

МАТЕРІАЛИ ДЛЯ СЕНСОРІВ

SENSOR MATERIALS

УДК 621.382.2

ТЕМПЕРАТУРНА ДИНАМІКА СПЕКТРІВ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ ЧУТЛИВОСТІ ГЕТЕРОПЕРЕХОДІВ ВЛАСНИЙ ОКСИД-*p*-InSe

В. М. Катеринчук, З. Р. Кудринський, З. Д. Ковалюк

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Чернівецьке відділення, вул. Ірини Вільде 5, Чернівці 58001, Україна, тел.: +380372525155,
E-mail: kudrynskyi@gmail.com

ТЕМПЕРАТУРНА ДИНАМІКА СПЕКТРІВ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ ЧУТЛИВОСТІ ГЕТЕРОПЕРЕХОДІВ ВЛАСНИЙ ОКСИД-*p*-InSe

В. М. Катеринчук, З. Р. Кудринський, З. Д. Ковалюк

Анотація. Досліджено температурну залежність коефіцієнта фотоплеохроїзму для гетеропереходу власний оксид-*p*-InSe. Зареєстровано різну температурну залежність зсуву довгохвильового краю фотоструму для двох орієнтацій поляризації: $E\parallel C$ і $E\perp C$.

Ключові слова: гетероперехід власний оксид-*p*-InSe, анізотропія, коефіцієнт фотоплеохроїзму

TEMPERATURE DYNAMICS OF POLARIZATION SENSITIVITY SPECTRA OF INTRINSIC OXIDE-*p*-InSe HETEROJUNCTIONS

V. M. Katerynchuk, Z. R. Kudrynskyi, Z. D. Kovalyuk

Abstract. Temperature dependence of the photopleochroism coefficient for the intrinsic oxide-*p*-InSe heterojunction was investigated. We observed different temperature dependence of the shift of longwave edge of photocurrent for two polarization orientations: $E\parallel C$ and $E\perp C$.

Keywords: intrinsic oxide-*p*-InSe heterojunction, anisotropy, photopleochroism coefficient

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ДИНАМИКА СПЕКТРОВ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ГЕТЕРОПЕРЕХОДОВ СОБСТВЕННЫЙ ОКСИД-*p*-InSe

В. Н. Катеринчук, З.Р. Кудринский, З. Д. Ковалюк

Аннотация. Исследована температурная зависимость коэффициента фотоплекроизма для гетероперехода собственный оксид-*p*-InSe. Зарегистрирована разная температурная зависимость сдвига длинноволнового края фототока для двух ориентаций поляризации: $E\parallel C$ and $E\perp C$.

Ключевые слова: гетеропереход собственный оксид-*p*-InSe, анизотропия, коэффициент фотоплекроизма

1. Вступ

На даний час, зросла кількість публікацій, присвячених вивченню явища фотоплекроїзму в різних анізотропних, ізотропних напівпровідниках і структурах на їх основі. Наслідком цих публікацій була поява оглядових робіт [1,2]. Явище фотоплекроїзму полягає в залежності концентрації фотогенерованих носіїв заряду, від просторової орієнтації вектора електричного поля світлової хвилі відносно кристалографічних осей анізотропних напівпровідників. Інтерес до його дослідження обумовлений використанням лінійно-поляризованого світла у вивченні енергетичного спектра напівпровідників, пошуком створення фотоаналізаторів лінійно-поляризованого випромінювання для волоконно-оптичних систем передачі і обробки інформації, систем дистанційної корекції кутових координат віддалених об'єктів і т.п. Все ширше використання лазерних випромінювань в медицині, науці та техніці, відсутність серійного виробництва подібних аналізаторів сприяють підвищеній увазі до таких досліджень. Виникає необхідність створення поляризаційно-чутливих фотоприймачів, які працювали б в різних спектральних діапазонах. Аналіз робіт, що присвячені створенню подібних фотоприймачів, вказує на те, що найбільш перспективними в цьому відношенні є структури, створені на основі анізотропних напівпровідників і, зокрема, на основі шаруватих кристалів (ШК) InSe та GaSe. Для реалізації поляризаційно-чутливих фотоприймачів необхідно формува-

ти потенціальний бар'єр структури у перпендикулярній до сколу площині. Технологічною перешкодою до створення таких гетеропереходів (ГП) є необхідність механічних і хімічних обробок поверхні у вказаній орієнтації. Ускладнення полягають ще і в тому, що завдяки м'якості ШК, в багатьох випадках, операція механічного шліфування не покращує якості поверхні. Вихід було знайдено, вирощуючи шаруваті матеріали спеціально блочними [3]. В такому разі, вдається отримати зразки кристалів з природною досконалою поверхнею, яка практично перпендикулярна до площини спайності шарів.

Явище фотоплекроїзму в ШК GaSe і InSe досліджувалось на основі фоторезисторного ефекту [4]. Створенню різних типів діодних структур для дослідження цього явища приділялось менше уваги. Це було обумовлено складністю формування *p-n*-переходу, орієнтованого паралельно осі *C*.

Розрізняють природний і наведений фотоплекроїзм. Для реалізації першого, необхідною умовою є анізотропний напівпровідник. У випадку наведеного фотоплекроїзму, явище має місце для довільного фоточутливого матеріалу, але при певному куті падіння плоско-поляризованого світла до його поверхні [2].

2. Експериментальні результати та їх обговорення

Зливки кристалів γ -InSe ($R\bar{3}mR\bar{3}m$) вирощувалися методом Бріджмена. Для одержання фоточутливих зразків кристали InSe легували-

ся домішкою кадмію і мали дірковий тип провідності.

Особливістю досліджуваних гетеропереходів оксид-*p*-InSe є те, що вони сформовані на основі анізотропних кристалів InSe. Такі кристали фоточутливі як до природного, так і до поляризованого світла в залежності від кристалографічної орієнтації підкладки [5-8]. Якщо кристалографічна вісь *C* співпадає з напрямком поширення світла, то кристали InSe не чутливі до поляризованого світла. У разі освітлення, коли $E \parallel C$, спостерігається фотоплекроїзм (E -вектор електричного поля світлової хвилі). Тому нижче представлені результати досліджень гетеропереходів оксид-*p*-InSe, сформованих в площині $\parallel C$. Ця площина була сформована по методиці, яка запропонована в роботі [3].

Конфігурація ГП і схема освітлення зразків показані на рис. 1. За напрямком поляризації світла прийнято напрям вектора електричного поля падаючого світла. Кут φ змінюється від 0 до 90° і відповідає двом граничним положенням освітлення лінійно-поляризованим світлом: $E \parallel C$ і $E \perp C$.

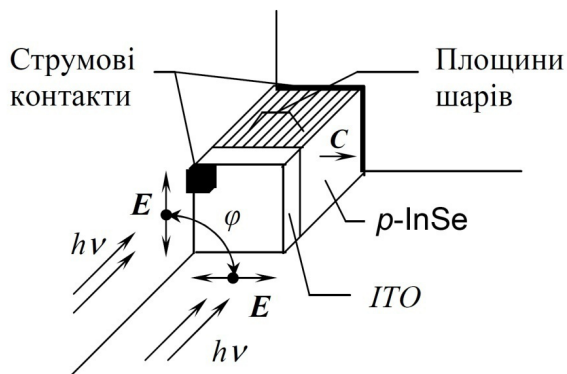


Рис. 1. Схематичне зображення конфігурації ГП та його освітлення

Фотоелектричні властивості ГП власний оксид-*p*-InSe досліджувались з допомогою монохроматора МДР-3 з роздільною здатністю 2,6 нм/мм в області температур 150-300 К.

Важливо знати не тільки спектральні характеристики коефіцієнта фотоплекроїзму, але й їх температурні залежності. У літературі це питання не висвітлено, хоча в роботі [4] згадувалось, що при 77 К анізотропія фоточутли-

вості в кристалах GaSe і InSe не зазнає принципних змін. Така ситуація можлива лише за умов, коли енергетичні параметри кристалів мають однакову температурну залежність, а структура їх спектрів оптичного поглинання залишається незмінною. Водночас відомо, що в анізотропних напівпровідниках, саме при зниженні температури, структура спектра крайового поглинання істотно змінюється. Вона проявляється у появі чітко виражених екситонних піків з серіальною їх залежністю, притаманною водневоподібним спектрам. Оскільки максимальні значення коефіцієнта фотоплекроїзму досягаються при енергіях, що відповідають ширині забороненої зони, то зміни, викликані температурою, мають бути помітними. Саме присутність екситонних ліній може приводити до змін у абсолютній величині коефіцієнта фотоплекроїзму.

З цією метою досліджувались спектри фотоструму ГП власний оксид-*p*-InSe у поляризованому світлі в температурному діапазоні 150-300 К для двох крайніх орієнтацій: $E \parallel C$ і $E \perp C$. Результати досліджень представлені на рис. 2. Виявлено, що для двох поляризацій освітлення спостерігається різна температурна залежність зсуву довгохвильового краю фотоструму, що видно з вставок *a* і *b* цього рисунку. Оцінка середньої величини температурного зсуву довгохвильового краю при фіксованому значенні фотоструму складає для двох представлених випадків відповідно: $\Delta E_{\parallel} / \Delta T = -4,8 \cdot 10^{-4}$ еВ/К і $\Delta E_{\perp} / \Delta T = -1,7 \cdot 10^{-4}$ еВ/К. При зниженні температури, неоднакове температурне зміщення краю в спектрі фотоструму повинно приводити до зменшення коефіцієнта фотоплекроїзму в досліджуваних ГП власний оксид-*p*-InSe.

Слід зазначити, що при зниженні температури абсолютні значення фотоструму спочатку зростають, а потім зменшуються однаково як для $E \parallel C$, так і для $E \perp C$ поляризацій освітлення. Така поведінка фотоструму може бути пояснена за рахунок зростання ширини області просторового заряду (ОПЗ) при зниженні температури, тому що при цьому зростає величина потенціального бар'єра. Внаслідок розширення збідненої області зростає коефіцієнт збирання фото генерованих носіїв і відповідно цьому збільшується величина фотоструму.

Суттєве зменшення температури (150 К) може приводити до виникнення механічних напруг на гетеромежі і до погіршення властивостей ГП. Тому в такому випадку, можуть спостерігатись ефекти зменшення фотоструму, викликані поверхневою рекомбінацією.

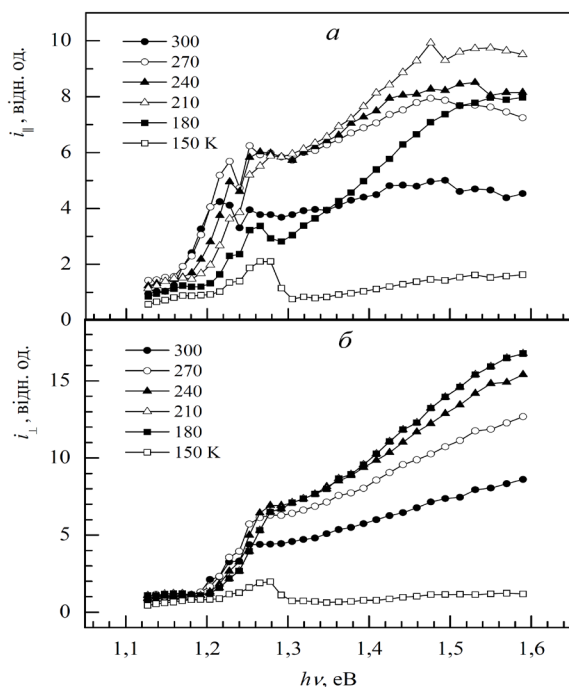


Рис. 2. Температурні залежності спектрів фотовідгуку ГП власний оксид-*p*-InSe в поляризованому світлі: *a* - $E\parallel C$; *b* - $E\perp C$

Температурна поведінка спектра коефіцієнта фотополюхроїзму \mathcal{P} показана на рис. 3. Як видно, в температурному діапазоні 210-300 К спектр \mathcal{P} зсувається в високоенергетичну область. При цьому зсуві максимальні додатні значення \mathcal{P} зменшуються від 40 до 25 %. При від'ємних \mathcal{P} , значення коефіцієнта фотополюхроїзму змінюються в невеличких межах. Енергетичний зсув спектра \mathcal{P} можна пояснити на основі різної температурної залежності ширини забороненої зони при двох поляризаціях освітлення. При $\mathcal{P} < 0$, значення коефіцієнта фотополюхроїзму менш розбіжні, хоча тенденція до його зменшення по абсолютній величині зберігається. Зменшення \mathcal{P} із зниженням температури можна пояснити на основі ефекту покращення збирання фотонів збідненою областю ГП в $E\perp C$ поляризації освітлення на

фоні аналогічного збирання в $E\parallel C$ – поляризації, для якої це збирання залишається незмінним. Розбіжності між величинами фотострумів для двох випадків освітлення лінійно-поляризованим світлом полягають у значній відмінності коефіцієнтів поглинання світла та викликані розширенням ширини ОПЗ із зменшенням температури. При цьому відношення фотострумів i_{\parallel}/i_{\perp} зменшується.

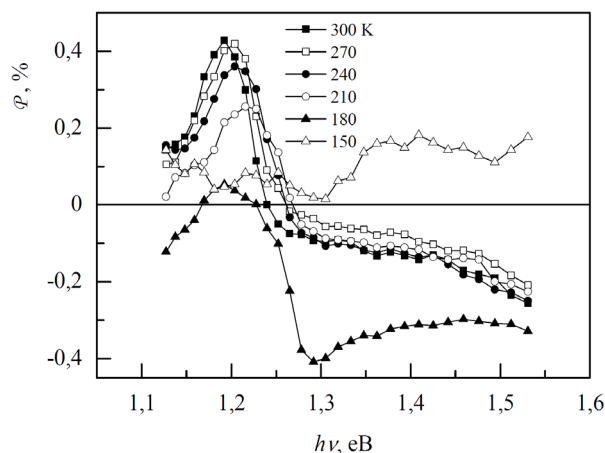


Рис. 3. Температурні залежності спектрального розподілу коефіцієнта фотополюхроїзму ГП власний оксид-*p*-InSe.

Суттєві відмінності у поведінці коефіцієнта фотополюхроїзму були виявлені лише при двох температурах: 180 і 150 К. При 180 К, функціональний характер спектра \mathcal{P} залишається незмінним як і при вищих температурах, проте \mathcal{P} істотно зміщується по осі ординат в сторону від'ємних значень. Максимальне абсолютне його значення досягає 40 % при іншій довжині хвилі, ніж при високих температурах, яка відповідає енергії 1,3 еВ. Така поведінка спектра \mathcal{P} також може бути пояснена на основі різного характеру температурного зсуву енергетичного спектра InSe та особливостей збирання фотонів в ГП при двох поляризаціях його освітлення. При 150 К, виявлено, що $\mathcal{P} > 0$ у всій спектральній області, а його значення не перевищують 20 %, хоча функціональна залежність подібна до залежності при 180 К. Для з'ясування подібної поведінки спектра коефіцієнта фотополюхроїзму необхідні прецизійні вимірювання спектрів фотоструму в поляризованому світлі при низьких темпера-

турах та удосконалення методики формування ГП, від досконалості якого в значній мірі залежить абсолютна величина \mathcal{P} та її спектр.

3. Висновки

Вперше досліджена температурна динаміка спектрів поляризаційної чутливості ГП власний оксид- p -InSe. Зареєстровано різну температурну залежність зсуву довгохвильового краю фотоструму для двох орієнтацій поляризації: $E\parallel C$ та $E\perp C$. Оцінка середньої величини цього зсуву при фіксованому значенні фотоструму складає для двох випадків освітлення відповідно: $\Delta E_{\parallel}/\Delta T = -4,8 \cdot 10^{-4}$ eВ/К і $\Delta E_{\perp}/\Delta T = -1,7 \cdot 10^{-4}$ eВ/К. При зниженні температури, неоднакове температурне зміщення краю в спектрі фотоструму приводить до зменшення коефіцієнта фотоплекроїзму в досліджуваних ГП власний оксид- p -InSe.

Для ГП власний оксид- p -InSe поведінка коефіцієнта фотоплекроїзму \mathcal{P} в спектральному діапазоні 1,1–1,6 eВ характеризується зміною його знака з додатнього на від'ємний при зменшенні довжини хвилі. Максимум \mathcal{P} спостерігається для довжини хвилі, що рівна 1,04 мкм і досягає 40 %. Дана довжина хвилі дуже близька до довжини випромінювання інфрачервоного неодимового лазера з $\lambda = 1,06$ мкм. Нульову позначку коефіцієнт фотоплекроїзму набуває при $\lambda = 1,0$ мкм. При зменшенні довжини хвилі \mathcal{P} стає від'ємним і монотонно зростає по абсолютній величині у всій дослідженій спектральній області, досягаючи значень 30 % при $\lambda = 0,81$ мкм.

Отримані результати важливі з точки зору розробки фоточутливих структур як природного, так і поляризованого світла.

Список використаної літератури

- [1]. F.P. Kesamanly, V.Ju. Rud', Ju.V. Rud'. Estestvennyj fotopleohroizm v poluprovodnikah (obzor) // FTP, 30(11), ss. 1921-1942 (1996).
- [2]. F.P. Kesamanly, V.Ju. Rud', Ju.V. Rud'. Navedennyj fotopleohroizm v poluprovodnikah (obzor) // FTP, 33(5), ss. 513-536 (1998).
- [3]. Patent Ukrainy № 101001 na vynahid

«Sposib oderzhannja grani kolinearnoi' z krystalografichnoju vissju C v sharuvatyh krystalah InSe i GaSe» / Kovaljuk Z.D., Katerynchuk V.M., Zaslونkin A.V., Tovarnyc'kyj M.V., Duplavyj V.J. (Bjul. № 4, 25.02.2013).

- [4]. N.M. Mehtiev, Ju.V. Rud', Je.Ju. Salaev. Fotojelektricheskie analizatory poljarizovannogo izluchenija (FAPI) na sloistyh poluprovodnikah / FTP, 12(8), ss. 1566-1570 (1978).
- [5]. V.N. Katerinchuk, Z.D. Kovaljuk, A.V. Zaslونkin. Vlijanie rezhimov formirovanija sobstvennogo oksida na svojstva geteroperehodov oksid- p -InSe / Pis'ma v ZhTF, 25(13), ss. 34-36 (1999).
- [6]. V.N. Katerinchuk, Z.D. Kovaljuk. Poluchenie geterostruktur okisel- p -InSe s uluchshennymi fotojelektrichesкими karakteristikami / FTP, 38(4), ss. 417-421 (2004).
- [7]. Z.D. Kovaljuk, V.N. Katerinchuk, T.V. Betsa. Photoresponse spectral investigations for anisotropic semiconductor InSe / Opt. Mater., 17(1-2), pp. 279-281 (2001).
- [8]. V.N. Katerinchuk, Z.R. Kudrinskij. Razmernyj opticheskij jeffekt v nanostrukturirovannyh plenках In₂O₃ / FTP, 47(3), ss. 320-323 (2013).

Стаття надійшла до редакції 27.08.2013 р.