

МІКРОСИСТЕМНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
MICROSYSTEMS TECHNOLOGIES

---

---

УДК 546.682.86:548+621.382.61

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СЕНСОРІВ  
УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ  
ГЕТЕРОСТРУКТУРИ GaSe-GaN**

*П. Й. Стахіра, З. А. Шандра, В. В. Черпак*

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра електронних приладів, вул. С.Бандери, 12, Львів, 79013  
тел.: 8-(032)-258-26-03  
e-mail:stakhira@polynet.lviv.ua

**Анотація**

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СЕНСОРІВ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО  
ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ ГЕТЕРОСТРУКТУРИ GaSe-GaN**

*П. Й. Стахіра, З. А. Шандра, В. В. Черпак*

Запропонований метод іонного розпилення GaAs в аміачній атмосфері, що відбувається в схрещених електричному і магнітному полях для формування нітридо-галієвих структур на підкладці GaSe, з метою створення сенсорів ультрафіолетового випромінювання. Проведено оптимізацію лінійних розмірів реактора з метою отримання однорідних плівок нітриду галію. Результати рентгенофазового аналізу гетероструктури GaSe-GaN вказують на присутність полікристалічної плівки гексагонального нітриду галію на поверхні зразків. Зокрема, на дифрактограмах присутня лінія (110), що відповідає гексагональному GaN. Вивчено катодолюмінесцентні властивості гетероструктури GaSe-GaN.

**Ключові слова:** гетероструктура, GaSe, GaN, рентгенофазовий аналіз, катодолюмінесценція

## The summary

### TECHNOLOGICAL ASPECTS OF ULTRAVIOLET RADIATION SENSORS FORMATION ON THE BASE OF HETEROSTRUCTURE GaSe-GaN

*P. Y. Stakhira, Z. A. Shandra, V. V. Cherpak*

The technique of GaAs ionic sputtering in the ammonia environment using crossed electrical and magnetic fields for gallium nitride structures formation on the GaSe substrates, with an aim to create sensors of ultraviolet radiation, is proposed. The optimization of reactor linear dimensions resulting in homogenous gallium nitride films production have been performed. The results of X-ray phase analysis of GaSe GaN heterostructures revealed polycrystalline hexagonal gallium nitride film on the samples surface. In particular the (110) plane peak is present at the patterns which corresponds to hexagonal GaN. The cathodoluminescent properties of GaSe GaN heterostructures have been studied.

**Keywords:** Heterostructure, GaSe, GaN, X-ray diffraction measurements, cathodoluminescence.

## Аннотация

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СЕНСОРОВ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ GaSe-GaN

*П. Й. Стахира, З. А. Шандра, В. В. Черпак*

Предложен метод ионного распыления GaAs в атмосфере аммиака, осуществляющийся в скрещенных электрическом и магнитном полях для формирования нитридо-галлиевых структур на подложке GaSe, с целью формирования сенсоров ультрафиолетового излучения. Проведена оптимизация линейных размеров реактора с целью получения однородных пленок нитрида галлия. Результаты рентгенофазового анализа гетероструктуры GaSe GaN указывают на присутствие поликристаллической пленки гексагонального нитрида галлия на поверхности образцов. В частности, на дифрактограммах присутствует линия (110), соответствующая гексагональному GaN. Изучены катодолуминесцентные свойства гетероструктуры GaSe GaN.

**Ключевые слова:** гетероструктура, GaSe, GaN, рентгенофазовый анализ, катодолуминесценция.

## Вступ

За останні десятиріччя фотоелектронні приймачі ультрафіолетового випромінювання на основі нітриду галію (GaN) і гетероструктур на його основі набули широкого розповсюдження в медицині, біології та військовій техніці. [1]. Інтерес до цих сполук зумовлений тим, що нітриди є широкозонними напівпровідниками з прямою забороненою зоною і володіють високою порівняно з іншими напівпровідниками температурною і радіаційною стійкістю.

Основними проблемами створення сенсорів на основі III-нітридних гетероструктур є значні технологічні труднощі в отриманні високоякісного матеріалу. Ультрафіолетові фоточутливі структури на основі цих сполук в основному

отримують, використовуючи високопрецизійні та дорогі методи, такі як молекулярно-променева епітаксія та металоорганічний синтез [2]. Однак обмежений доступ до подібних технологій, а також відносно висока температура росту плівок при використанні цих методів приводять до утворення значних концентрацій власних дефектів кристалічної ґратки і, як наслідок, до високої темної провідності [3], що спонукає до розробки альтернативних низькотемпературних, відносно недорогих методів формування структур на основі III-нітридів.

Таким, на нашу думку, може бути розроблений нами спосіб нанесення плівки GaN методом іонного розпилення арсеніду галію (GaAs) в розряді аміаку в скрещених електричному і магнітному полі.

Метою даної роботи є оптимізація лінійних розмірів реактора для отримання мінімального розкиду за товщиною плівки GaN на поверхні селеніду галію GaSe, а також вивчення гетероструктури на основі GaSe-GaN.

### Пристрій розпилення

Зі всіх систем розпилювальних пристроїв була вибрана система розпилення в схрещених електричному та магнітному полях. Ця система дозволяла отримувати плівки при тиску порядку 0,1-1,3 Па і за відсутності впливу плазми на підкладку.

Найпростішим пристроєм, що використовує розряд у схрещених електричному і магнітному полях, є комірка Пеннінга. Комірка Пеннінга (рис.1) містить два прямокутних сталевих катода розміром 26x30 мм, на внутрішній стороні яких наклеєні пластини GaAs (100) (n-типу провідності  $n=10^{16} \text{ см}^{-3}$ ) і П — подібний мідний анод завдовжки 25 мм, під яким розташована підкладка. Магнітне поле створювалось двома постійними самарій-кобальтовими магнітами, індукція магнітного поля на поверхні катодів  $B = 0,26 \text{ Т}$ . Анод набрався з ізольованих секцій, так що на деякі секції можна було подавати негативний потенціал. В експерименті був використаний анод з п'яти секцій, дві секції під додатнім потенціалом (власне анод) і три секції, на які також наклеюється GaAs, на які можна подати потенціал катода. Вертикальний розріз комірки з позначенням потоків розпиленого матеріалу подано на рис.2. Тут  $a$  — розмір катодів;  $b$  — віддаль підкладки від катодів;  $h$  — відстань між катодами;  $c$  — ширина анодної секції;  $z$  — віддаль першої секції від катода.

Нагрівач дозволяв нагрівати підкладку до температури 650 К. Розміри пристрою сконструйовані для встановлення під ковпак вакуумної установки УВР-3М.

Для отримання плівок рівномірної товщини був проведений аналіз впливу розмірів пристрою розпилення на товщину плівок вдовж серединної лінії між катодами за виразами[4]:

$$F1 = x^2 \cdot \int_0^a \frac{1}{\sqrt{[x^2 + (h+b)^2]^3}} dh ;$$

$$F5 = (H-x)^2 \cdot \int_0^a \frac{1}{\sqrt{[(H-x)^2 + (h+b)^2]^3}} dh ;$$

$$F_n = (a+b)^2 \cdot \int_0^{c_n} \frac{1}{\sqrt{[(a+b)^2 + (x-z_n-c_n)^2]^3}} dh ,$$

де  $F1, F5$  — відносні потоки розпиленого матеріалу з катодів;  $F2, F3, F4$  — відносні потоки розпиленого матеріалу з секцій анода.

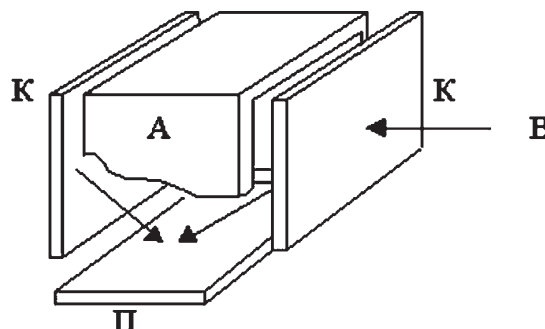


Рис.1. Комірка Пеннінга: А — анод; К — катода; П — підкладка; В — магнітне поле.

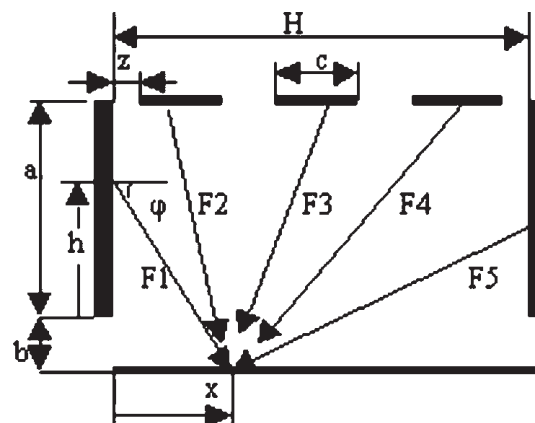


Рис.2. Вертикальний розріз комірки Пеннінга.

Результати розрахунків з використанням системи Mathcad подано на рис.3.

### Експериментальні результати та дискусія

Вибір GaSe як підкладки, на якій формувалася плівка GaN, зумовлений особливістю кристалічної будови GaSe, що не вимагає прецизійної механічної та хімічної обробки поверхні і виявляє підвищену інертність до абсорбції сторонніх атомів чи молекул. Відсутність обірваних зв'язків на поверхні цих матеріалів забезпечує дуже малу швидкість поверхневої рекомбінації. Крім того, перевага GaSe як під-

кладки зумовлена тим, що її шарувата структура дає можливість отримувати гетероструктури задовільної якості з компонент, які характеризуються різними значеннями сталих решітки та коефіцієнтів розширення.

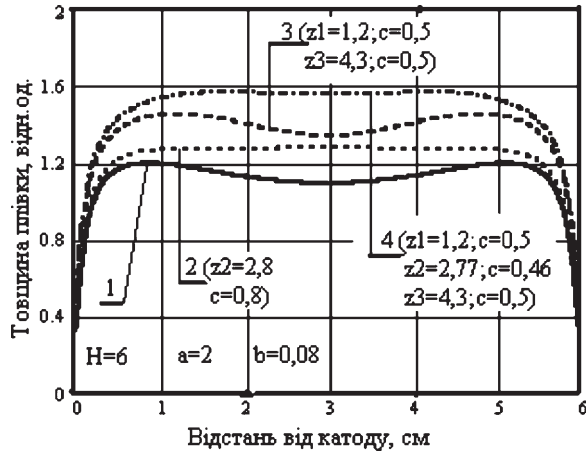


Рис. 3. Вплив анодних секцій на рівномірність плівок: всі секції відключені; 2 — підключена середня секція; 3 — підключені крайні секції; 4 — підключені всі секції.

GaSe підкладки виготовлялись сколюванням пластин у напрямку кристалічної осі С (001) монокристалічного злитка GaSe р-типу провідності, вирощеного за методом Бріджмена-Стокса. Плівки GaN отримувалися катодним розпиленням GaAs у схрещених електричному і магнітному полях, постачальником атомарного азоту був розряд в атмосфері аміаку. Дослідження спектру горіння електричного розряду при напрузі на аноді 500-800В і тиску 1,3Па показали наявність там як атомарного азоту, так і радикалів виду  $NH^-$ ,  $NH_2^-$ , а також молекулярного азоту. Частка атомарного азоту залежить від режиму горіння розряду і типу розрядної системи.

Дослідження структур плівок GaN, отриманих на підкладці з GaSe, проводили з використанням дифрактометра DRON-3 з Cu- $\alpha$  випромінюванням в діапазоні  $20^\circ < 2\theta < 70^\circ$  з кроком сканування  $0,05^\circ$ . На рис.4. показано рентгенограму структури GaSe– GaN. Використовуючи дифрактограми для чистих GaSe і GaN [5], можна стверджувати, що спектр містить (002n) рефлексів GaSe (результат орієнтації підкладки) і (110) рефлекс гексагонального GaN. Ця лінія не є найбільш інтенсивною лінією GaN [5], однак рефлeksi для інших площин не спостерігаються. Крім того, існує пік  $2\theta=28.8^\circ$ , найбільш близький до рефлексу  $Ga_2Se_3$  [6].

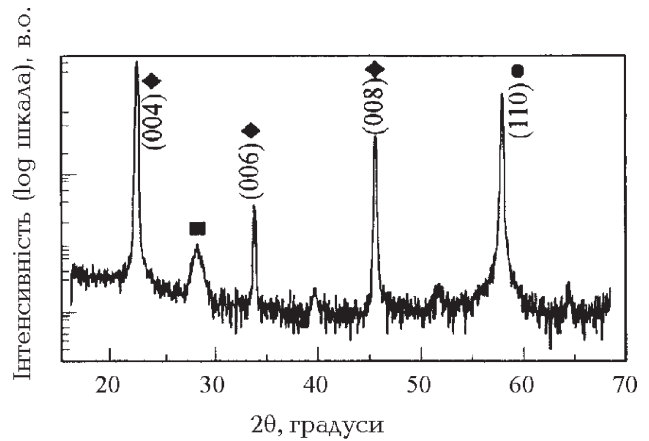


Рис.4. Рентгенівська дифрактограма структури GaSe– GaN: (♦) —  $\epsilon$ -GaSe; (●) — GaN.

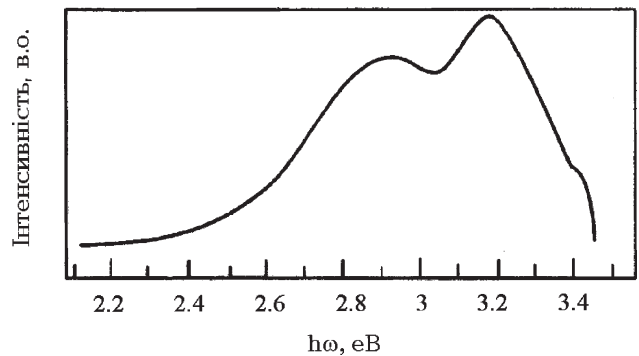


Рис.5. Спектри катодолюмінесценції плівки GaN на підкладці GaSe, зняті при температурі 77 К.

Ми вивчали також люмінесцентні властивості гетероструктури. Катодолюмінесценція зразків збуджувалася при температурі рідкого азоту (77 К) електронним імпульсом тривалістю 3  $\mu$ s з густиною струму електронного променя 20  $mA/cm^2$  і енергією 9 KeВ. На рис. 5 показані спектри катодолюмінесценції, зняті при температурі 77 К. Смуга випромінювання становила 3,6 eВ, що пояснюється міжзонною рекомбінацією в GaN. Катодолюмінесценція виникала в хвості короткохвильової області 3,2 KeВ, що зумовлено рекомбінацією донорно-акцепторних пар на власних дефектах GaN [7]. Природа голубої люмінесценції в околі 2,9...3,0 eВ є аналогічною.

### Висновки

Плазмова нітридизація GaSe є нерівноважним процесом, що приводить до утворення як GaN, так і  $Ga_2Se_3$  фази. Люмінесцентні властивості гетероструктури показали смуги свічен-

ня в області 3-3.4 eV, що пов'язуються з власним свіченням нітриду галію. Оптимізація методу іонного розпилення Ga в аміачній атмосфері у схрещених електричному і магнітному полях дає можливість отримати високоефективні ультрафіолетові фоточутливі структури.

### Література

1. С.В. Осинский, В.Г. Вербицкий, В.В. Денисенко. Ультрафиолетовая фоточувствительность НЕМТ-структур на III-нитридах//Proc. of III International Conference on Optoelectronic Information Technologies, Vinnytsia, Ukraine, 27-28 April, 2005. — P.202.
2. K.Kornitzer, T.Ebner, C Kirchuer, High-resolution photoluminescence and reflectance spectra of homoepitaxial GaN layers// Phys. Stat. Sol (b). — 1999. — Vol. 216. — P.5-9.
3. В.Д.Боднар, В.І. Васильків, І.Й. Кухарський, Б.О. Сімків. Вплив власних дефектів на електрофізичні властивості плівок нітриду галію// Журнал фізичних досліджень, 1999. — Т.3. — №4. — С-498-501.
4. P. Stakhira, Z. Shandra. Studies of potentials distribution in Pennih's cell with sectional anode// Proc. of 5-nd International Symposium on Microelectronic Technology and Microsystems. — 2001. — Pitesti, Romania. — P.39-45.
5. JCPDS-ISCDD, Powder diffraction files CD-ROM, 1995, 37-931, 2-1078.
6. V.P. Savchyn, P.J. Stakhira, N.N. Berchenko. Thermal and plasma nitridation of GaSe crystal// Vacuum. — 2002. — 67. — P.69-73.
7. Ching-Wu Wang, Bo-Skao Soong and etc. Effects of gamma-ray irradiation on the microstrucural and luminescent properties of radio-frequency magnetron-sputtered GaN thin films// Journal of Applied Physics. — 2000. — Vol. 88, №11. — P.6355-6358.