

З 843.324.406
УДК 621.382

арсенід галію, матеріал p/n,
характеристика матеріала
облучення швидкими електронами.

В.А. Завадський, канд. техн. наук., доц.
(Одеська морська академія)

В.В. Зубарев, канд. техн. наук., старш. наук. співроб.
(Міністерство політики України)

С.В. Ленков, д-р техн. наук, проф.
(Державна комісія з питань ППК України)

Г.Т. Таріславівлі, нач. від.
(ОАО "Укртелеком")

ВПЛИВ ОПРОМІНЕННЯ ШВИДКИМИ ЕЛЕКТРОНАМИ НА ВЛАСТИВОСТІ АРСЕНІДУ ГАЛІЮ

Наведено результати експериментальних досліджень характеру впливу опромінення швидкими електронами на основні характеристики арсеніду галію – одного з перспективних матеріалів для бортової електроніки.

Вступ. Електронна авіакосмічна апаратура, насамперед це стосується систем наведення і супроводу цілей, широко використовує оптичні вікна на основі арсеніду галію. Їхнє основне призначення – фільтрація сигналів у ближній інфрачервоній області спектра, що відповідає довжині хвилі 10,6 мкм. Піддаючись опроміненню високоенергетичними частинками і коливанням температури, під час експлуатації вони можуть змінювати свої параметри. Тому дослідження характеру впливу опромінення швидкими електронами на основні характеристики арсеніду галію являють собою не тільки науковий, але і значний практичний інтерес.

Опроміненню дозами електронів $1 \cdot 10^{15}$, $1 \cdot 10^{16}$, $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ були піддані підкладки арсеніду галію, леговані телуром, з концентрацією $(2-4) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, нелеговані епітаксійні шари з концентрацією залишкових домішок $(5-6) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $(1,2-1,8) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $(7-8) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, а також епітаксійні шари, леговані цинком до концентрації $(1,3-1,6) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

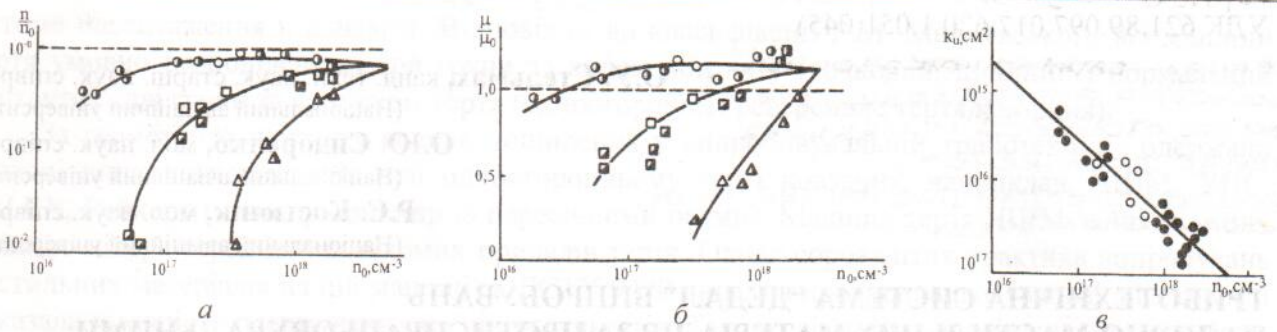
Результати опромінення. Мала доза опромінення збільшує питомий опір матеріалу на 6%, концентрація носіїв заряду зменшується на 20%, а їхня рухливість зростає на 15%. Це може бути пов'язано з упорядкуванням структури арсеніду галію при малій дозі опромінення. Радіаційні дефекти в цих умовах ще не виникають.

Збільшення дози опромінення різко збільшує питомий опір матеріалу, зменшує концентрацію носіїв заряду і їхню рухливість. Це свідчить про внесення радіаційних дефектів, що компенсують вихідний матеріал, за рахунок утворення комплексів з домішками і власними атомами. Зі збільшенням концентрації домішок у шарах зменшується ступінь зміни їх електрофізичних параметрів при даній дозі опромінення. І навпаки, найбільше "чисті" зразки ($5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$) компенсуються вже при невеликих дозах опромінення. Істотної відмінності в поведженні об'ємних зразків і епітаксійних шарів арсеніду галію не спостерігалось. Також не було відзначено і впливу типу домішки на процеси виникнення радіаційних дефектів. При дозах 10^{16} і $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ епітаксійні шари арсеніду галію настільки сильно компенсувалися радіаційними дефектами, що ставали напівізольюючими та у них було утруднено визначення електрофізичних параметрів.

На графіках залежності відносної зміни концентрації і дози опромінення електронами можна виділити три ділянки (див. рисунок, а, б).

На першій ділянці (псевдогоризонтальна пряма) спостерігається поліпшення електрофізичних параметрів арсеніду галію – зростає рухливість і трохи зменшується концентрація носіїв заряду. На цій ділянці зміни рухливості і концентрації носіїв заряду слабо залежать від їхньої початкової концентрації.

На другій ділянці (вигин ліній) відбувається деяка залежність властивостей від початкової концентрації носіїв заряду: знижується рухливість і концентрація носіїв заряду.



Залежність відносних змін концентрації (а), рухливості (б) і швидкості виведення (в) носіїв заряду в арсеніді галію від початкової концентрації носіїв заряду при опроміненні електронами:

□, ○, △ – підкладки; ● – епітаксійні шари; ○, ■, △ – нелеговані епітаксійні шари; □, △ – епітаксійні шари, що леговані цинком

На третій ділянці спостерігається різке погіршення властивостей арсеніду галію. Матеріал компенсується внесеними радіаційними дефектами і поступово стає напівізолюючим.

Отже, появу першої ділянки можна пояснити впорядкуванням структури напівпровідника, що повинно призвести до збільшення рухливості і зменшення концентрації носіїв заряду.

Порогом погіршення електрофізичних властивостей епітаксійних шарів арсеніду галію при опроміненні електронами може служити умова [1]:

$$n_0 \geq (30-40)\Phi_e,$$

де n_0 – концентрація носіїв заряду до опромінення; Φ_e – потік опромінення електронами.

Оцінимо темп компенсації носіїв заряду радіаційними дефектами. Вважаємо, що процес виведення носіїв заряду відбувається за експонентним законом:

$$n = n_0 \exp(-K_n \Phi_e),$$

де n – концентрація носіїв заряду в зразку після опромінення; K_n – коефіцієнт, що характеризує швидкість виведення носіїв заряду.

Серед фахівців існує думка, що при малих рівнях легування і малих потоках радіації швидкість виведення носіїв заряду для арсеніду галію постійна і не залежить від концентрації й природи домішки [2]. У нашому випадку при концентрації від $5 \cdot 10^{16}$ до $1,5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ коефіцієнт K_n залежить від початкової концентрації носіїв заряду (див. рисунок, в).

У логарифмічних координатах ця залежність виявилася практично лінійною. Причому швидкість виведення носіїв заряду як в об'ємному матеріалі, так і в епітаксійних шарах була однаковою. Подібний результат залежності швидкості виведення носіїв заряду від їхньої початкової концентрації спостерігався авторами і раніше [1] під час опромінення електронами епітаксійних шарів кремнію.

Висновок. У результаті впливу електронів із дозою опромінення $(1 \div 50) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ електрофізичні властивості арсеніду галію поліпшуються до порога дози опромінення. Зміна електрофізичних параметрів не залежить від типу легуючої домішки й обсягу матеріалу (підкладки чи епітаксійні шари). Швидкість виведення носіїв заряду лінійно залежить від їхньої початкової концентрації в епітаксійних шарах. Стійкість епітаксійних шарів арсеніду галію залежить від концентрації домішки і тим більше, чим сильніше вони леговані.

Список літератури

1. Зубарев В.В., Мокрицький В.А., Салімов Р.М., Савельєв А.В. Радіаційна модифікація параметрів та вивчення стійкості напівпровідникових виробів електронної техніки для космічної апаратури // Нац. акад. оборони України: Тр. акад. – К., 2002. – №39. – С. 293–294.
2. Уваров Е.Ф. Электрофизические свойства полупроводниковых соединений АЗВ5, облученных быстрыми электронами и нейтронами // Обзоры по электронной технике. Сер. Материалы. – 1979. – С. 68.

Стаття надійшла до редакції 02.12.02.