ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА
Т. 7, № 3 (2006) С. 461-467

PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE
V. 7, № 3 (2006) P. 461-467

УДК: 621.315. 592

ISSN 1729-4428

Л.О. Матвеєва[1], О.Ю. Колядіна[1], І.М. Матіюк[1], О.М. Міщук[2]

Структурна досконалість і електронні параметри сульфідованої поверхні арсеніду галію

[1]Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, пр. Науки, 45, м. Київ, 03028, Україна, E-mail: matveeva@isp.kiev.ua
[2]Національна академія наук України

З використанням модуляційної (електровідбивання) і Оже-спектроскопії, електронографії встановлено, що при хімічному сульфідуванні поверхні GaAs в розчині $Na_2S \times 9H_2O$ на ній з'являється плівка Ga_2S_3, збільшується вигин зон, а в спектрах електровідбивання спостерігаються зміщення і розщеплення піків та високоенергетичні осциляції. Результати пояснюються виникненням внутрішніх механічних напружень в гетеросистемі Ga_2S_3 – GaAs, вбудованого електричного поля та перебудовою поверхневих електронних станів на межі поділу плівка-підкладка, що приводить до поверхневого квантування носіїв заряду.

Ключові слова: арсенід галію, електровідбивання, сульфідна пасивація, електронні параметри, механічні напруження.

Стаття поступила до редакції 07.04.2006; прийнята до друку 15.06.2006.

Вступ

Арсенід галію завдяки оптичним та електрофізичним властивостям є другим після кремнію матеріалом, який широко використовується в напівпровідниковій електроніці. На його основі створюють світловипромінювачі і фотоприймачі, діоди Гана і сонячні батареї. Характеристики приладів суттєво залежать від стану поверхні напівпровідника, або межі поділу, якщо він є підкладинкою. Приповерхневі шари є основною робочою областю в приладах нового покоління. В порівнянні з об'ємом в них відбуваються зміни фізичних процесів внаслідок наявності поверхневого потенціалу, зміни структурної досконалості, зонної структури, рухливості носіїв заряду, енергетичного часу їх релаксації [1, 2].

Для управління структурною досконалістю і електронними властивостями поверхні GaAs використовується її електронна пасивація хлором [3], Sb, Se або сіркою [4-6]. Найкращі результати дає сульфідна пасивація. Наприклад, в [7] сульфідні пасивуючі покриття поверхні GaAs(100) були використані на різних стадіях підготовки підкладинок для виготовлення гетероструктур методом молекулярно-пучкової епітаксії з метою зниження температури передепітаксійного відпалу підкладки і кількості дефектів на гетеромежі. Сульфідування поверхні напівпровідників A_3B_5 змінює поверхневий потенціал [4, 8], зменшує густину поверхневих електронних станів [5, 9] і швидкість поверхневої рекомбінації збуджених світлом носіїв заряду [4], збільшує інтенсивність фотолюмінесценції [4, 8] і катодолюмінісценції [10].

В роботах [4, 8] було використано метод модуляційної спектроскопії фотовідбивання світла для співставлення реальної та сульфідованої поверхні GaAs. В той же час метод модуляційної спектроскопії електровідбивання (ЕВ) більш чутливий до особливостей енергетичної зонної структури напівпровідника в порівнянні з фотовідбиванням і дозволяє визначити із форми і спектрального положення кривих більше електронних параметрів, в тому числі інверсію поверхневої провідності, час енергетичної релаксації носіїв заряду, їх рухливість [11-13]. Метод ЕВ дозволяє виявити прямі оптичні переходи в особливих точках зони Бріллюена. Обчислені із спектрів ЕВ феноменологічні параметри їх уширення є інтегральною характеристикою розсіяння збуджених світлом носіїв заряду на поверхні зразка для конкретного переходу. Тому зміщення його енергії, розщеплення піків, величина розсіяння носіїв заряду є чутливими індикаторами стану досліджуваної поверхні стосовно її дефектності, механічних напружень, наявності адсорбованих молекул, електронної пасивації, квантово-розмірного ефекту.

Метою даної роботи було встановлення структурної досконалості і електронних параметрів сульфідованої поверхні арсеніда галію в порівнянні з реальною (не сульфідованою) з використанням модуляційної спектроскопії електровідбивання.

I. Методика експерименту

Досліджувались зразки *n*-GaAs (100) з концентрацією електронів $7\cdot10^{17}$ см$^{-3}$ розміром 0,9×0,6×0,05 см до і після сульфідування. Для зняття природного окислу з реальної поверхні GaAs зразки перед сульфідуванням були витримані впродовж 10 хв в стандартному травнику H_2SO_4:H_2O_2:H_2O = 3:1:2, після чого промивались дистильованою водою. Сульфідування поверхні проводилось шляхом подальшої обробки зразків в насиченому розчині $Na_2S\cdot9H_2O$ впродовж 5 хвилин. Оскільки сульфідування відбувається в результаті фотоелектрохімічних реакцій (розриваються Ga—As зв'язки і створюються Ga—S), то використовувалась підсвітка лампою розжарювання потужністю 500 Вт. Після сульфідної обробки зразки також промивали дистильованою водою і сушили в потоці теплого повітря.

Структурну досконалість реальної і сульфідованої поверхні оцінювали по електронограмам, отриманим на електронографі ЭМР-100 з прискорюючою напругою 75 кеВ. Елементний склад пасивованих поверхонь визначали із Оже-спектрів, отриманих в мікроаналізаторі JEOL JAMP-10S з енергією електронів 10 кеВ при модулюючій напрузі 3 В, а також із спектрів електровідбивання. Їх реєстрація була проведена на комп'ютеризованому устаткуванні з використанням електролітичної методики для прикладання модулюючої напруги. Вимірювання проводились в кварцевій електролітичній комірці з використанням електроліту 0,1 нормального водного розчину KCl з платиновим протиелектродом. Поверхневий потенціал зразка контролювався потенціометром ПИ-50-1.1 відносно хлорсрібного електрода порівняння або по мінімуму сигналу електровідбивання при прикладанні постійного зміщення, що відповідає потенціалу плоских зон.

Сигнал ЕВ реєструвався фотопомножувачем, вимірювальна схема включала також вузькополосний підсилювач з синхронним детектором на частоті модуляції 1, 19 кГц. Спектральна роздільна здатність становила 3 меВ, порогова чутливість виміру сигналу 10^{-5}. Виміри проводились при кімнатній температурі в слабопольовому режимі, що дозволяло використовувати трьохточковий метод, запропонований Аспнесом [14] для розрахунку енергії оптичного переходу E_g і феноменологічного параметру уширення Γ для кожного переходу. Слабопольовий режим визначався із діапазону лінійної залежності сигналу ЕВ від модулюючої напруги.

II. Результати і їх обговорення

Аналіз електронної дифракційної картини поверхні вихідних і сульфідованих зразків GaAs показав відмінність в їх кристалічній структурі. На електронограмах вихідної поверхні спостерігались точкові рефлекси, що відповідає монокристалічній структурі. Електронограми сульфідованої поверхні містили кільця, що вказувало на наявність полікристалічної структури в пасивуючому покритті. Результати дослідження KLL та LVV Оже-спектрів вказували на присутність галію і сірки, що не суперечить [15, 16], де було встановлено наявність на GaAs(100) – S поверхні впорядкованих Ga – S – Ga мостикових зв'язків в [001] азимуті. Елементний склад поверхні пасивованих зразків вказував на існування Ga_xS_y шару. З використанням in situ пошарового травлення поверхні іонами Ar^+ з енергією 3 кеВ, густиною струму 1-2 мА/мм^2 і діаметром плями 100 мкм було встановлено, що товщина шару збільшувалася з тривалістю часу сульфідування GaAs і становила від моношарового покриття до 0,3 мкм. При цьому атомів As в ньому не було виявлено, тобто при пасивації поверхні GaAs(100) відбувалося гетеровалентне заміщення атомів As в аніонній підгратці підкладки на сірку, що підтверджує результат, отриманий в [17].

Дослідження реальної і сульфідованої поверхонь GaAs методом ЕВ проведені в спектральній області E_0, $E_0+\Delta_0$ переходів (1,35... 1,9 еВ), а також E_1, $E_1+\Delta_1$ переходів (2,45... 3,3 еВ). Оптичні переходи E_0 і $E_0+\Delta_0$ відповідають переходам електронів із максимуму виродженої валентної зони ($\Gamma_{8\upsilon}$) і спін-орбітально відщепленої зони ($\Gamma_{7\upsilon}$) в найнижчу точку зони провідності в центрі зони Бріллюена (Γ_{6c}). Переходи E_1 і $E_1+\Delta_1$ відповідають переходам всередині зони Бріллюена в напрямку хвильового вектора [111] із зони важких (E_1 перехід) і легких ($E_1+\Delta_1$ перехід) дірок в зону провідності.

На рис. 1 наведені спектри E_0, $E_0+\Delta_0$ переходів

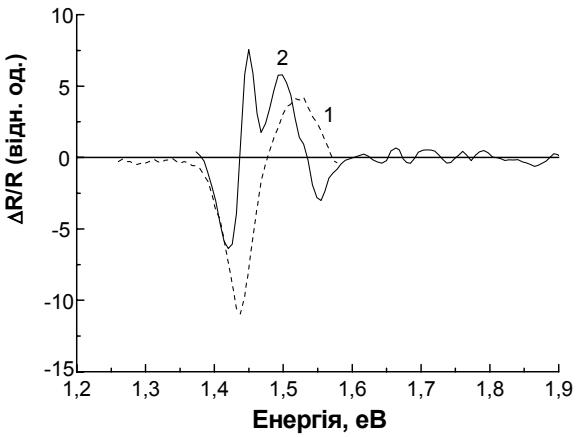

Рис. 1. Спектри електровідбивання вихідної (1) і сульфідованої (2) поверхонь GaAs в області E_0, $E_0+\Delta_0$ переходів.

для вихідної (крива 1) і сульфідованої (крива 2) поверхонь. На рис. 2 представлені спектри ЕВ в області E_1, $E_1+\Delta_1$ переходів для відповідних поверхонь. Зауважимо, що на сульфідованій поверхні GaAs, на відміну від реальної, крім E_1 і $E_1+\Delta_1$ переходів вперше спостерігався додатковий сигнал ЕВ в спектральній області 2,5... 2,65 еВ, який можна

пояснити появою пасивуючого покриття. Енергія додаткового переходу, обчислена, трьохточковим

Таблиця 1

Електронні параметри реальної і сульфідованої поверхонь GaAs

Перехід	Електронні параметри					
	Реальна поверхня			Сульфідована поверхня		
	E_g, еВ	Γ, меВ	τ, 10^{-14} с	E_g, еВ	Γ, меВ	τ, 10^{-14} с
E_0	1,451	80	0,82	1,437	30	2,19
E_1	2,925	78	0,84	2,932	74	0,89

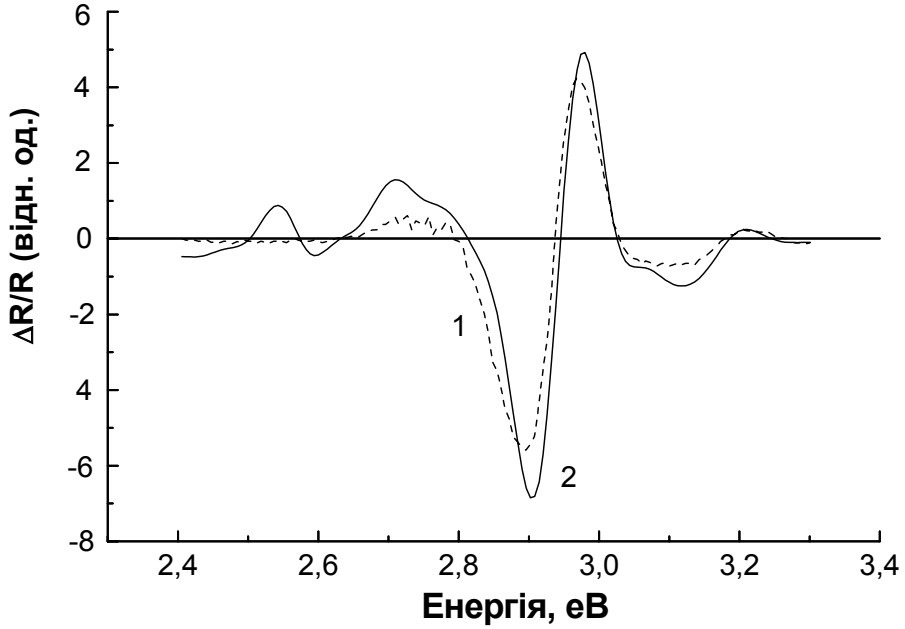

Рис. 2. Спектри електровідбивання вихідної (1) і сульфідованої (2) поверхонь GaAs в області E_1, $E_1+\Delta_1$ переходів.

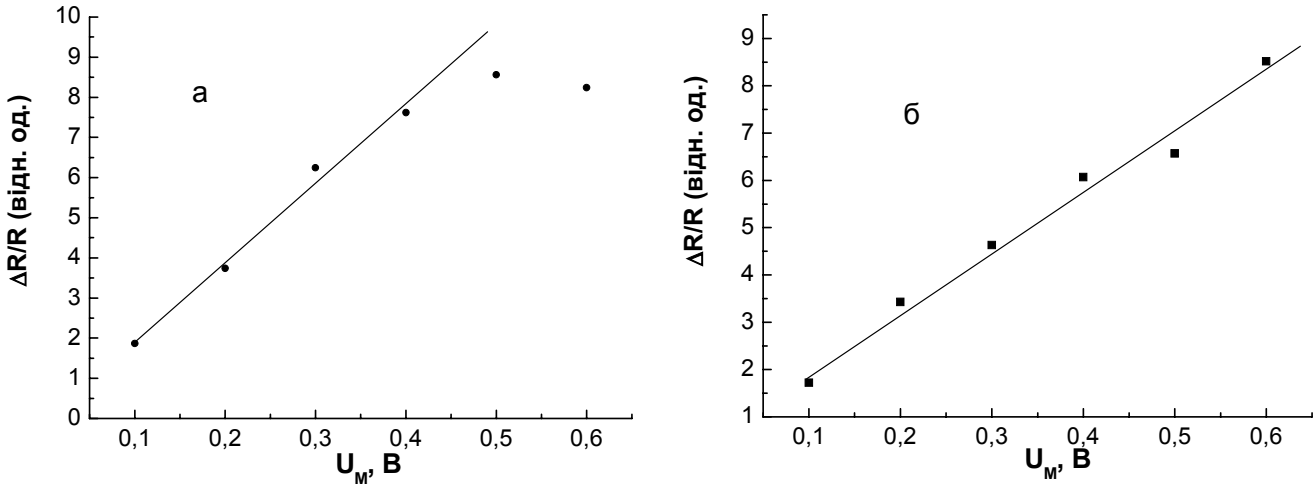

Рис. 3. Залежність максимуму сигналу ЕВ вихідної поверхні GaAs (а) і сульфідованої (б) від модулюючої напруги в області E_0 – переходу.

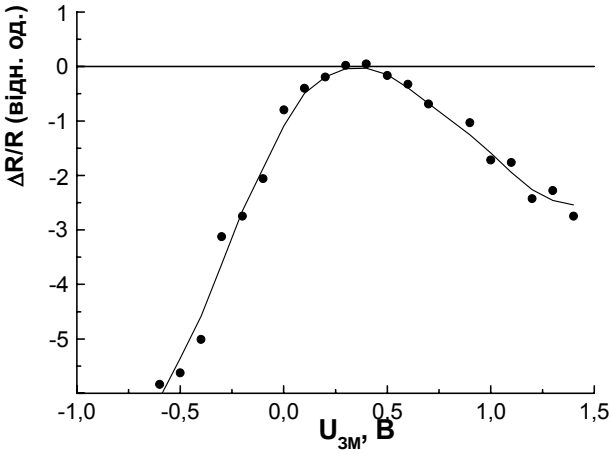

Рис. 4. Залежність максимуму сигналу ЕВ вихідної поверхні GaAs від постійного зміщення.

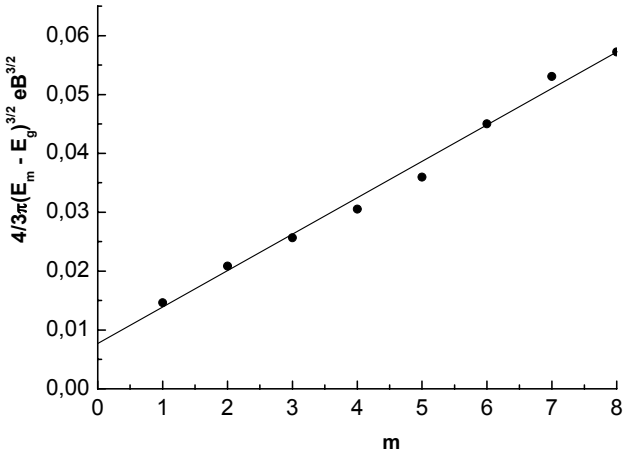

Рис. 5. Залежність $\frac{4}{3\pi}(\mathrm{E}-\mathrm{E}_g)^{3/2}$ від номеру осциляції m.

методом (2,552 еВ), відповідає ширині забороненої зони Ga_2S_3 [18]. З рис. 2 видно, що пасивуюче покриття має *p*-тип провідності (перша осциляція додатня). Значення параметру *Г* складає 55 меВ.

При визначенні області справедливості трьохточкового методу Аспнеса із залежності інтенсивності максимуму сигналу ЕВ від модулюючої напруги було встановлено, що лінійність сигналу для вихідної поверхні GaAs зберігається до модулюючої напруги $U_м = 0{,}4$ В (рис. 3, а). Для сульфідованої поверхні вона збільшувалась до 0,6 В (рис. 3, б). Це свідчить про різну товщину виснаженого шару на цих поверхнях. На рис. 4 представлена залежність величини сигналу ЕВ першого піку в спектрі для переходу E_0 вихідної поверхні GaAs від постійного зміщення. Видно, що мінімальний сигнал ЕВ спостерігається при зміщенні +0,35 еВ, що відповідає потенціалу плоских зон. Відповідно поверхневий потенціал від'ємний (-0,35 еВ) і близький по абсолютному значенню до максимальної модулюючої напруги (0,4 В), при якій виконується лінійний закон зростання величини сигналу (див. рис. 3, а). Знак потенціалу плоских зон відповідає полярності спектру на рис. 1 і 2 (зони загнуті вгору).

Значення електронних параметрів реальної і сульфідованої поверхонь GaAs, визначені із спектрів ЕВ для різних переходів, зведені в таблицю.

Зменшення параметрів уширення *Г* і відповідне збільшення часу енергетичної релаксації збуджених світлом носіїв заряду τ ($\tau = \frac{\hbar}{}$) для різних переходів свідчить про електронну пасивацію поверхні в GaAs після її сульфідації. Після сульфідування поверхні GaAs значення енергії переходу E_0 змістилось в область менших енергій на 14 меВ (див. таб. 1). Величина внутрішніх механічних напружень *P*, визначена з врахуванням коефіцієнта зміни енергії переходу $\frac{\partial E_0}{\partial P} = 10{,}8\cdot 10^{-2}$ еВ/ГПа [19], склала $1{,}3\cdot 10^8$ Па, а для E_1 переходу було отримано значення $1{,}35\cdot 10^8$ Па при $\frac{\partial E_1}{\partial P} = 5{,}2\cdot 10^{-2}$ еВ/ГПа [20]. Очевидно, що величини внутрішніх механічних напружень, отримані із спектрів ЕВ різних типів переходів, добре узгоджуються.

В порівнянні із реальною поверхнею для сульфідованої в спектрах ЕВ спостерігаються ще такі особливості: піки в спектрах розщеплюються, а в його високоенергетичній області спостерігаються знакозмінні осциляції сигналу (рис. 1, крива 2). Розщеплення піків для E_0 переходів може відбуватися із-за зняття виродження в валентній зоні під впливом механічних напружень. Але спостережуваний дублетний характер піків для E_1-переходів ніяк не можна пояснити наявністю внутрішніх механічних напружень. Розщеплення піків може бути обумовлене поверхневим квантуванням енергії носіїв заряду після хімічної обробки GaAs, як це спостерігалось нами раніше для кремнію [12]. Розмірне поверхневе квантування відбувається в інверсійному збагаченому дірками приповерхневому шарі. Після сульфідування на межі поділу між Ga_2S_3 і GaAs утворилася квантова яма, тобто латеральний рух електронів вільний, а в напрямку, перпендикулярному межі поділу, система заквантована. Поява двомірних дірок в валентній зоні приводить до того, що крім переходів E_0 і E_1 для основної зони мають місце також оптичні переходи між зоною провідності і першим квантованим рівнем в двумірній квантовій ямі ($E_0 + e_1$, $E_1 + e_1$). Наявність двох переходів з енергіями E_g і $E_g + e_1$ викликає розщеплення піків в спектрі електровідбивання як для E_0 так і для E_1-переходів.

Енергія електронного переходу в квантово-розмірній системі для першого рівня квантування e_1 визначається виразом

$$\mathrm{E_g} + e_1 = \mathrm{E_g} + \frac{\hbar^2\pi^2}{2\mathrm{m}^*\mathrm{L}^2}, \qquad (1)$$

де $\hbar$ – постійна Планка, m* - між зонна ефективна маса, L – ширина квантової ями. По експериментально визначеному значенню

розщеплення піків електровідбивання для переходу E_0 отримано значення e_1 = 73 меВ, а для переходу E_1 – 74 меВ (міжзонна ефективна маса $m^* = 0{,}057m_0$ для E_0-переходу і $0{,}053m_0$ для E_1-переходу [21]). Ширина квантової ями, обчислена із (1), становила 9,5 нм для E_0 переходу і 9,8 нм для переходу E_1.

Величина Γ є дисипативною частиною власної енергії електрона, збудженого в зону провідності. Вона визначається ступенем розсіяння його енергії при оптичному переході. Наявність квантової ями на сульфідованій поверхні GaAs змінює феноменологічний параметр розсіювання і час енергетичної релаксації носіїв заряду в порівняння з більш дефектною вихідною поверхнею GaAs. Значення Γ для $E_0 + e_1$ переходу становило 75 меВ, а час енергетичної релаксації $\tau = 0{,}88\cdot10^{-14}$ с. Збільшення τ приводить до зростання довжини вільного пробігу носіїв заряду і, відповідно, до зростання їх рухливості μ ($\Gamma = \frac{\hbar e}{m^*\mu}$).

Появу високоенергетичних осциляцій в спектрі ЕВ GaAs після сульфідування його поверхні (рис. 1, крива 2) можна пояснити наявністю осциляцій Франца-Келдиша у внутрішньому електричному полі [13]. Для екстремумів цих осциляцій виконується умова:

$$m\pi = \varphi + \frac{4}{3}\left(\frac{E_m - E_g}{\hbar\theta}\right)^{3/2}, \qquad (2)$$

де m – номер осциляції, E_m – її енергетичне положення в максимумі, φ – фазовий фактор, $\hbar\theta$ – електрооптична енергія уширення спектру під дією електричного поля.

На Рис. 5 приведена експериментальна залежність $4/3\pi(E - E_g)^{3/2}$ від номеру осциляції для сульфідованої поверхні GaAs в області переходу, пов'язаного з наявністю квантованого рівня. Енергія переходу $E_g + e_1$, визначена трьохточковим методом, становила 1,51 еВ. Нахил прямої $(\hbar\theta)^{3/2} = 0{,}62\cdot10^{-2}$ $еВ^{3/2}$, з нього обчислювався параметр електрооптичного уширення спектру $\hbar\theta$ = 34 меВ. Його величина пов'язана з поверхневим електричним полем F_s наступним чином [11]:

$$(\hbar\theta)^3 = e^2\hbar^2F_s^2 / 2m^*, \qquad (3)$$

звідки

$$F_S = \left[2m^*(\hbar\theta)^3\right]^{1/2} / e^2\hbar^2 = 7{,}6\cdot10^4 \text{ В/м}. \qquad (4)$$

Велика кількість осциляцій в спектрі ЕВ (рис. 1, крива 2) і виконання умови (2) свідчить про однорідність вбудованого електричного поля, що може бути обумовлено варизонністю сульфідного покриття Ga_xS_y на межі поділу з GaAs.

Значення фазового фактору φ, визначене по перетину залежності (2) з віссю абсцис, становило $\varphi = -\pi$. Зауважимо, що в області $E_0 + e_1$ переходу спостерігається інверсія полярності сигналу ЕВ, пов'язана з наявністю квантованого рівня для дірок GaAs, в той час як для переходу E_0 полярність спектру не змінювалась при даних умовах сульфідування.

Величина електрооптичної енергії була обчислена також по відомому значенню φ і періоду m-ї осциляції ΔE_m з використанням виразу [13]

$$\Delta E_m = E_m - E_{m_1} = \left[\left(\frac{3}{4}(m\pi - \varphi)\right)^{2/3} - \left(\frac{3}{4}(m-1)\pi - \varphi\right)^{2/3}\right] \times \hbar\theta. \qquad (5)$$

В таблиці 2 приведені ΔE_m і $\hbar\theta$, обчислені з використанням виразу (5).

Таблиця 2

Значення ΔE_m і $\hbar\theta$ для сульфідованої поверхні GaAs в області E_0 переходу

m	E_m, еВ	ΔE_m, еВ	$\hbar\theta$, еВ
1	1,616	0,106	0,037
2	1,644	0,028	0,032
3	1,664	0,020	0,026
4	1,683	0,019	0,027
5	1,703	0,020	0,030
6	1,734	0,034	0,053
7	1,760	0,023	0,038
8	1,773	0,013	0,023

Середнє значення $\hbar\theta$, згідно даних таб. 2, становило 33,3 меВ, що добре узгоджується із значенням $\hbar\theta$ = 34 меВ, визначеним із нахилу прямої на рис. 5. Величина вбудованого електричного поля при $\hbar\theta$ = 33,3 меВ, згідно виразу 4, становила $7{,}45\cdot10^4$ В/см, що також узгоджується з отриманим раніше значенням $7{,}6\cdot10^4$ В/см.

Висновки

Експериментальні результати дослідження структурної досконалості і електронних параметрів вихідної і сульфідованої поверхонь арсеніда галію, отримані з використанням модуляційної спектроскопії електровідбивання, дозволяють зробити наступні висновки:

На сульфідованій поверхні зменшуються феноменологічні параметри уширення спектру для всіх досліджених оптичних переходів, збільшується час енергетичної релаксації збуджених світлом носіїв заряду, їх рухливість, що свідчить про підвищення досконалості поверхні GaAs після сульфідної обробки і її електронну пасивацію.

Встановлено, що в результаті сульфідної пасивації поверхні GaAs (100) утворюється пасивуюче покриття Ga_2S_3 з шириною забороненої зони 2,55 еВ, прозоре для випромінювальної рекомбінації GaAs, що не приводить до втрат випромінювання, яке відбувається на межі поділу Ga_2S_3 – GaAs.

На сульфідованій поверхні зменшується концентрація поверхневих електронних станів, зайнятих електронами, що приводить до збільшення від'ємного поверхневого потенціалу і поверхневого квантування носіїв заряду. Визначені глибина

залягання квантованого рівня і ширина квантової ями для різних оптичних переходів (E_0 і E_1). Наявність квантово-розмірного ефекту зумовлює дублетний характер піків в спектрах електровідбивання.

Поява періодичних осциляцій в спектрі ЕВ, пов'язаних з ефектом Франца-Келдиша в однорідному вбудованому електричному полі, дозволила визначити незалежними методами величину поверхневого поля і електрооптичну енергію, значення яких добре узгоджуються.

По різниці енергій переходів E_0 і E_1 для вихідної і сульфідованої поверхонь визначені величини внутрішніх механічних напружень на межі поділу Ga_2S_3 – GaAs, які також співпадають.

Для практичного використання сульфідованої поверхні GaAs в електронній техніці необхідне проведення дослідження впливу зміни умов сульфідування не електронні параметри і внутрішні механічні напруження.

Матвеєва Л.О. – доктор фізико-математичних наук, професор, головний науковий співробітник;
Колядіна О.Ю. – молодший науковий співробітник;
Матіюк І.М. – молодший науковий співробітник;
Міщук О.М. – кандидат фізико-математичних наук, вчений секретар сектору зведеного планування.

[1] И.А. Мазарчук, Л.А. Матвеева, Б.Д. Нечипорук и др. Исследование нарушенных приповерхностных слоев в кристаллах арсенида галлия // *Поверхность. Физика, химия, механика*, (2), сс. 73-77 (1991).

[2] П.О. Генцарь, Л.О. Матвеєва, Л.А. Демчина, Є.Ф. Венгер. Контроль структури епітаксійних плівок n-GaAs методом електровідбивання // *ФХТТ*, **4**(2), сс. 237-242 (2003).

[3] Е.Ф. Венгер, С.И. Кириллова, В.Е. Примаченко. Электронные свойства обработанной HCl поверхности GaAs // *ФТП*, **33**(10), сс. 1196-1200 (1999).

[4] S. Hildebrandt, J. Schreiber, W. Kircher and R. Kuzmenko. Optical study of band bending and interface recombination at Sb, S and Se covered gallium arsenide surfaces // *Appl. Surf. Science*, **63**, pp. 153-157 (1993).

[5] Є.Ф. Венгер, С.І. Кирилова, В.Е. Примаченко, В.А. Чорнобай. Система поверхневих електронних станів реальної і сульфідованої поверхонь GaAs // *УФЖ*, **46**(1), сс. 77-82 (2001) .

[6] P. Paget, J.E. Bonnet, V.L. Berkovits et. al. Sulfide-passivated GaAs (100). 1. Chemistry analysis by Photoemission and reflectance anisotropy spectroscopies // *Phys. Rev*. B., **53**(8), pp. 4604-4614 (1996).

[7] И.В. Седова, Т.В. Львова, В.П. Улин и др. Сульфидные пассивирующие покрытия поверхности GaAs(100) в условиях молекулярно-пучковой эпитаксии $A^{II}B^{VI}$/GaAs // *ФТП*, **36**(1), сс. 59-64 (2002).

[8] D. Paget and A.O. Kusel, V.L. Berkovits. Sulfide-passivated GaAs (001). II. Electron properties // *Phys. Rev*. B., **53**(8), pp. 4615-4622 (1996).

[9] В.Н. Бессолов, Е.В. Коненкова, М.В. Лебедев, D.R.T. Zahn. Химические эффекты при формировании электронной структуры поверхности полупроводников A^3B^5, сульфидированной в растворах // *ФТТ*, **41**(5), сс. 875-878 (1999).

[10] Е.Ю. Колядина, Л.А. Матвеева, И.Н. Матиюк, В.П. Папуша. Модификация электронной структуры и оптические свойства сульфидированной поверхности GaAs // Тези доповідей на І-й Українській науковій конференції з фізики напівпровідників. Одеса. Україна 10-14 вересня 2002 р. сс. 186-287 (2002).

[11] В.А. Тягай, О.В. Снитко. *Электроотражение света в полупроводниках*. Наукова думка. К., 302 с. (1980).

[12] Е.Ф.Венгер, Т.Я. Горбач, Л.А. Матвеева, С.В. Свечников. Спектроскопия электроотражения, зонная структура и механизм видимой фотолюминесценции анизотропнотравленого кремния // *ЖЭТФ*, **5**(11), сс. 1750-1761 (1999).

[13] Є.Ф. Венгер, П.О. Генцарь, Л.О. Матвеєва. Зв'язок між осциляціями Келдиша-Франца та електронними параметрами в епітаксійних плівках n-GaP та n-GaAs. Доповіді національної академії наук України, Фізика, 5, сс. 81-88 (2004).

[14] D.E. Aspnes. Third-derivative modulation spectroscopy with low-field electroreflectance // *Surf. Sci*. **37**(2), pp. 418-442 (1973).

[15] Z.H. Lu and M.I. Graham. Determination of the structure of GaAs (100) – S with chemical-state-specific photoelectron diffraction // *Phys. Rev*. B, **48**(7), pp. 4604-4607 (1993).

[16] V.L. Berkovits and V.P. Ulin, D. Padget at al. Chemical and photochemical processes in sulfide passivation of GaAs (100): In situ optical study and photoemission analysis // *J. Vac. Sci. Technol.* A, **16**(4), pp. 2528-2538 (1998).

[17] Б.И. Сысоев, Н.Н. Безрядин, Г.И. Котов и др. Пассивация поверхности GaAs (100) халькогенидами галлия $A_2^{III}B_3^{VI}$ (110). // *ФТП*, **29**(1), сс. 24-32 (1995).

[18] *Физико-химические свойства полупроводниковых веществ*. Справочник под ред. Новосёлова А.В., М.: Мир, 68 с. (1978).

[19] A.R. Goñi, K. Strössner, K. Syassen and M. Cardona. Pressure dependence of direct and indirect optical absorption in GaAs. // *Phys. Rev*. B, **36**(3), pp. 1581-1587 (1987).

[20] R. Bendorius and A. Shileika. Electroreflectance spectra of GaAs at hydrostatic pressure. // *Solid State Communications*, **8**, pp. 1111-1113 (1970).

[21] Stephen F. Pond. Electroreflectance from flatband // *Surf. Sci*., **37**, pp. 596-616 (1973).

L.A. Matveeva[1], O.Yu. Kolyadina[1], I.M. Matiyuk[1], O.M. Mischuk[2]

Structural Perfection and Electronic Parameters of the Sulfide Surface of the Gallium Arsenide

[1]*Institute of the Semiconductor Physics by Lashkarev NAS Ukraine, pr. Nauky, 45, Kyiv, 03028, Ukraine,*
E-mail matveeva@isp.kiev.ua
[2]*National academy of sciences of Ukraine*

By using electroreflectance method, Auger spectroscopy and electronography we were determined that Ga_2S_3-film is formed on the GaAs surface after chemical sulphidation of the GaAs in $Na_2S \times 9H_2O$ solution also increase band bending. The shift and splitting of the peaks, high-energy oscillations were observed in electroreflectance spectra after former treatment. The results can be explained by initiation of the mechanical stresses in Ga_2S_3 – GaAs heterosystem, built-in electric field and by reconstruction of the surface electron states on the film-substrate boundary surface that lead to surface quantization of the charge carriers.