

УДК 621.319

О.О. Птащенко<sup>1</sup>, О.С. Артеменко<sup>1</sup>, Ф.О. Птащенко<sup>2</sup>  
**Вплив газового середовища на поверхневий струм в  
p–n гетероструктурах на основі GaAs–AlGaAs**

<sup>1</sup>Одеський національний університет, вул. Дворянська, 2, Одеса, 65100

<sup>2</sup>Одеська державна морська академія, вул. Дідріхсона, 8, Одеса, 65029

Досліджено вплив парів води, етилену, ацетону та аміаку на вольт–амперні характеристики прямого струму подвійних гетероструктур (ПГС) на основі AlGaAs–GaAs. Пари води, етилену і ацетону лише незначно змінювали поверхневий струм ПГС, в той час як пари аміаку значно збільшували його. Додатковий струм, обумовлений адсорбцією молекул NH<sub>3</sub>, лінійно залежав від напруги, що можна пояснити утворенням провідного поверхневого каналу в p-n переході. Вивчено кінетику зміни поверхневого струму при зміні газового середовища. Час наростання струму при поміщенні ПГС в атмосферу NH<sub>3</sub> складав 20-60с, а час спадання струму при наступному перенесенні ПГС в повітря – 2-8 с. Встановлено, що величина поверхневого струму лінійно залежить від парціального тиску парів NH<sub>3</sub> у діапазоні 10<sup>2</sup>-10<sup>4</sup> Па, що можна використати для створення сенсора даних парів.

**Ключові слова:** p-n перехід, поверхневий струм, провідний канал, атмосфера, аміак, вода, етилен, ацетон, сенсор, кінетика.

*Стаття постуила до редакції 14.05.2001; прийнята до друку 23.05.2001*

Поверхнева рекомбінація веде до підвищення порогового струму напівпровідникових лазерів [1–3], знижує параметри височастотних біполярних транзисторів [4], фотодіодів, сонячних елементів та інших приладів на основі напівпровідників A<sup>III</sup>B<sup>V</sup> [5,6]. Поверхнева рекомбінація у p-n переході зумовлює компоненту прямого струму, яка відповідає виразу [6]

$$I_s(V) = I_0 \exp(qV/n_t kT), \quad (1)$$

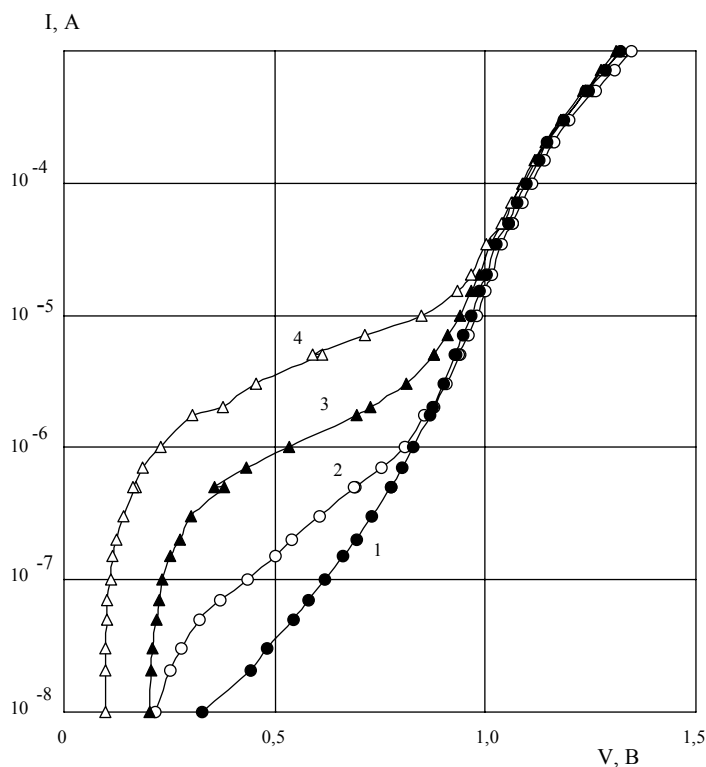
де I<sub>0</sub> – стала; q – заряд електрона; V – прикладена напруга; k – стала Больцмана; T – температура; n<sub>t</sub> – коефіцієнт неідеальності ВАХ. При певних умовах n<sub>t</sub> ≈ 2 [6].

Метою даної роботи було дослідження впливу складу навколишнього газового середовища на вказаний струм.

Вимірювання проводились на лазерних

подвійних гетероструктурах (ПГС) на основі AlGaAs–GaAs, описаних у попередніх роботах [7–9]. p-n- перехід знаходився між активною областю p-GaAs(Si) та емітером електронів n-GaAlAs(Te) з молярною часткою алюмінію x=0,1. Товщина активного шару складала 0,3 мкм.

Вольт-амперні характеристики (ВАХ) зразків вимірювались при температурах 80-300K у кріостаті, заповненому гелієм. Для вимірювання впливу парів різних речовин на ВАХ тримаць зі зразком поміщався у скляну посудину, частково заповнену відповідною рідиною: дистильованою водою; етиловим спиртом; ацетоном; водними розчином аміаку різних концентрацій.



**Рис. 1.** ВАХ гетероструктури, виміряні в повітрі (1) та в насичених парах аміаку над його водними розчинами різних концентрацій: 2 – 0,3%; 3 – 3%; 4 – 10 %.

На рис. 1 показані ВАХ прямого струму однієї з досліджених гетероструктур, яка знаходилася в повітрі (крива 1), та поміщеної в посудину з насиченими парами аміаку над його водними розчинами різних концентрацій. Крива 2 одержана при концентрації аміаку в розчині 0,3 %, криві 3 і 4 отримані при концентраціях  $\text{NH}_3$  в розчині 3 % і 10 %, відповідно.

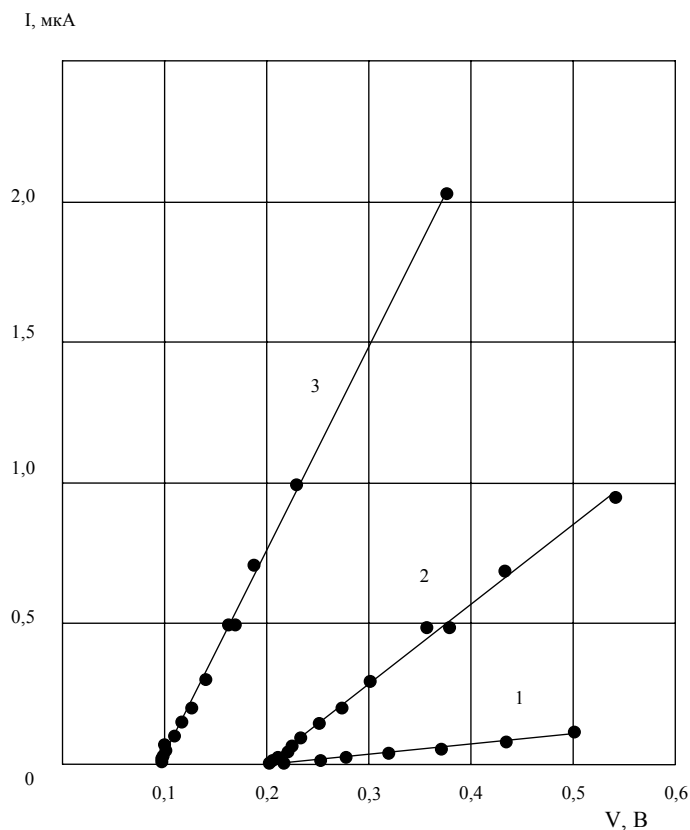
Крива 1 в області струмів  $I = 10^{-8} - 10^{-6}$  А має експоненціальну ділянку, яка відповідає формулі (1) з коефіцієнтом неідеальності  $n_t \approx 2$ . Зважаючи на результати роботи [2], бачимо, що струм в даній області ВАХ обумовлений поверхневою рекомбінацією носіїв заряду.

ВАХ ПГС, виміряні в повітрі, в насичених парах води, етилену та ацетону, практично збігаються. Це означає, що вказані пари не змінюють густину поверхневих станів в досліджених ПГС, а також не впливають на заповнення даних станів електронами. При цьому залишаються незмінними і перерізи захоплення електрона та дірки.

Причиною незмінності параметрів

поверхневих станів в парах указаних речовин може бути висока густина поверхневих станів на границі GaAs – власний оксид, а також захищеність поверхні GaAs шаром власного оксиду. Це відповідає оцінці [2,6]: густини поверхневих рівнів у GaAs:  $N_s > 10^{12} \text{ см}^{-2}$ . При цьому, якщо і виникають нові поверхневі стани при взаємодії GaAs з адсорбованими молекулами (іонами), то густина цих додаткових станів менша  $10^{12} \text{ см}^{-2}$ . Крім того, дані стани утворюються на зовнішній поверхні оксиду. Тому для рекомбінації через ці додаткові стани електрони та дірки повинні тунелювати крізь шар оксиду. Це веде до малого перерізу захоплення електронів та дірок даними поверхневими станами.

Порівняння кривих 1-4 на рис. 1 показує, що пари аміаку різко збільшують прямий струм гетероструктури при напрузі  $V < 1 \text{ В}$ . На рис. 2. наведені залежності додаткового поверхневого струму в гетероструктурі, обумовленого адсорбцією молекул аміаку, від напруги. При цьому зразок знаходився у насичених парах аміаку над його водними



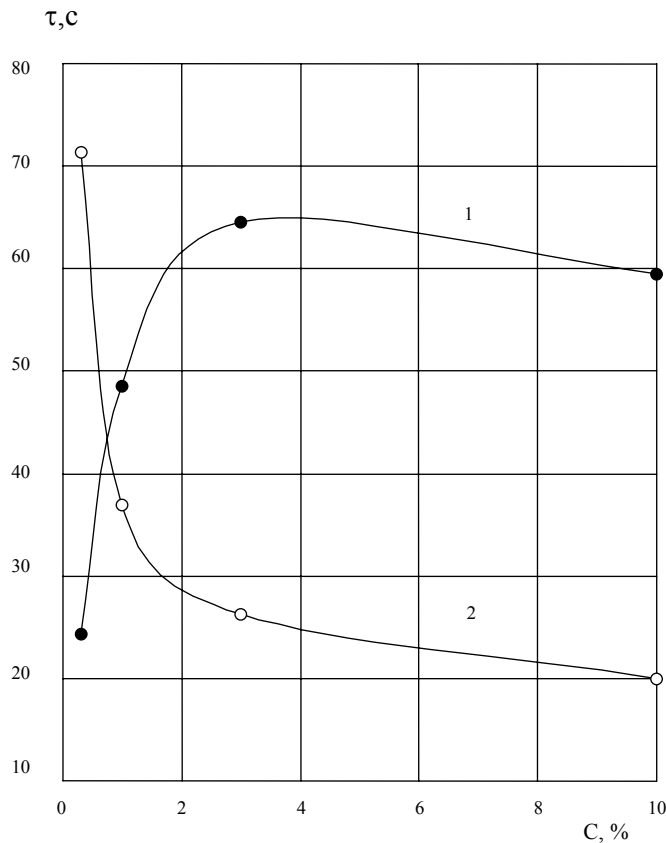
**Рис. 2.** Залежність додаткового поверхневого струму в гетероструктурі від напруги на p-n переході, що знаходився у насичених парах аміаку над його водними розчинами різних концентрацій: 1 – 0,3%; 2 – 3%; 3 – 10 %.

розчинами різних концентрацій. Крива 1 відповідає концентрації  $\text{NH}_3$  0,3 %, криві 2 і 3 – концентраціям 3 % і 10 %, відповідно. Із рис. 2 видно, що додатковий поверхневий струм лінійно залежить від напруги. Це значить, що на поверхні гетероструктури з'являється провідний шар. Молекули аміаку є донорами для GaAs. Тому можна припустити, що під дією електричного поля захоплених позитивних іонів аміаку в приповерхневому шарі p-n- гетероструктур утворюється провідний канал з електронною провідністю. Якщо прийняти, що рухливість електронів в провідному каналі така ж, як в об'ємі, то, виходячи з величини струму в даному каналі, для поверхневої густини вільних електронів у каналі маємо  $n_s \sim 10^8 \text{ см}^{-2}$ .

Вивчалась залежність нахилу ВАХ додаткового поверхневого струму, обумовленого адсорбцією молекул  $\text{NH}_3$ , від концентрації водного розчину аміаку. Дана залежність виявилася лінійною. У припущенні, що рухливість електронів у

приповерхневому шарі не залежить від їх концентрації, це свідчить, що поверхневий заряд лінійно залежить від парціального тиску аміаку.

Досліджена кінетика наростання поверхневого струму в ЛГС після введення зразка у атмосферу, що містила пари  $\text{NH}_3$ , та кінетика спадання струму після наступного перенесення зразка ЛГС в атмосферу, що не містила аміаку. Ефективний час наростання додаткового струму оцінювався як час підвищення струму до 63 % його стаціонарної величини. На рис. 3 крива 1 ілюструє залежність ефективного часу наростання надлишкового струму ПГС, пов'язаного з адсорбцією молекул  $\text{NH}_3$ , від концентрації аміаку у водному розчині. Час наростання струму зростав від 20 с до 60 с при підвищенні тиску парів аміаку від  $10^2$  до  $3 \cdot 10^3$  Па. Вивчалась також кінетика спадання надлишкового струму при перенесенні зразка із парів  $\text{NH}_3$  в атмосферу, що не містила парів аміаку.



**Рис.3.** Залежність ефективного часу наростання (1) та спадання (2) надлишкового струму від концентрації аміаку. Ординати кривої 2 збільшені в 10 разів.

Ефективний час спадання струму оцінювався як час зменшення надлишкового струму до 37 % його стаціонарної величини. Крива 2 на рис.3 показує час спадання струму як функцію концентрації аміаку в його водному розчині. Час спадання зменшувався від 8 с до 2 с при підвищенні парціального тиску парів аміаку в тому ж діапазоні.

Різницю між кінетикою наростання і спаду поверхневого струму якісно можна пояснити таким чином: для створення поверхневого каналу необхідно, щоб електрони перейшли (за рахунок тунелювання) з адсорбованих молекул  $\text{NH}_3$  у приповерхневий шар кристала. А руйнування провідного каналу відбувається внаслідок іншого процесу – інжекції дірок із р-області у даний шар та їх рекомбінації з електронами.

Проведені дослідження вольт-амперних

характеристик та кінетики поверхневих струмів у подвійних гетероструктурах на основі GaAs–GaAlAs дозволяють зробити такі висновки:

1. Насичені пари води, етилового спирту і ацетону практично не впливають на поверхневі струми досліджених гетероструктур.

2. Пари аміаку суттєво збільшують поверхневий струм гетероструктур. Даний ефект можна пояснити утворенням провідного каналу під дією електричного поля, яке створюють адсорбовані іони  $\text{NH}_3^+$ .

3. Зміна ВАХ гетероструктур при поміщенні зразків у атмосферу аміаку може бути використана для створення селективних газових сенсорів. Час відгуку р-п-гетероструктури на основі GaAs–GaAlAs як сенсора парів аміаку при кімнатній температурі не перевищує 100 с.

- [1] V.P. Gribkovskii. Injection Lasers // *Progr. Quant. Electr.*, **19**(1), pp.41-88 (1994).
- [2] A.A. Ptashchenko, F. A. Ptashchenko. Tunnel surface recombination in optoelectronic device modelling // *Proc. SPIE*, **3182**, pp.145-149 (1997).
- [3] A.A. Ptashchenko, F.A. Ptashchenko. Polarization effects in stressed AlGaAs laser heterostructures // *Abstracts of the First International School and Conference on Polarization Effects in Lasers and Spectroscopy. – Toronto (Canada)*. p. TU. 2:45 (1997).
- [4] M. Borgarino, R. Plana, S.L. Delage, F. Fantini, J. Graffenil. Influence of surface recombination on the burn – in effect in microwave GaInP/GaAs HBT's // *IEEE Transact. on Electron Devices*, **46**(1), pp.10-15 (1999).
- [5] P.E. Dodd, T.B. Stellwag, M.R. Melloch, M.S. Lundstrom. Surface and perimeter recombination in GaAs diodes: an experimental and theoretical investigation // *IEEE Transact. on Electron Devices*, **38**(6), pp.1253-1260 (1991).
- [6] B. Mazhari, H. Morkoc. Surface recombination in GaAs PN junction diode // *Journ. of Appl. Phys.*, **73**(11), pp.7509-7514 (1993).
- [7] A.A. Ptashchenko, M.V. Deych, N.V. Mironchenko, F.A. Ptashchenko. Polarization of the spontaneous radiation of stressed laser heterostructures // *Solid-State Electronics*, **37**(4), pp.1255-1258 (1994).
- [8] A.A. Ptashchenko, F.A. Ptashchenko. "Excess" polarization of the spontaneous emission in laser heterostructures // *Solid-State Electron*, **39**(10), pp.1495-1500 (1996).
- [9] A.A. Птащенко, Ф.А. Птащенко. Тонкая структура углового распределения излучения полупроводниковых лазеров // *Фотоэлектроника*, №8, сс.6-12 (1999).

A.A. Ptashchenko, O.S. Artemenko, F.A. Ptashchenko

## Effect of Gas Atmosphere on the Surface Current in p–n Heterostructures on GaAs–AlGaAs

<sup>1</sup>Odessa National University, 2, Dvoryanska Str., 65100, Odessa

<sup>2</sup>Odessa Sea State Academy, 8, Didrikhson Str., 65029, Odessa

The effect of vapours of water, ethylene, acetone and ammonia on I-V characteristics of the forward current of AlGaAs–GaAs double heterostructures (DHS) was investigated. The vapours of water, ethylene, and acetone did not remarkably change the surface current in DHS, while the ammonia vapours substantially increased it. The excess current caused by adsorption of NH<sub>3</sub> molecules linearly depends on the voltage, which can be explained by forming of a conductive surface channel in the p-n junction. The kinetics of the surface current at changing gas atmosphere was studied. The rise-time of the current after placing DHS in the NH<sub>3</sub> atmosphere ranged from 20 to 60s, while the decay time after subsequently replacing DHS in air was 2 – 60 s. It is established that the surface current linearly depends on the NH<sub>3</sub> partial pressure in the range of 10<sup>2</sup> – 10<sup>4</sup> Pa, which can be utilized for creating a sensor of this vapours.