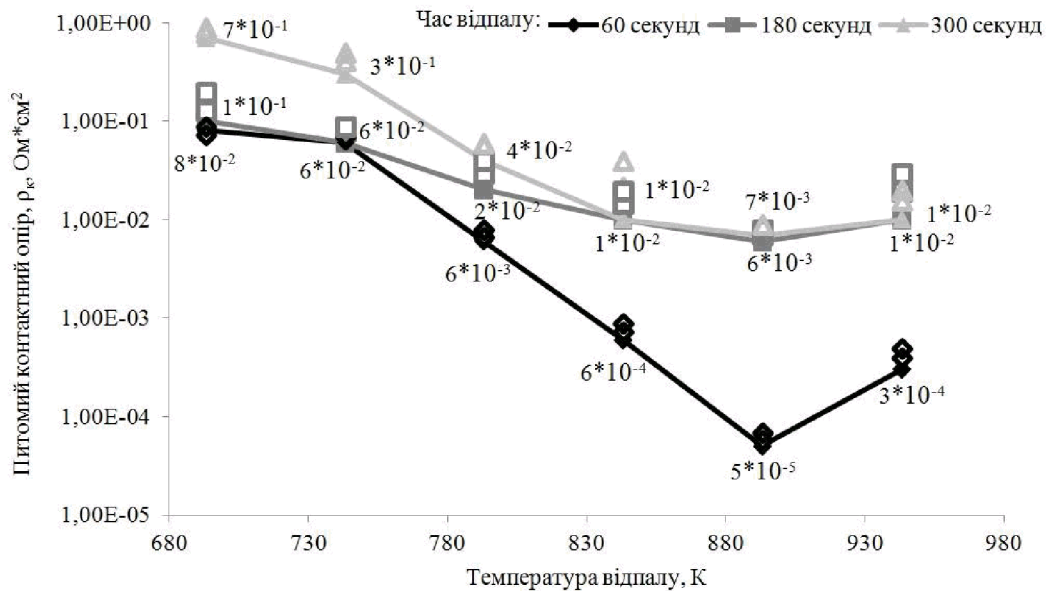


Рис. 2. Залежність питомого переходного опору омічних контактів ρ_k від температури та часу відпалу

Висновки. Омічні переходи на основі потрійного сплаву Ag-Ge-In (75% Ag, 20% Ge, 5% In) до n-n⁺GaAs (111) з $n_{с.ш.}=2 \cdot 10^{16}$ см⁻³ забезпечують достатньо низький контактний опір ($\rho_k=(5...7) \cdot 10^{-5}$ Ом*см²) при нанесенні матеріалу контакту на підігріту до температури 453 К підкладку і відпалі отриманої структури при 893 К упродовж 60 с у вакуумі при залишковому тиску не гірше $1,2 \cdot 10^{-6}$ Торр, швидкості підйому температури відпалу 7,2 К/с і швидкості охолодження контакту після відпалу 4,75 К/с.

Інформаційні джерела

1. Малошумящие арсенид-галлиевые усилители при воздействии электромагнитных помех повышенных интенсивностей [Електронний ресурс] / [С. В. Платонов, Н. В. Пермяков, Б. И. Селезнев и др.]. // Вестник Новгородского государственного университета. – 2012. – №67. – С. 29–32. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.novsu.ru/file/1010219>.
2. Sze S. M. Physics of Semiconductor Devices, 3rd Edition / S. M. Sze, K. K. Ng. – Hoboken: A John Wiley & Sons, Inc., 2007. – 815 p.
3. Huo P. Ti/Pd/Ag Contacts to n-Type GaAs for High Current Density Devices [Електронний ресурс] / P. Huo, I. Rey-Stolle. // Journal of Electronic Materials. – 2016. – Vol. 45, №6. – P. 2769–2775. – Режим доступа до ресурсу: <http://dx.doi.org/10.1007/s11664-016-4432-6>
4. Electrical and morphological change of Ag–Ni films by annealing in vacuum / M.Kawamura, M. Yamaguchi, Y. Abe, K. Sasaki. // Microelectronic Engineering. – 2005. – Vol. 82, №3-4. – P. 277–282.
5. Christou A. Solid phase formation in Au: Ge/Ni, Ag/In/Ge, In/Au: Ge GaAs ohmic contact systems / A. Christou. // Solid-State Electronics. – 1979. – Vol. 22, №2. – P. 141–149
6. Дмитриев В. С. Влияние межфазной границы раздела на параметры омического контакта / В. С. Дмитриев, Л. Б. Дмитриева // Материали за X международна научна практична конференция «Настоящи изследвания и развитие - 2014» / В. С. Дмитриев, Л. Б. Дмитриева. – София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2014. – Т. 28. – С. 79–82. – (ISBN 978-966-8736-05-6).
7. Швец Е. Я. Влияние режимов термообработки на структуру переходного слоя омических контактов [Електронний ресурс] / Е. Я. Швец, Л. Б. Дмитриева, В. С. Дмитриев. // Металургія. – 2011. – Вип. 2(25). – С. 120–124. – (ISSN 2071-3789). – Режим доступа до ресурсу: http://www.zgia.zp.ua/gazeta/METALURG_25_20.pdf
8. Thermal stability of Ag films in air prepared by thermal evaporation / [L. Jing, L. Fachun, L. Limei and other]. // Applied Surface Science. – 2007. – Vol. 253, №17. – P. 7036–7040.
9. Дмитриев В. С. Особенности формирования омических контактов на основе арсенида галлия [Електронний ресурс] / В. С. Дмитриев. // Технологический аудит и резервы производства. – 2012. – №3/1(5). – С. 35–36. – (ISSN 2226-3780). – Режим доступа до ресурсу: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4737/4388>
10. Дмитриев В. С. Технологические особенности изготовления омического контакта до GaAs / В. С. Дмитриев, Е. Я. Швец, Л. Б. Дмитриева. // Нові технології. – 2013. – №1-2(39-40). – С. 48–50.

– (ISSN 1810-3049)

11. Comparison of the agglomeration behavior of Ag(Al) films and Ag(Au) films / K.Sugawara, M. Kawamura, Y. Abe, K. Sasaki. // *Microelectronic Engineering*. – 2007. – Vol. 84, №11. – P. 2476–2480.
12. Вартамян Т. А. Отложенное действие освещения на релаксацию гранулированной серебряной пленки при термическом отжиге / Т. А. Вартамян, Н. Б. Леонов, С. Г. Пржибельский. // *Оптический журнал*. – 2013. – Т. 80, №2. – С. 24–28.
13. Kim H. C. Improvement of the thermal stability of silver metallization / H. C. Kim, T. L. Alford. // *Journal of Applied Physics*. – 2003. – Vol.94, № 8. – P. 5393–5395.
14. Annual Book of ASTM Standards 2010 (Ed. V.A. Mayer) (West Conshohocken: ASTM International: 2010)
15. Нисков В. Я. Сопротивление омических контактов к тонким слоям полупроводников / В. Я. Нисков, Г. А. Кубецкий. // *Физика и техника эксперимента*. – 1970. – Т. 4, №9. – С. 1806–1808.

Дмитриев В.С.

Запорожская государственная инженерная академия

ОМИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ НА ОСНОВЕ СЕРЕБРА ДЛЯ СВЧ ПРИБОРОВ

*Для создания омических контактов используют двойные или более сложные сплавы на основе серебра, золота, палладия, титана с примесями алюминия, индия и других, которые легко окисляются. Сопротивление эрозии этой группы сплавов основывается на защитном действии оксидных пленок, которые препятствуют испарению, но не препятствуют контактной проводимости. Сплавы серебра подобного типа достаточно хорошо противостоят коррозии, сберегая низкое контактное сопротивление. Серебро под действием электрических разрядов окисляется, но оксиды серебра электропроводны и легко диссоциируют, вследствие чего окисление почти не сказывается на стойкости контактного сопротивления серебряных контактов. Омические переходы на основе тройного сплава Ag-Ge-In (75% Ag, 20% Ge, 5% In) к $n-n^+GaAs$ (111) с $n_{э.кл.}=2*10^{16} \text{ см}^{-3}$ обеспечивают достаточно низкое контактное сопротивление ($\rho_k=(5...7)*10^{-5} \text{ Ом*см}^2$) при нанесении материала контакта на подогретую до температуры 453 К подложку и отжиге полученной структуры при 893 К в течение 60 с в вакууме при остаточном давлении не хуже $1,2*10^{-6}$ Торр, скорости подъема температуры отжига 7,2 К/с и скорости охлаждения контакта после отжига 4,75 К/с.*

Ключевые слова: Омические контакты, арсенид галлия, серебро, термическое испарение, отжиг.

V. Dmitriev

Zaporizhia State Engineering Academy

THE OHMIC SILVER BASED CONTACTS FOR MICROWAVE DEVICES

*To create ohmic contacts, based on double or more complex alloys from silver, gold, palladium, titanium with aluminum, indium and other impurities, which are easily oxidized, are used. Resistance to erosion of this alloys group is based on the protective oxide films effect, which prevent evaporation, but do not interfere with contact conductivity. Silver alloys of this type resist corrosion sufficiently well, saving a low contact resistance. Silver under the impact of electrical discharges is oxidized, but silver oxides are electrically conductive and easy dissociate, so that oxidation has almost no effect on the silver contacts contact resistance. The ohmic transitions based on the ternary alloy Ag-Ge-In (75% Ag, 20% Ge, 5% In) to $n-n^+GaAs$ (111) with $n_{e.l.}=2*10^{16} \text{ cm}^{-3}$ provide a sufficiently low contact resistance ($\rho_c=(5...7)*10^{-5} \text{ Ohm*cm}^2$) when the contact material was applied to the heated to 453 K substrate and the resulting structure annealed at 893 K at 60 s in a vacuum at a residual pressure of not worse than $1,2*10^{-6}$ Torr, the annealing temperature rise rate is 7,2 K/s and the contact cooling rate after annealing is 4,75 K/s.*

Key words: ohmic contacts, gallium arsenide, silver, thermal evaporation, annealing.