ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА
Т. 5, № 2 (2004) С. 382-386

PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE
V. 5, № 2 (2004) P. 382-386

УДК 621.382.002

ISSN 1729-4428

А.В. Іващук

Вплив технології металізації на параметри омічних контактів до GaAs

ВАТ "Науково-виробниче підприємство "Сатурн",
м. Київ, тел. (380 - 44) 478-0681, e-mail: ivaschuk@i.com.ua

Представлено результати експериментальних досліджень впливу технології нанесення металів і сплавів на параметри омічних контактів до n-GaAs для надвисокочастотних польових транзисторів та монолітних інтегральних схем. Досліджено вплив різних вакуумних систем при формуванні омічних контактів на їх питомий контактний опір та температурну стабільність. Встановлено, що для формування контактів, які б задовольняли вимогам технології НВЧ транзисторів і МІС, придатні лише вакуумні системи із іонногетерною чи турбомолекулярною помпами на останній стадії створення вакууму.

Ключові слова: арсенід галію, технологія металізації, вакуум, омічний контакт, НВЧ польовий транзистор.

Стаття поступила до редакції 08.07.2003; прийнята до друку 19.05.2004.

З підвищенням ступеня інтеграції надвисокочастотних монолітних інтегральних схем (МІС), а також розширенням робочого частотного діапазону польових транзисторів з бар'єром Шотткі (ПТШ) в міліметрову область, що призводить до зменшення елементів їх топології до субмікронних розмірів, до омічних контактів виставляються все жорсткіші вимоги щодо величини питомого контактного опору (ρ_c), теплової стабільності, стійкості до радіаційного впливу. Ростуть також вимоги до морфорлогії поверхні контактів, однорідності розподілу електричних параметрів контактів по його площі. Цим зумовлена необхідність удосконалення технології омічних контактів до GaAs, а також дослідження фізико-хімічних особливостей їх формування.

Відомо, що стан поверхні GaAs перед металізацією контакту, а також технологія напилення металів і сплавів суттєво впливають як на питомій опір контакту, так і на його морфологію [1,2].

При формуванні омічних контактів (ОК) для НВЧ транзисторів із наднизьким рівнем шуму виключно методом зривної літографії, при дослідженнях технологій нанесення металів доцільно було брати до уваги лише ті методи нанесення металів і сплавів, які мінімально змінюють стан поверхні напівпровідника, не призводять до деструкції резистів і в незначній мірі запиляють бокові стінки з резистів у топологічних вікнах. Тому з усіх відомих методів для нанесення Au і сплаву AuGe вибрано термічне напилення, а для Ni, Ti і інших тугоплавких металів – електронно-променеве напилення. Вже давно також відомо, що для вакуумного нанесення тонких плівок із контрольованими необхідними параметрами потрібне таке технологічне обладнання, яке б найменше впливало як на процес формування плівки, так і на стан поверхні під плівкою [3]. Тому з метою отримання глибокого вакууму для мінімізації взаємодії залишкових газів і вирощування плівок було проведено безліч досліджень [4] і виконано багато розробок [5,6]. В результаті сьогодні маємо велику кількість різноманітного технологічного обладнання для вакуумного нанесення металів, сплавів і діелектриків.

Незаперечним є те, що чим глибшим буде вакуум, тим менш забрудненими будуть плівки металів чи сплавів, а також поверхня напівпровідника. Але при розробці промислової технології НВЧ транзисторів важливо було визначити межі впливу глибини вакууму і способів його створення на якість напилюваних плівок, а в рамках цієї роботи – на якість ОК. При цьому досліджувався ρ_c контактів і їх надійність.

Вакуумні системи. Для створення вакууму застосовувались три різні системи відкачування на кінцевому етапі: 1) пароструменева помпа; 2) турбомолекулярна помпа; 3) іонногетерна помпа. Перша система складалась із механічної помпи, азотних вловлювачів води і випарів масел та пароструменевої помпи; друга – із механічної помпи, азотного вловлювача води і турбомолекулярної помпи; третя – із механічної помпи, азотних і цеолітових вловлювачів води і випарів масел,

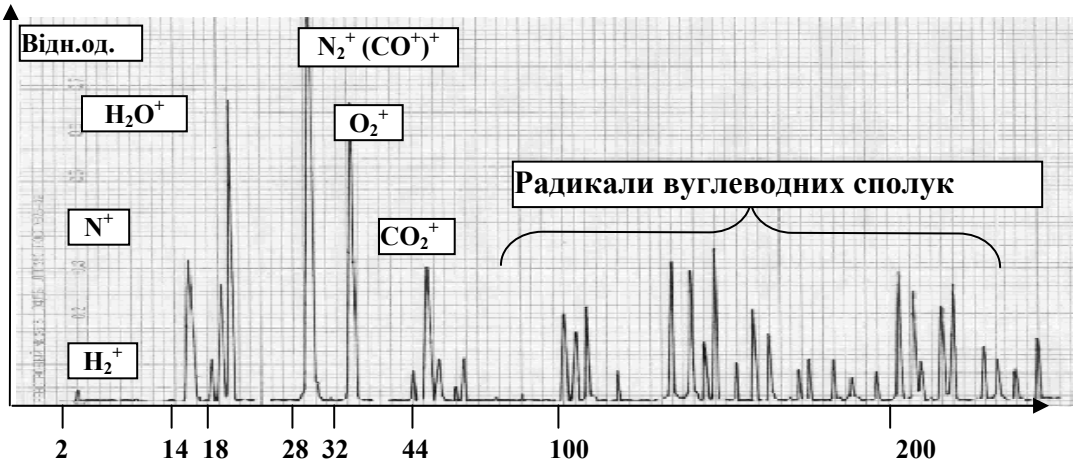

Рис. 1. Мас-спектр залишкових газів у камері з вакуумом, створеним парамасляною помпою.

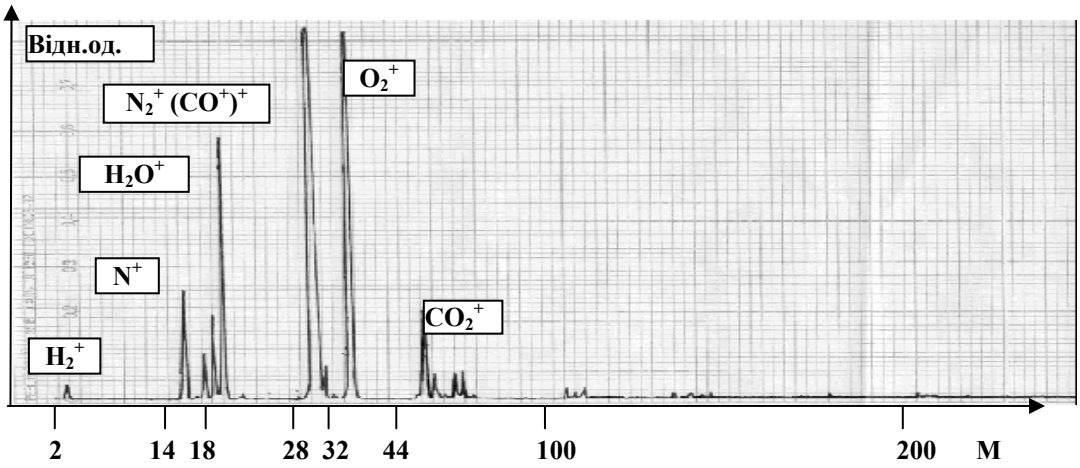

Рис. 2. Мас-спектр залишкових газів у камері з вакуумом, створеним турбомолеку-лярною помпою.

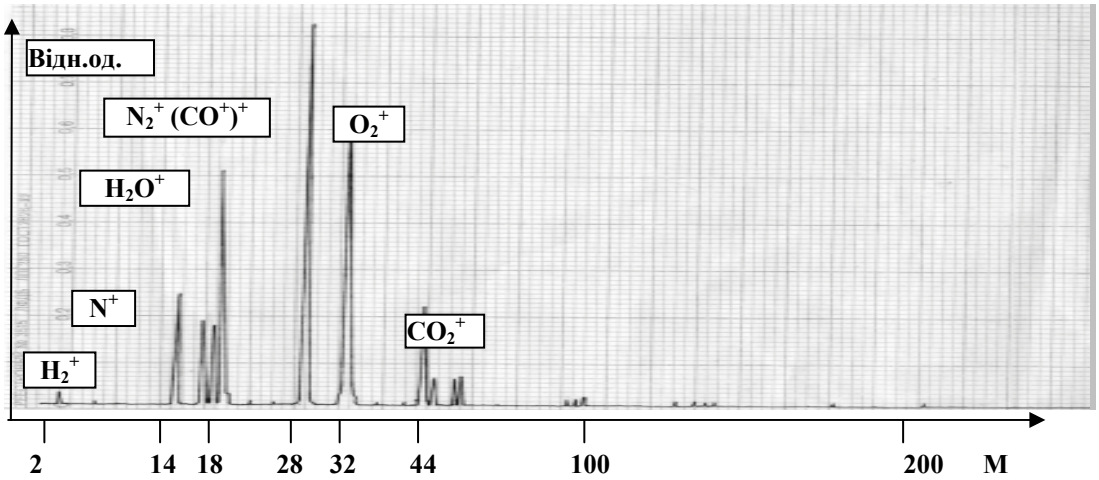

Рис. 3. Мас-спектр залишкових газів у камері з вакуумом, створеним іоногетерною помпою.

турбомолекулярної помпи та іонногетерної помпи. В першому і другому випадках використовувались серійні вакуумні системи нанесення металів УРМ3.279.011 і УРМ3.279.068 відповідно, вакуум при цьому було досягнуто на рівні ~$1\cdot10^{-5}$ Па. Контролювався вакуум газоаналізатором МХ7304. У третьому варіанті використовувалась модернізована вакуумна система нанесення металів УРМ3.279.047 і вакуум у ній було досягнуто на рівні ~$1\cdot10^{-6}$ Па.

На рис. 1-3 представлені типові мас-спектри залишкових газів у камері для трьох систем створення вакууму. Масспектрометр від-калібровувався так, щоб чутливість в зоні виходу азоту і кисню із масовими числами від 28 до 32 була на порядок нижчою для кращої ідентифікації спектрів. Незважаючи на те, що ускладнена вакуумна система із іонногетероною помпою на кінцевому етапі дозволяє створювати вакуум на порядок глибший ніж турбомолекулярною чи пароструменевою помпою, мас-спектри залишкових газів другої і третьої систем відрізняються мало, в них наявні характерні піки складників сухого повітря. В той же час на мас-спектрі вакууму, створеного пароструменевою помпою, спостерігається безліч піків, характерних для важких мас вуглеводневих сполук.

Із врахуванням результатів досліджень впливу стану поверхні й оптимізації теплових режимів формування ОК [7,8] проведені дослідження двох класичних типів контактів до n-GaAs (1. AuGe-Au; 2. AuGe-Ni-Au) із напиленням металів у трьох описаних вище вакуумних системах. Товщини шарів металів оптимізовані і вибрані на основі даних робіт [1,9] і експериментально підтверджені в роботі [10]. Вони були такими: AuGe – 50 нм, Au – 300 нм для першої серії зразків; AuGe – 50 нм, Ni – 20 нм і Au – 300 нм – для другої.

ОК формувались на ЕС GaAs товщиною 0,3 мкм з $N_d = 1\cdot10^{17}$ см$^{-3}$, вирощених МОС-гідридною епітаксією на напівізолюючій підкладинці з буферним шаром. Відносно низька концентрація донорів в ЕС вибрана з метою більшого впливу технології металізації на параметри ОК, оскільки при високій концентрації $N_d \sim 1\cdot10^{18} \div 1\cdot10^{19}$ см$^{-3}$ цей вплив менш значний [10].

Сплавлення ОК відбувалось у печі в середовищі водню методом термоудару при температурах $400 \div 450^0$C на протязі 20 с і 30 с для першої і другої серій зразків відповідно з швидким нагрівом і охолодженням пластин ($50 \div 70$ град/с), що досягалось спеціальним пристроєм, описаним в роботі [7].

Плівки AuGe і Ni внаслідок незначних їх товщин, сумарно меншій товщини технологічного підшару SiO_2 не влинуть на якість зривної літографії. Що стосується Au то для його нанесення розроблені випарники спеціальної конструкції [11].

Дослідження зразків. Питомий контактний опір ОК визначався за однією з відомих методик [12]. Результати досліджень представлені на рис. 4. Їх аналіз показує, що ρ_c ОК, сформованих із нанесенням металів і сплаву у вакуумних системах, де відкачування на кінцевих етапах здійснювалось турбомолекулярною, чи іонно-гетерною помпами, практично не відрізняються. В той же час ρ_c ОК, в яких метали і сплав нанесені у вакуумі, створеному пароструйною помпою, майже у два рази вищий.

Ще більші проблеми з такими контактами виникають при їх дослідженнях на температурну стабільність. Результати зміни ρ_c після прогріву ОК на протязі 100 год. при температурі 250°C в атмосфері сухого азоту, сформованих за шістьма описаними вище варіантами, представлені на рис. 5.

Із аналізу цих досліджень добре видно, що ОК, сформовані у вакуумній системі із пароструменевою помпою, температурно нестабільні. Спостерігається значне збільшення ρ_c вже на протязі $50 \div 100$ годин. Особливо нестабільним виявився ОК, до складу

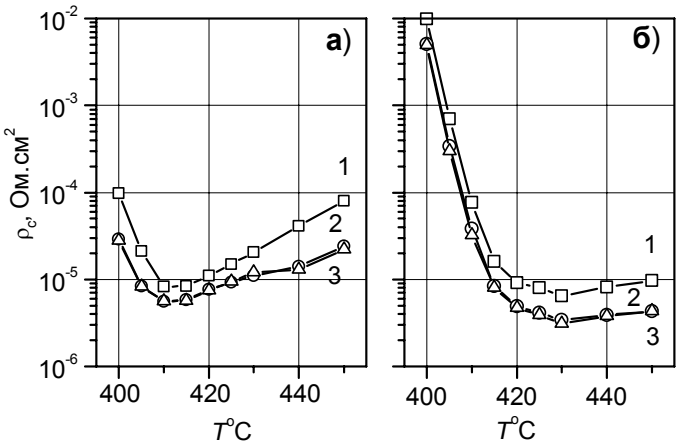

Рис. 4. Залежність питомого контактного опору (ρ_c) від температури сплавлення зразків із металізацією ОК, нанесеною в різних вакуумних системах: 1 – пароструйна помпа; 2 –турбомолекулярна помпа; 3 – іонногетерна помпа; а) AuGe-Au; б) AuGe-Ni-Au.

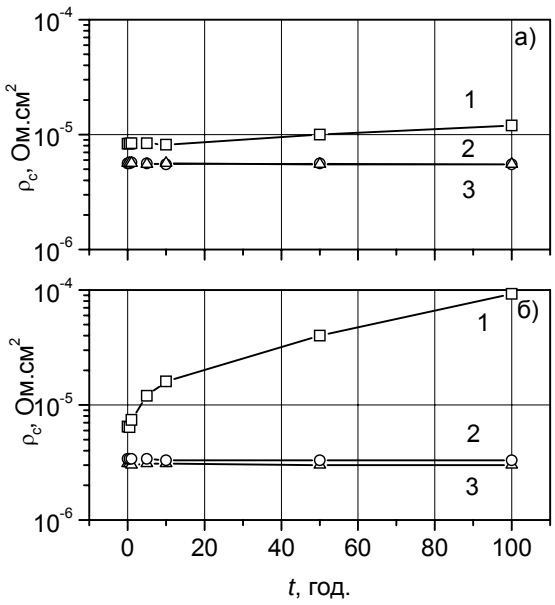

Рис. 5. Залежність питомого контактного опору (ρ_c) від часу старіння (t) структур ОК із металізацією, нанесеною в різних вакуумних системах: 1 – пароструйна помпа; 2 – турбомолекулярна помпа; 3 – іонногетерна помпа; від часу термообробки: а) AuGe–Au; б) AuGe–Ni–Au.

якого входить Ni. Таку нестабільність можна пояснити, повертаючись до мас-спектрів залишкових газів у камерах (рис. 1-3). Не викликає сумніву той факт, що важкі вуглеводневі сполуки (рис. 1) вмуровувались у металеві плівки ОК, а також сорбувались на поверхні GaAs ще до напилення сплаву AuGe. При сплавленні і рекристалізації ОК вуглець, роль якого у контактних системах вивчена недостатньо, спонукав утворення кластерів більших розмірів, а важкі вуглеводневі сполуки можуть перешкоджати утворенню на окремих ділянках поверхні напівпровідника високолегованих германієм зон [1,2,9]. В такому випадку інтегральний параметр ОК – ρ_c збільшиться.

Значне ж підвищення ρ_c у таких контактах після термообробки пояснюється нестабільністю сполук, у яких присутній вуглець, а також фази Ni_2GeAs [1,9], утворенню якої вуглець перешкоджає.

В той же час ОК, сформовані у вакуумних системах із турбомолекулярною і іонногетерною помпами, демонструють хорошу стабільність – ρ_c змінюється в межах похибки вимірювань.

Таким чином, можна стверджувати, що для формування ОК, які б задовільняли вимогам технології НВЧ ПТШ і МІС, придатні лише вакуумні системи із іонногетерною чи турбомолекулярною помпами на останній стадії створення вакууму. Вакуумні кріогенні системи, очевидно, також задовольнили б вимоги технології напівпровідникових НВЧ приладів, але в даній роботі вони не досліджувались.

Іващук А.В. – канд. технічних наук, головний інженер НВ ДП “Сатурн-Мікро”.

[1] A. Piotrowska, A. Guivac’h, G. Pelous. Ohmic contacts to III-V compound semiconductors: A review of fabrication techniques // *Solid-St. Electron.,* **26(**3), pp. 179-197 (1983).

[2] G.Y. Robinson. Metallurgical and electrical characterization of metal-semiconductor contacts // *Thin Solid films,* **72(**1), pp. 129-141 (1980).

[3] *Технология тонких пленок*, Справочник. / Под ред. Л. Майсела, Р. Гленга. М. Советское радио, Т. 1, 662 с. (1977).

[4] Реакции в системе металл-полупроводник / *Тонкие пленки. Взаимная диффузия и реакции.* / Под ред. Дж. Поута, К. Ту, Дж. Мейера. М., Мир. 576 с. (1982).

[5] Дж. Уэнстон. *Техника высокого вакуума.* М., Мир. 368 с. (1988).

[6] Л.Н. Розанов. *Вакуумная техника*. М., Высшая школа. 320 с. (1990).

[7] А.В. Иващук. Тепловые режимы формирования омических контактов к арсениду галлия // *Технология и конструирование электронной аппаратуры*, Вып. 5-6, сс. 43-45 (2000).
[8] А.В. Іващук. Хімічне травлення поверхні арсеніду галію перед нанесенням металізації омічних контактів // *Фізика і хімія твердого тіла*, **2(**1), сс. 125-130 (2001).
[9] N. Braslau. Ohmic contacts for GaAs // *Thin Solid Films,* **104(**3/4), pp. 391-397 (1983).
[10] А.В. Іващук. Формування омічних контактів з одночасним очищенням поверхні арсеніду галію і її легуванням атомами германію // *Наукові вісті НТУ КПІ,* вип. 2, сс. 5-8 (2000).
[11] Патент на винахід № 16341 Україна МКИ С23 С14/26. / Випарник для напилення речовини в вакуумі / Іващук А.В., Корнус В.Г., Кохан В.П., Яшник В.М. Заяв. 4206456/SU від 06.03.87, А.с. №1473369. Опубл. 29.08.97, Бюл № 4.
[12] С.Г. Мадаян, М.К. Гусейханов. Измерение удельных переходных сопротивлений омических контактов к тонким слоям полупроводника // *Известия ВУЗов. Физика,* Вып. 6, сс. 80-83 (1976).

A.V. Ivashchuk

Influence of Metallization Technology on Parameters of Ohmic Contacts to GaAs

Open Joint-Stock Company "Scientific and production firm "Saturn",
Kyiv, tel.: (044)478-0681,

The experimental researches of influence of metals and alloys deposition technologies on ohmic contacts parameters to n-GaAs for UHF field-effect transistors and monolithic integrated circuits are submitted. The influence of different vacuum systems on contact resistivity and thermal stability is studied. Is established, that at last stage of pumping only vacuum systems with getter ion or turbo-molecular pumps are suitable for formation of ohmic contacts to UHF transistors and MIC`s with required parameters.