

УДК 621.382.2/3

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВЧ ПРИБОРА С БАРЬЕРАМИ ШОТТКИ

В. С. ДМИТРИЕВ, Л. Б. ДМИТРИЕВА, Е. Я. ШВЕЦ

*Запорожская государственная инженерная академия,
Украина, Запорожье, 69006, пр-т Соборный, 226*

Аннотация. В настоящее время исследования и разработка гетеропереходов ведутся в направлениях поиска новых композиций и технологических режимов создания омических и барьерных переходов к арсениду галлия. Переход к металлизации на основе серебра, имеющего большие по сравнению с золотом тепло- и электропроводность и относительно небольшой коэффициент диффузии в арсенид галлия, должен повысить технические характеристики изделий. Одной из важнейших технологических операций при формировании омических контактов и барьеров Шоттки является термический отжиг. Контакты на основе серебра к арсениду галлия изготовлены в вакууме методом термического испарения. Разработаны режимы нанесения и термической обработки при создании омических контактов $\text{Ag-Ge-In}/n\text{-n}^+\text{GaAs}$ с удельным контактным сопротивлением $\rho_k = (5 \dots 7) \times 10^{-5} \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$. Установлено влияние температуры подложки при напылении серебра, температуры отжига на высоту барьера Шоттки $\text{Ag}/n\text{-n}^+\text{GaAs}$, коэффициент инжекции γ и фактор неидеальности η .

Ключевые слова: барьер Шоттки; СВЧ прибор; арсенид галлия; эпитаксиальная пленка; травление; режим термообработки; контакт

ВВЕДЕНИЕ

Развитие средств мобильной связи и планшетных устройств, использование высокоскоростных беспроводных телекоммуникационных средств, увеличение пропускной способности волоконно-оптических систем, требующих увеличения скорости передачи данных, приводит к необходимости резкого увеличения доли электронных приборов СВЧ диапазона [1–6], которые изготавливаются на основе электронного арсенида галлия.

В настоящее время исследования и разработки гетеропереходов ведутся в направлениях поиска новых композиций металл–арсенид галлия [7–9], разработки технологических режимов [8–10], которые могут обеспечить вос-

производимость параметров СВЧ приборов с барьерами Шоттки (БШ).

Несмотря на то, что основные физические процессы в гетеропереходах металл–арсенид галлия достаточно хорошо изучены [10–12], до сих пор существуют разногласия в вопросах установления причин отклонения вольтамперных характеристик от идеальных [13–16], что связано с технологическими особенностями их изготовления.

В настоящее время наиболее отработаны технологии изготовления гетеропереходов металл–арсенид галлия на основе золота [13–16]. Однако, переход к металлизации на основе серебра, имеющего большую по сравнению с золотом тепло- и электропроводность и относительно небольшой коэффициент диффузии в

DOI: [10.20535/S002134701802005X](https://doi.org/10.20535/S002134701802005X)

© В. С. Дмитриев, Л. Б. Дмитриева, Е. Я. Швец, 2018

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белоус, А.И.; Солодуха, В.А.; Шведов, С.В. *Космическая электроника*: в 2 кн. Кн. 2. М.: Техносфера, 2015. 489 с.
2. Швеи, Е.Я.; Коломоец, А.Г. Оценка перспектив применения арсенида галлия и сплавов на его основе в качестве материалов для солнечных элементов. *Металургия*, № 30, С. 132–136, 2013. URI: http://www.zgia.zp.ua/gazeta/Metallurgy_30_132.pdf.
3. Загирняк, М.В.; Оксанич, А.П.; Петренко, В.Р.; Притчин, С.Э.; Тербан, В.А. Создание современных технологий выращивания структурно-совершенных слитков электронного арсенида галлия. *Сборник научных трудов 5-й Международной научной конференции «Функциональная база нанoeлектроники»*. Кацивели: ХНУРЭ, 2012, С. 5–13.

4. Зуев, С. А.; Килесса, Г. В.; Асанов, Э. Э.; Старостенко, В. В.; Покрова, С. В. Зависимость проводимости от толщины активной области в тонкопленочных диодах Шоттки на GaAs. *Физика и техника полупроводников*, Т. 50, № 6, С. 825–829, 2016. URI: <http://journals.ioffe.ru/articles/43212>.
5. Park, Chan Hyeong; Lee, Jong-Ho. Formulas of 1/f noise in Schottky barrier diodes under reverse bias. *Solid-State Electronics*, Vol. 69, P. 85–88, 2012. DOI: [10.1016/j.sse.2011.11.030](https://doi.org/10.1016/j.sse.2011.11.030).
6. Платонов, С. В.; Пермьяков, Н. В.; Селезнев, Б. И.; Мошников, В. А.; Козловский, Э. Ю.; Осипов, А. М. Малошумящие арсенид-галлиевые усилители при воздействии электромагнитных помех повышенных интенсивностей. *Вестник Новгородского государственного университета*, № 67, С. 29–32, 2012. URI: <http://www.novsu.ru/file/1010219>.
7. Ерофеев, Е. В. Формирование контактов металл-полупроводник с металлизацией на основе Al и Cu для GaAs СВЧ транзисторов с высокой подвижностью электронов : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 01.04.04 «Физическая электроника». Томск, 2012, 24 с. URI: <http://old.tusur.ru/export/sites/rus.tusur.new.ru/science/education/diss/2012/03/01.pdf>.
8. Кольцов, Г. И.; Диденко, С. И.; Черных, А. В.; Черных, С. В.; Чубенко, А. П.; Свешников, Ю. Н. Контакты Шоттки к высокоомным эпитаксиальным слоям GaAs для детекторов частиц и квантов. *Физика и техника полупроводников*, № 8, С. 1088–1093, 2012. URI: <http://journals.ioffe.ru/articles/7776>.
9. Tecimer, H.; Türlüt, A.; Uslu, H.; Altındal, Ş.; Uslu, İ. Temperature dependent current-transport mechanism in Au/(Zn-doped)PVA/n-GaAs Schottky barrier diodes (SBDs). *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol. 199, P. 194–201, 2013. DOI: [10.1016/j.sna.2013.05.027](https://doi.org/10.1016/j.sna.2013.05.027).
10. Jayavel, P.; Kumar, J.; Ramasamy, P.; Premnand, R. On the evaluation of Schottky barrier diode parameters of Pd, Au and Ag/n-GaAs. *Indian J. Eng. Materials Sci.*, Vol. 7, No. 5–6, P. 340–343, 2000. URI: <http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/24425>.
11. Дмитриев, В. С.; Швець, Е. Я. Технологические особенности изготовления усилителя бегущей волны. *Сборник материалов 10-й международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ-2014»*. Севастополь: СевНТУ, 2014. С. 158. ISBN 978-617-612-072.
12. Huo, P.; Rey-Stolle, I. Ti/Pd/Ag contacts to n-type GaAs for high current density devices. *J. Electronic Materials*, Vol. 45, No. 6, P. 2769–2775, 2016. DOI: [10.1007/s11664-016-4432-6](https://doi.org/10.1007/s11664-016-4432-6).
13. Özavcı, E.; Demirezen, S.; Aydemir, U.; Altındal, Ş. A detailed study on current-voltage characteristics of Au/n-GaAs in wide temperature range. *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol. 194, P. 259–268, 2013. DOI: [10.1016/j.sna.2013.02.018](https://doi.org/10.1016/j.sna.2013.02.018).
14. Hudait, M. K.; Venkateswarlu, P.; Krupanidhi, S. B. Electrical transport characteristics of Au/n-GaAs Schottky diodes on n-Ge at low temperatures. *Solid-State Electronics*, Vol. 45, No. 1, P. 133–141, 2001. DOI: [10.1016/S0038-1101\(00\)00230-6](https://doi.org/10.1016/S0038-1101(00)00230-6).
15. D. Korucu; Turut, A.; Altındal, Ş. The origin of negative capacitance in Au/n-GaAs Schottky barrier diodes (SBDs) prepared by photolithography technique in the wide frequency range. *Current Appl. Phys.*, Vol. 13, No. 6, P. 1101–1108, 2013. DOI: [10.1016/j.cap.2013.03.001](https://doi.org/10.1016/j.cap.2013.03.001).
16. Leroy, W. P.; Opsomer, K.; Forment, S.; Van Meirhaeghe, R. L. The barrier height inhomogeneity in identically prepared Au/n-GaAs Schottky barrier diodes. *Solid-State Electronics*, Vol. 49, No. 6, P. 878–883, 2005. DOI: [10.1016/j.sse.2005.03.005](https://doi.org/10.1016/j.sse.2005.03.005).
17. Lv, Jing; Lai, Fachun; Lin, Limei; Lin, Yongzhong; Huang, Zhigao; Chen, Rong. Thermal stability of Ag films in air prepared by thermal evaporation. *Appl. Surface Sci.*, Vol. 253, No. 17, P. 7036–7040, 2007. DOI: [10.1016/j.apsusc.2007.02.058](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2007.02.058).
18. Kim, H. C.; Alford, T. L. Improvement of the thermal stability of silver metallization. *J. Appl. Phys.*, Vol. 94, No. 8, P. 5393–5395, 2003. DOI: [10.1063/1.1609646](https://doi.org/10.1063/1.1609646).
19. Sugawara, K.; Kawamura, M.; Abe, Y.; Sasaki, K. Comparison of the agglomeration behavior of Ag(Al) films and Ag(Au) films. *Microelectron. Eng.*, Vol. 84, No. 11, P. 2476–2480, 2007. DOI: [10.1016/j.mee.2007.05.050](https://doi.org/10.1016/j.mee.2007.05.050).
20. Kawamura, M.; Yamaguchi, M.; Abe, Y.; Sasaki, K. Electrical and morphological change of Ag-Ni films by annealing in vacuum. *Microelectron. Eng.*, Vol. 82, No. 3–4, P. 277–282, 2005. DOI: [10.1016/j.mee.2005.07.035](https://doi.org/10.1016/j.mee.2005.07.035).
21. Christou, A. Solid phase formation in Au: Ge/Ni, Ag/In/Ge, In/Au: Ge GaAs ohmic contact systems. *Solid-State Electronics*, Vol. 22, No. 2, P. 141–149, 1979. DOI: [10.1016/0038-1101\(79\)90106-0](https://doi.org/10.1016/0038-1101(79)90106-0).
22. Дмитриєв, В. С.; Швець, Є. Я.; Дмитрієва, Л. Б. Технологічні особливості виготовлення омичного контакту до GaAs. *Науковий вісник КВЕІТУ «Нові технології»*. № 1–2, С. 48–50, 2013.
23. Мурель, А. В.; Данильцев, В. М.; Демидов, Е. В.; Дроздов, М. Н.; Шашкин, В. И. Влияние быстрого термического отжига на параметры арсенидгаллиевого низкобарьерного диода с приповерхностным delta-легированием. *Физика и техника полупроводников*, Т. 47, № 11, С. 1481–1485, 2013. URI: <http://journals.ioffe.ru/articles/5121>.
24. Kampen, T. U.; Park, S.; Zahn, D. R. T. Barrier height engineering of Ag/GaAs(100) Schottky contacts by a thin organic interlayer. *Appl. Surface Sci.*, Vol. 190, No. 1–4, P. 461–466, 2002. DOI: [10.1016/S0169-4332\(01\)00919-9](https://doi.org/10.1016/S0169-4332(01)00919-9).
25. Нисков, В. Я. Измерение переходного сопротивления омических контактов к тонким слоям полупроводников. *Приборы и техника эксперимента*, № 1, С. 235–237, 1971.

26. Нисков, В.Я.; Заддэ, В.В.; Зайцева, А.К.; Стрельцова, В.И. Измерение переходного сопротивления омических контактов к тонким слоям полупроводников. *Приборы и техника эксперимента*, № 2, С. 240-242, 1971.

27. Нисков, В.Я.; Кубецкий, Г.А. Сопротивление омических контактов к тонким слоям полупроводни-

ков. *Физика и техника полупроводников*, Т. 4, № 9, С. 1806-1808, 1970.

28. Sze, S. M.; Kwok, K. N. *Physics of Semiconductor Devices*, 3rd ed. Hoboken: A John Wiley & Sons, Inc., 2006. 832 p.

Поступила в редакцию 24.06.2016

После переработки 19.12.2017