

Г.І. Клето, М.О. Воробець

Особливості фізичних властивостей гетероструктур з тонким квазішаром на границі розділу GaSe/InSe

*Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
Чернівці, вул. Коцюбинського, 2, Україна*

В роботі досліджені бар'єрні характеристики фоточутливих структур на основі оптичного контакту p -GaSe – n -InSe з тонким квазішаром на границі розділу. Встановлено, що одноосний тиск може спричинити модифікацію проміжного шару, що призводить до зміни електрофізичних властивостей.

Ключові слова: GaSe, InSe, гетеропереходи, вольт-амперні характеристики, фоточутливість.

Стаття постуила до редакції 01.06.2009; прийнята до друку 20.03.2010.

Вступ

Шаруваті кристали GaSe та InSe володіють анізотропією хімічних зв'язків, що дозволяє створювати на їх основі фоточутливі прилади з унікальними електричними властивостями [1,2]. Гетеропереходи на базі сполук з шаруватою кристалічною структурою GaSe та InSe, виготовлені приведенням поверхонь двох напівпровідників у прямий оптичний контакт [1], володіють привабливими характеристиками для перетворення сонячної енергії та використання в системах оптоелектроніки [2,3]. Гетероконтакт GaSe / InSe є структурою напівпровідник-діелектрик-напівпровідник, де шар атомів кисню, адсорбованих з атмосфери, діє як діелектричний прошарок [4]. Цей квазішар є нерівноважним станом з дуже довгим часом релаксації.

У даній роботі досліджені характеристики бар'єрних фоточутливих структур на основі оптичного контакту p -GaSe / n -InSe з тонким квазішаром на границі розділу. Зміни електричних та фотоелектричних параметрів обговорюються з точки зору модифікації границі розділу.

I. Методика експерименту

Монокристали GaSe, InSe були вирощені методом Бріджмена. Концентрації основних носіїв, визначених з аналізу досліджень ефекту Холла зразків p -GaSe та n -InSe, були $p = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ та $n = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ при $T=300 \text{ К}$, а рухливості носіїв $\mu_p=10 \text{ см}^2 / \text{В}\cdot\text{с}$ та $\mu_n = 800 \text{ см}^2 / \text{В}\cdot\text{с}$.

Гетероструктури були виготовлені

використовуючи оригінальний метод, а саме: оптичний контакт тонкого шару p -GaSe з підкладкою виготовленою з n -InSe.

Гетероконтакти були піддані одноосному тиску в напрямку перпендикулярному площині границі розділу (вздовж осі симетрії c кристалів GaSe та InSe).

II. Результати експерименту та їх обговорення

Як свідчать дослідження при $T = 300 \text{ К}$, значення параметрів з вольт-амперних характеристик (ВАХ) гетероконтакту p -GaSe / n -InSe є наступними: контактна різниця потенціалів $\phi_0 = 0,5 \text{ еВ}$, коефіцієнт досконалості бар'єра $n = 1,6$, прямий струм насичення $I_0 = 1,2 \times 10^{-11} \text{ А}$ для вихідного зразка, та $\phi_0 = 0,97 \text{ еВ}$, $n = 1,9$, $I_0 = 1,1 \times 10^{-10} \text{ А}$ при механічному стисканні гетероструктури в напрямку перпендикулярному площині локалізації бар'єра. Викривлення до низу ділянок ВАХ в напівлогарифмічному масштабі при достатній величині прикладеної електричної напруги (рис. 1) є наслідком великого електричного опору базових напівпровідників.

На рис. 2 приведена навантажувальна вольт-амперна характеристика гетеропереходу p -GaSe- n -InSe при різних значеннях одноосного тиску в напрямку перпендикулярно площині гетерограниці. При дії тиску спостерігається зростання вихідної потужності, що зумовлено покращенням основних параметрів фотоперетворення, зокрема зростанням струму короткого замикання та напруги холостого ходу. Як свідчать дослідження під дією тиску електричний опір шаруватих напівпровідників зростає. Внаслідок цього зростає послідовний опір

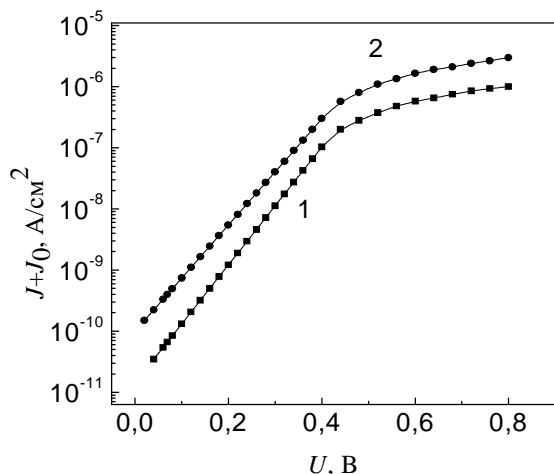


Рис. 1. Темнова вольт-амперна характеристика гетеропереходу $p\text{-GaSe} - n\text{-InSe}$: 1 – без механічного навантаження, 2 – при дії тиску $P = 40$ кПа, $T = 300$ К.

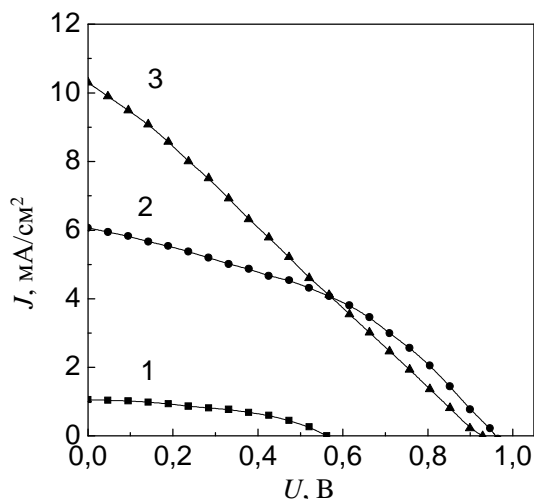


Рис. 2. Світлова вольт-амперна характеристика гетеропереходу $n\text{-InSe} - p\text{-GaSe}$ при потужності світла 60 мВт/см² при різних значеннях тиску P (кПа): 1 – 0; 2 – 35; 3 – 50. $T = 300$ К.

структури, про що свідчить зміна форми вольт-амперної характеристики, а саме її горизонтальний вигин (рис. 2), що призводить до зменшення фактора заповнення.

Одержані значення ϕ_0 та n свідчать, що діодна фоточутлива структура $p\text{-GaSe} / n\text{-InSe}$ не підпорядковується ідеальній моделі для різних гетеропереходів [5]. Після механічного стискування гетероструктури величина бар'єра зростає приблизно вдвічі. Крім того, величина зворотного струму при механічному стискуванні зразка більша, порівняно з вихідним зразком. Усе це може бути пояснено при врахуванні тунельно прозорого діелектричного шару між контактуючими поверхнями напівпровідників, яких з'являється в результаті адсорбції сторонніх газів з оточуючої атмосфери при виготовленні гетероструктури. Механічне стискування може спричинити зменшення товщини та площі

проміжного квазішару, що має вплив на електричні властивості гетероструктури $p\text{-GaSe} / n\text{-InSe}$. Це може бути причиною зростання квантової ефективності під дією механічного тиску в діапазоні від 0 до 100 кПа.

На рис. 3 наведені спектри відносної квантової

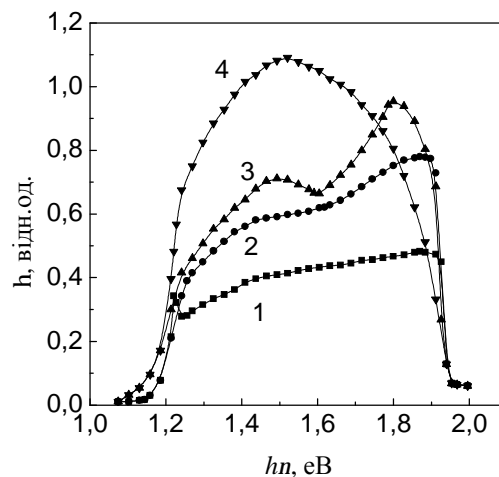


Рис. 3. Спектральна залежність відносної квантової ефективності η гетеропереходу $n\text{-InSe} - p\text{-GaSe}$ при різних значеннях тиску P (кПа): 1 – 0; 2 – 20; 3 – 40; 4 – 60. $T = 300$ К.

ефективності фотоелектроперетворення η гетероконтакту $p\text{-GaSe} / n\text{-InSe}$ при кімнатній температурі та різних значеннях прикладеного одноосного тиску P . Як видно з рисунку, кожна з кривих подібна до спектра чутливості фотоперетворювачів з безпосереднім контактом $\text{GaSe} - \text{InSe}$. Однак, спектральний розподіл і квантова ефективність фотоелектроперетворення суттєво залежать від P . При збільшенні P , спектральний розподіл зміщується в низько енергетичну область, а квантова ефективність зростає (рис. 4). При цьому

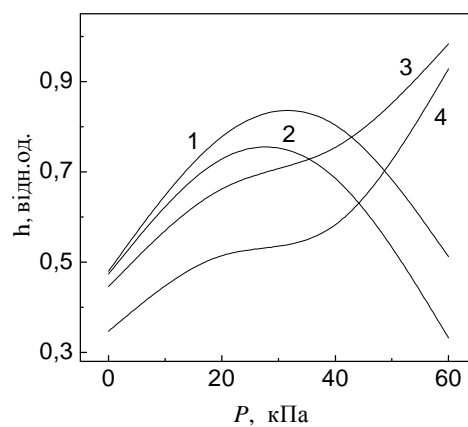


Рис. 4. Залежність відносної квантової ефективності фотоелектроперетворення гетеропереходу $n\text{-InSe} - p\text{-GaSe}$ від тиску для кількох енергій фотонів $h\nu$, eV: 1 – 2,13; 2 – 2,08; 3 – 1,75; 4 – 1,35.

енергія квантів світла, що перетворюється, при великому P може навіть мати значення $h\nu < E_g$. Поява фоточутливості досліджуваних гетеропереходів за межами смуги власного поглинання моноселеніду індію (рис. 3, криві 5 та 6), вочевидь, зумовлена впливом невідповідності постійних кристалічної ґратки контактуючих напівпровідників (приблизно на 8%), що починає проявлятися при зменшенні товщини діелектричного прошарку. Прояв фоточутливості гетеропереходів p -GaSe/ n -InSe під дією тиску у більш низькоенергетичному діапазоні спектрального розподілу $\eta(h\nu)$ може бути наслідком збільшення кількості структурних дефектів у напівпровідниках, про що свідчать зміни в спектрах оптичного пропускання моно селенідів індію та галію при $h\nu < E_g$.

Також спостерігається зменшення відносно

квантової ефективності при енергіях фотонів більших ширини забороненої зони GaSe ($E_g = 2$ еВ) при збільшенні тиску до $P > 60$ кПа (рис. 4). Можна припустити, що це є наслідком появи дефектів в об'ємі базових напівпровідників та розсіювання носіїв заряду. На зареєстрованих Х-променями дифракційних картинках зразків, підданих статичному тиску, знайдено розширення напівширини дифракційних відбивань, що вказує на збільшення густини дефектів у кристалічній структурі шаруватих селенідів індію та галію.

Провівши порівняльний аналіз вольт-амперних та спектральних характеристик, можна зробити висновок про можливість керованої зміни електрофізичних параметрів гетероструктур p -GaSe/ n -InSe та урізноманітнити використання їх у пристроях електроніки.

- [1] В.Л. Бакуменко, З.Д. Ковалюк, Л.Н. Курбатов, В.Г. Тагаєв, В.Ф. Чижко. Исследование гетеропереходов InSe–GaSe, приготовленных посадкой на оптический контакт. I. Электрические характеристики неосвещенных переходов // *ФТТ*, **14**(6), сс.1115-1119 (1980).
- [2] A. Segura, A. Chevy, J.P. Guesdon, J.M. Besson. Photovoltaic efficiency of InSe solar cells // *Solar Energy Materials*, **2**(1), pp. 159-165 (1980).
- [3] S. Shigetomi, T. Ikari. Electrical and photovoltaic properties of Cu-doped p -GaSe/ n -InSe heterojunction // *J. Appl. Phys.*, **88**(3), pp. 1520-1524 (2000).
- [4] С.І. Драпак, З.Д. Ковалюк. Самоорганізація границі розділу гетеропереходів p -GaSe– n -InSe, виготовлених методом посадки на оптичний контакт, в процесі довготривалого зберігання // *Фізика і хімія твердого тіла*, **6**(2), сс.230-234 (2005).
- [5] А. Милнс, Д. Фойхт. *Гетеропереходы и переходы металл–полупроводник*. Мир, М. 432 с. (1975).

G.I. Kleto, M.O. Vorobets

Particularities of Physical Properties of the Heterostructures with Thin Quasilinear in the GaSe / InSe Interface

Chernivtsi Yuriy Fed'kovich National University, Chernivtsi, Kotsubinsky str., 2, Ukraine

Barrier characteristics of the photosensitive structures based onto p -GaSe/ n -InSe optical contact with thin quasilinear in the interface were investigated. It is determined that the uniaxial compression can give rise to modification of interface layer that can affect the electrophysical properties.