

ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГЕТЕРОСТРУКТУР У СИСТЕМІ СЕЛЕНІД-ТЕЛУРИД ЦИНКУ

Наведено результати досліджень оптичних властивостей гетероструктур твердофазного заміщення в системі селенід-телурид цинку в зв'язку з технологічними режимами їх отримання. Обговорюється природа центрів, які беруть участь в оптичних переходах.

A study of optical properties of the heterojunction solid-state substitution ZnSe-ZnTe system is presented concerning to the technology procedure fabrication. The nature of the centers involved in optical transition is discussed.

До нових типів сцинтиляторів, які ефективно випромінюють у спектральному діапазоні $0,5 \pm 0,8$ мкм, відносяться монокристали ZnSe, леговані Te [1]. При їх роботі у складі комбінованого напівпровідникового сцинтоелектронного детектора іонізуючих випромінювань (так званого СЕЛДІ) необхідно вибрати фотоприймач, який би відповідав декільком основним вимогам. По-перше, спектр фоточутливості повинен узгоджуватись зі спектром радіолюмінесценції. По-друге, фотодетектор має мати малі темнові струми у робочому діапазоні температур для забезпечення низького рівня шумів. По-третє, для фотоприймача необхідно використовувати матеріал з якнайбільшою радіаційною стійкістю. І нарешті, технологія виготовлення СЕЛДІ має бути достатньо простою і, крім того, забезпечувати високий коефіцієнт світлозбору. Аналіз показує, що зазначеним вимогам відповідає гетероперехід (ГП) $p\text{ZnTe}-n\text{ZnSe}<\text{Te}>$, який відносно легко створити методом реакцій твердофазного заміщення [2]. Попередні дослідження показали, що такі СЕЛДІ за чутливістю не поступаються розповсюдженим пристроям $n\text{ZnSe}-\text{Si}$ -фотодіод, значно переважаючи останні простотою конструкції та радіаційною стійкістю [3]. Варто, однак, відзначити, що параметри ГП (як і пристрою у цілому) у значній мірі визначаються технологічними режимами виготовлення гетероструктури. Певну інформацію про них можна отримати з досліджень оптичних властивостей ГП, чому, власне, і присвячена дана робота.

Для виготовлення гетероструктур низькоомні ($\sim 10 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$) підкладинки $n\text{ZnSe}<\text{Te}>$ після механічної та хімічної обробки завантажувались

у вакуумовану кварцову ампулу разом з наважкою елементарного Te. У результаті ізотермічного відпалу при температурах 950-1250 К на протязі 2 годин на поверхні вихідних кристалів утворюються шари червоного кольору, які мають діркову провідність. Про це свідчать знаки термо-е.р.с. та випрямлення на точковому контакті. Зауважимо також, що вихідні підкладинки мали до відпалу жовто-зелений колір, який відновлюється після зішліфування утворених шарів. Фотолюмінесценція (ФЛ) збуджувалась N_2 -лазером, а вимірювання спектрів випромінювання здійснювалось з використанням дифракційного монохроматора МДР-23 і стандартної системи синхродетектування у режимі неперервного запису. Ця ж установка з невеликими змінами (ксенонова лампа замість лазера і вібруюче дзеркало) служила для вимірювання λ -модульованих спектрів оптичного поглинання. Всі дослідження проведені при 300 К, оскільки СЕЛДІ на основі таких гетероструктур експлуатуються саме при кімнатних температурах.

λ -модульовані спектри оптичного пропускання $dT_{\omega} / d\omega = T'_{\omega}$ досліджуваних гетероструктур мають певні особливості. Насамперед зазначимо, що енергія $\hbar\omega_0$ при $T'_{\omega} = 0$ корелює з максимумом оранжевої смуги люмінесценції $\hbar\omega_0 \approx 1,96$ eV вихідних кристалів $\text{ZnSe}<\text{Te}>$. Наявність більш низькоенергетичних від'ємних піків указує на те, що центр люмінесценції досить складний. Згідно з даними роботи [4], він містить у собі атоми Te, міжвузловинний цинк Zn_i та його вакансію V_{Zn} , зарядність яких, взагалі кажучи, може бути різ-

ною. У зв'язку з цим даний центр існує у кількох зарядових станах, яким відповідають свої енергетичні рівні у забороненій зоні ZnSe<Te>. Крім того, задача ускладнюється ще змінною геометричною відстанню між компонентами центра та його взаємодією з фононами. Все це потребує окремих детальних досліджень кристалів ZnSe з урахуванням концентрацій ізовалентної домішки Te та міжвузловинного цинку. Додатні максимуми на кривих $T'_\omega(\hbar\omega)$ пов'язані з утвореним у результаті відпалу шаром, оскільки дані смуги не спостерігаються у спектрах λ -поглинання вихідних зразків. Найбільш характерні піки при енергіях 2,1 і 2,3 еВ спостерігаються для всіх гетероструктур і зумовлені поглинанням у шарах ZnTe_{0,7}Se_{0,3} та ZnTe відповідно. Зауважимо, що утворення варізонних шарів твердих розчинів є необхідним наслідком методу реакцій твердофазного заміщення [2].

Аналіз спектрів ФЛ отриманих поверхневих шарів показує, що залежність їх форми та інтенсивностей окремих смуг від температури відпалу T_a носить складний характер. У загальному випадку вони складаються з трьох смуг, максимуми яких умовно можна позначити символом $\hbar\omega_i$ (i змінюється від 1 до 3 і зростає по мірі збільшення енергії фотона). У таблиці 1 наведено положення максимумів смуг для вихідного кристала, а також для зразків, отриманих при різних T_a .

Розглянемо тепер природу основних смуг, які спостерігаються у спектрах ФЛ досліджуваних зразків. Відзначимо, що ширина забороненої зони E_g телуриду цинку при 300 К складає 2,28 еВ [4]. Явно виражена смуга з $\hbar\omega \approx E_g$ проявляється тільки для гетероструктур, отриманих при $T_a=1050$ К. Загальною для всіх ГП є смуга з $\hbar\omega \approx 2,2$ еВ. Вона пов'язана з переходами вільних електронів на акцептори, які зумовлені однократно зарядженими вакансіями цинку V_{Te}' ($E_a \approx 0,06-0,08$ еВ) [4]. Смугу з $\hbar\omega \approx 2,1$ еВ можна ідентифікувати як рекомбінацію через двократно заряджені вакансії цинку V_{Zn}'' ($E_a \approx 0,16$ еВ) [4]. Наявність смуг з $\hbar\omega_i > E_g$ при $T_a=1050-1150$ К може бути зумовлена утворенням на поверхні твердих розчинів ZnTe_xSe_{1-x} з меншим значенням x , ніж у глибині кристала, оскільки у спектрах T'_ω сигнал при $\hbar\omega \geq E_g$ відсутній. Присутність смуг 1,97 і 2,68 еВ у зразках виготовлених при 950 К пояснюється

Таблиця 1. Положення максимумів смуг ФЛ досліджуваних зразків.

T_a , К	950	1050	1150	1250	вихідний
$\hbar\omega_1$, еВ	1,97	2,2	2,2	2,1	1,96
$\hbar\omega_2$, еВ	2,2	2,28	2,34	2,2	-
$\hbar\omega_3$, еВ	2,68	2,36	2,46	-	2,68

малою товщиною заміщеного шару, внаслідок чого інтенсивне лазерне випромінювання збуджує також ФЛ підкладинки.

Отже, дослідження оптичних властивостей гетероструктур може бути перспективним для вивчення їх енергетичної структури і дозволяє також установити зв'язок з технологією виготовлення ГП.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рыжиков В.Д. Сцинтилляционные кристаллы полупроводниковых соединений A^2B^6 . Получение, свойства, применение. - М.: НИИТЭХИМ, 1989.
2. Махний В.П. Механизм образования гетероструктур при твердофазном замещении на основе соединений A^2B^6 // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. - 1991. - 27, №3. - С.619-620.
3. Вербицкий О.П., Косяченко Л.А., Махний В.П., Рыжиков В.Д. Свойства системы сцинтиллятор-фотодиод на основе структуры селенид-теллурид цинка // Письма в ЖТФ. - 1988. - 14, вып.8. - С.702-705.
4. Симашкевич А.В. Гетеропереходы на основе полупроводниковых соединений A^2B^6 . - Кишинев: Штиинца, 1980.