

УДК 621.382.002

А.В. Іващук, канд. тех. наук

Радіаційна стійкість омичних контактів до *n*-GaAs

Проведены исследования радиационной стойкости омических контактов полевых транзисторов с барьером Шоттки на GaAs, изготовленных за двумя типами технологии. Определена величина предела максимально допустимой дозы облучения, которая не приводит к деградации параметров омических контактов и их морфологии. Она составляет $2,58 \cdot 10^4$ Кл/кг, что на порядок выше радиационной стойкости транзисторов.

Radiation firmness of ohmic contacts of unipolar transistors with the Schottky barrier on GaAs, made by two types of technology, is research in this work. The limit size of maximally possible dose of irradiation, which does not result in degradation of ohmic contacts parameters and its morphology, is defined. It is $2,58 \cdot 10^4$ Cl/kg, that on order higher, than transistors' radiation firmness.

Вступ

Враховуючи те, що значна кількість польових транзисторів з бар'єром Шоттки (ПТШ) і МІС на їх основі експлуатується в умовах підвищеної дії іонізуючого опромінення, дослідження властивостей транзисторів і їх основних елементів, в першу чергу бар'єру Шоттки і омичних контактів (ОК), є важливим завданням для визначення експлуатаційних характеристик і надійності приладів.

Деградація електричних параметрів напівпровідникових приладів та МІС на GaAs, а також гетероструктурах напівпровідників A_3B_5 під дією гамма- і нейтронного опромінення розглядається в цілому ряді робіт [1, 2]. Причому в роботах [3 – 5] пропонується радіаційна технологія не лише стабілізації параметрів приладів і окремих їх елементів, але й поліпшення їх характеристик. Такий підхід до проблеми заслуговує на увагу і безумовно може дати позитивні результати.

В даній же роботі досліджувався вплив гамма-опромінення на ОК, як один із основних елементів ПТШ на GaAs і проводився аналіз механізму його деградації. Аналізувався також ступень деградації ОК в залежності від технології його виготовлення.

Дослідження зразків

Топологія досліджуваних ОК формувалася через маску фоторезисту і SiO_2 методом зривної літографії, що забезпечує мінімальний вплив технології на поверхню напівпровідника [6]. З метою виявлення впливу γ -опромінення на електрофізичні

параметри ОК вони формувались у вигляді спеціальних тестових структур для вимірювання питомого контактного опору (ρ_c). ОК виготовлялись із двома типами металізації: 1 – AuGe (50нм) і Au (300нм); 2 – |Ge| – AuGe (50нм) – Mo (30нм) і Au (300нм) за технологією формування омичних контактів з одночасним очищенням поверхні арсеніду галію і її легуванням атомами германію, детально описаною в [7]. Досліджувані ОК першої серії зразків мали ρ_c на рівні $7 \cdot 10^{-7}$ Ом·см², а другої – $3 \cdot 10^{-7}$ Ом·см².

Зразки опромінювались γ -променями у спеціальній камері в атмосферному середовищі при температурі не вище 40 °С джерелом γ -квантів Co^{60} з енергією фотонів 1,25 МеВ. Максимальна сумарна доза опромінення, яку поглинули зразки, набиралась у декілька етапів за інтегральною характеристикою і склала $3,21 \cdot 10^5$ Кл/кг. У проміжках між опроміненням проводились вимірювання ρ_c і візуальний контроль поверхні зразків.

Деградація ОК як за параметрами, так і за морфологічною структурою накопичувалась поступово, починаючи з поглинутої дози 10^4 Кл/кг (рис.1). Незначні зміни ρ_c спостерігались вже при $2,58 \cdot 10^4$ Кл/кг, при $1,29 \cdot 10^5$ Кл/кг відбувалось різке збільшення ρ_c , а при набраній дозі понад $2,58 \cdot 10^5$ Кл/кг мала місце повна деградація ОК. Причому на обох серіях зразків характер деградації зразків був ідентичним, але на зразках другої серії деградація відбувалась при більшій дозі.

Візуальні спостереження за поверхнею зразків показують, що високоенергетичне γ -опромінення впливає не лише на параметри ОК, але й на їх морфологію, а також сприяє руйнуванню SiO_2 на межі з ОК, яке з ростом дози проявляється все більше. Крім цього, починаючи з дози $2,58 \cdot 10^4$ Кл/кг для першої серії зразків і дози $1,29 \cdot 10^5$ Кл/кг для другої серії спостерігається взаємна дифузія між шарами металізації ОК, яку видно візуально. При дозі $2,58 \cdot 10^5$ Кл/кг відбувається значна зміна морфології сплавлених шарів.

Частина зразків у проміжках між опроміненням прожарювалась при температурі 310 °С на протязі 8 годин у середовищі водню. Така термообробка, як видно із рис. 2, повністю відновлювала ρ_c при опроміненні із сумарною дозою до $2,58 \cdot 10^4$ Кл/кг і частково – при $1,29 \cdot 10^5$ Кл/кг. При опроміненні зразків із сумарною дозою понад $1,29 \cdot 10^5$ Кл/кг параметри ОК деградують незворотно.

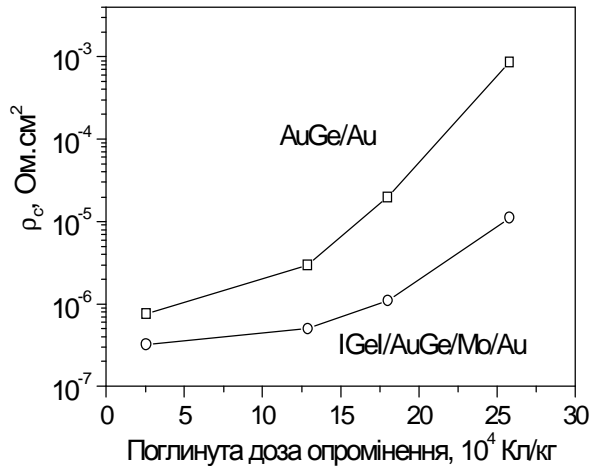


Рис. 1. Залежність питомого контактного опору (ρ_c) від дози опромінення

На основі результатів проведених досліджень і спостережень, а також виходячи із теорії взаємодії опромінення з бінарними напівпровідниками і відомих процесів, що відбуваються при формуванні ОК до GaAs [8], можна зробити висновки про можливі механізми деградації ОК під дією γ -опромінення.

По-перше, під дією опромінення в GaAs в результаті ударної іонізації атомних оболонок Ga і As утворюються первинні дефекти – заміщені атоми і вакансії. В результаті їх руху і реакції з дефектами, наприклад, з дислокаціями, чи одного з іншим, або ж реакції з атомами домішок, якими в даному випадку будуть, в першу чергу, атоми германію, у приповерхневому шарі GaAs під ОК утворюються нові, більш стійкі і менш рухомі, вторинні дефекти, які визначають ті зміни, що відбуваються у зразках при опроміненні [3, 8]. Крім цього, при більш високих дозах опромінення можливий вихід вільних атомів у результаті їх низькотемпературної міграції через інші дефекти назовні, при цьому на поверхні утворюються кристаліти. Таке явище в інших бінарних напівпровідниках детально аналізується в роботах [8, 9].

В досліджуваних зразках спостерігається аналогічна ситуація. У зв'язку з тим, що рекристалізована область межі поділу метал-напівпровідник має велику кількість структурних дефектів, то саме через цю область здійснюється найбільш інтенсивний вихід на поверхню вільних атомів Ga і As і в цій області спостерігається подальше накопичування дефектів. Візуально це спостерігається як руйнація зовнішніх меж ОК і SiO₂ навкруги нього, утворення у цій області кристалітів, очевидно Ga і його сполук і, як наслідок, значна коалесценція тонких плівок ОК [10]. Таким чином, можна констатувати, що у підконтактній області відбувається

посилене дефектоутворення і згруповування дефектів у більші кластери.

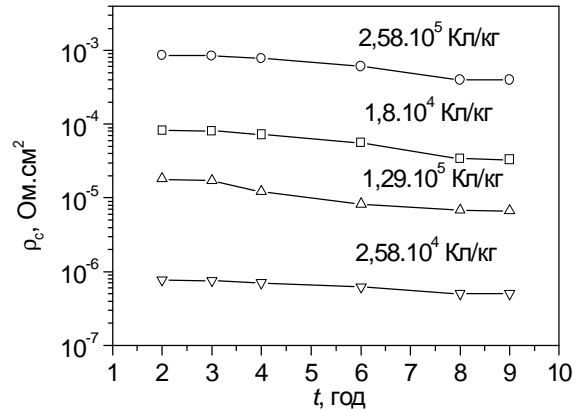


Рис. 2. Залежність питомого контактного опору (ρ_c) від часу прожарювання при температурі 310 °C для зразків із різною дозою поглинутого опромінення

По-друге, при великих дозах опромінення ($12,9 \cdot 10^4 \div 2,58 \cdot 10^5$ Кл/кг) має місце значна радіаційно-стимульована дифузія між шарами металізації ОК, співвимірна із дифузією при температурах 470 ÷ 500 °C.

При цьому спостерігається сильна дифузія золота у напівпровідник, де воно вступає в реакцію з галієм, утворюючи полікристалічні сполуки [8, 9]. Утворення великої кількості галідів під поверхню ОК сприяє формуванню області високого опору, погіршуючи таким чином властивості ОК.

Відновлення параметрів зразків, опромінених невеликими дозами, після прожарювання на протязі тривалого часу при температурі 310 °C пояснюється тим, що при опроміненні до певної межі у напівпровіднику відбувається утворення лише первинних температурно-нестійких дефектів, які ще нездатні значно порушити кристалічну структуру матеріалу. В цій ситуації процес прожарювання можна пов'язати із активаційною рекомбінацією слабгорозділеної пари Френкеля.

Висновки

1. Проведені дослідження дають можливість оцінити межу радіаційної стійкості ОК ПТШ на GaAs. Величина максимально допустимої дози опромінення, яка не призводить до деградації параметрів ОК і його морфології, складає $2,58 \cdot 10^4$ Кл/кг, що на порядок вище радіаційної стійкості ПТШ.

2. ОК, виготовлені за технологією, де в якості металізації використана композиція [Ge]–AuGe–Mo–Au, в результаті чого морфологія контакту має поліпшену структуру більш стійку до радіаційного впливу.

3. Визначено, що термообробка структур з ОК при $T = 310\text{ }^{\circ}\text{C}$ на протязі 8 годин після їх опромінення невеликими дозами ($2,58 \cdot 10^2 \div 2,58 \cdot 10^4$) Кл/кг відновлює параметри зразків, що може бути використано для відновлення функціональних властивостей ПТШ.

4. Показано, що при великих дозах опромінення ($12,9 \cdot 10^4 \div 2,58 \cdot 10^5$ Кл/кг) має місце значна радіаційно-стимульована дифузія між шарами металізації ОК, співвимірна із дифузією при температурах $470 \div 500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Література

1. *Упорядоченная* латеральная неоднородность переходного слоя в системе AuGe – GaAs / Вдовин В.И., Груша С.А., Конакова Р.В., Миленин В.В., Наумовец А.А., Хазан Л.С., Тхорик Ю.А. – Письма в ЖТФ, 1992, том 18, вып. 16, С. 10 – 13.
2. *Киселева Е.В.*, Китаев М.А., Оболенский С.В., Трофимов В.Т., Козлов В.А. Радиационная стойкость перспективных арсенид галлиевых полевых транзисторов Шоттки // Журнал технической физики, 2005, том 75, вып. 4, с. 136 – 138.
3. *Radiation resistance of GaAs-based microwave Schottky-barrier devices* / A.E.Belyaev, J.Breza, E.F.Venger, M.Vesely, I.Yu.Ill'in, R.V.Konakova, J.Liday, V.G.Lyapin, V.V.Milenin, I.V.Prokopenko, Yu.A.Tkhorik // Київ.- Интерпрес ЛТД. – 1998. – 128 с.
4. *Способ* изготовления СВЧ транзисторов: А.с. №283284 СССР, МКИ НОЛ / Сенищук И.К., Груша С.А., Иващук А.В. – Заяв. № 3185961 від 01.12.1987. Опубл. 3.10.1988, Сб. РИ. Приборостроение. № 1. – 31 с., ДСК.
5. *Полевые* транзисторы с барьером Шоттки / Босый В.И., Иващук А.В., Ковальчук В.Н., Ильин И.Ю., Конакова Р.В., Соловьев Е.А., Стовповой М.А., Ренгевич А.Е., Тариелашвили Г.Т. // Петербургский журнал электроники Вып.1(22), 2000, С. 52 – 55.
6. *Иващук А.В.* Тепловые режимы формирования омических контактов к арсениду галлия // Технология и конструирование электронной аппаратуры. – 2000. – Вып. 5 – 6. С. 43 – 45.
7. *Иващук А.В.* Формування омичних контактів з одночасним очищенням поверхні арсениду галію і її легуванням атомами германію // Наукові вісті НТУ КПІ, 2000, вип. 2, с. 5 – 8.
8. *Вавилов В.С.*, Кив А.Е., Ниязова О.Р. Механизмы образования и миграции дефектов в полупроводниках. – М.: Наука, 1981. – 368 с.
9. *Иващук А.В.*, Бурмака В.А., Сенищук И.К. Радиационная стойкость омических контактов к n-GaAs // СЭ, сер. 1. – 1989, вып. 6, с. 47 – 49.
10. *Брянцева Е.А.*, Лопатин В.В., Любченко В.Е. Особенности коалесценции тонких пленок Au-Ge при формировании контактов ограниченных размеров. // ФТТ. – 1988. – Том 30. Вып. 3. – С. 645 – 648.