

## ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМОДУЛЯЦІЇ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ СТРУКТУРИ ШИРОКИХ СМУГ ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ У НАПІВПРОВІДНИКАХ

Показана можливість використання електро модуляції фотолюмінесценції області просторового заряду бар'єрів Шотткі для виявлення структури широких смуг випромінювання базового матеріалу, які зумовлені глибокими центрами.

Possibility by used electromodulations photoluminescence of space-charge region the Schottky diodes have been investigated for determined of the structure wide band radiation intrinsic material which is due by deep centers.

При дослідженні люмінесценції широкозонних напівпровідників досить часто виникає проблема інтерпретації рекомбінаційних процесів за участю глибоких рівнів. Такі смуги випромінювання, як правило, мають досить велику напівширину ( $0,2 \div 0,5$  eV), а значить, не є елементарними. У зв'язку з цим, виникає необхідність розкладу складних смуг на складові компоненти. Існують різні аналітичні методи такого розкладу, серед яких найбільше розповсюдження отримав метод Аленцева-Фока [1]. Він оснований на аналізі деформації складних смуг фотолюмінесценції (ФЛ) при зміні умов збудження і не вимагає даних про форму компонент складної смуги та їх енергетичного положення. Даний метод може успішно використовуватись тільки тоді, коли спектри помітно реагують на рівень збудження. Разом з тим, досить часто трапляються випадки, коли всі або частина компонент складної смуги однаково залежать від умов збудження. Крім того, навіть елементарна і гладка смуга ФЛ, яка зв'язана з одним рекомбінаційним центром, може мати складну структуру, що обумовлена фононними повтореннями. Очевидно, що в даному випадку метод Аленцева-Фока не придатний, оскільки така смуга, як правило, гаситься або розгортається при зміні умов збудження, не змінюючи свою форму.

Зазначену трудність можна обійти шляхом використання методів модуляційної спектроскопії, які інтенсивно розвиваються в останні десятиріччя [2-3]. Слід, проте, відзначити, що

їх використовують головним чином для дослідження крайових смуг люмінесценції, зокрема, екситонних та міжзонних переходів. У даній роботі показана можливість використання електро модуляції для вивчення структури глибоких рекомбінаційних центрів на прикладі  $ZnSe<Te>$ .

Вибір об'єкта досліджень зумовлений низкою причин. По-перше, кристалам  $ZnSe$  з ізовагентною домішкою  $Te$  притаманна ефективна оранжева фото- та радіолюмінесценція, інтенсивність якої залишається незмінною при дії  $\gamma$ -променів аж до дози  $10^8$  Рад. По-друге, форма контуру цієї широкої безструктурної смуги з максимумом при  $\lambda_m \approx 0,63$  мкм залишається однаковою при зміні інтенсивності збудження в межах трьох порядків. Це повністю виключає застосування методу Аленцева-Фока. По-третє, відпал кристалів  $ZnSe<Te>$  у парі  $Zn$  приводить не тільки до збільшення їх провідності, але й до надзвичайно високої температурної стабільності даної смуги ФЛ в широкому температурному діапазоні ( $4,2 \div 500$  K). Це ускладнює використання термомодуляційних методів дослідження структури центру, який формує дану смугу. І нарешті, кристали  $ZnSe<Te>:Zn$  можуть бути базовими для створення ефективних УФ-фотоприймачів з бар'єром Шотткі [4]. Крім того, на таких діодах був виявлений ефект модуляції параметрів цієї смуги ФЛ під дією зовнішньої напруги. Це, власне кажучи, і стало визначальним для використання електро модуляції при дослідженні структури смуги з

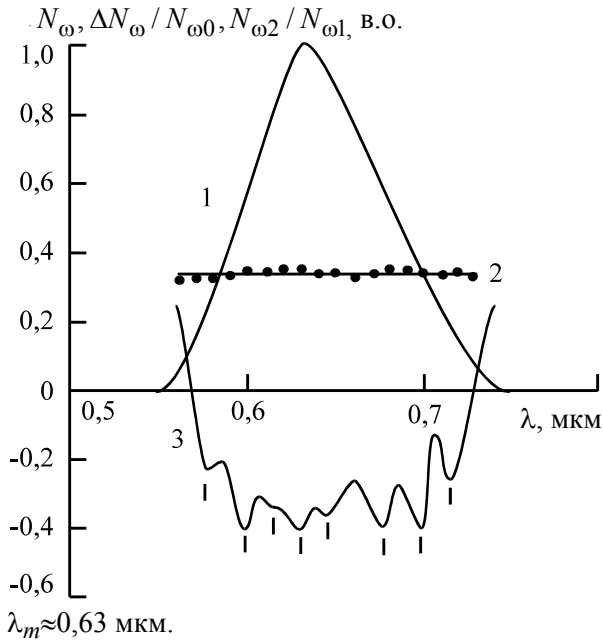


Рис. 1. Спектральні залежності ФЛ (1) та відношень  $N_{\omega 2} / N_{\omega 1}$  (2) і  $\Delta N_{\omega} / N_{\omega 0}$  (3) для контакту Ni-ZnSe<Te>:Zn при 300 К

Технологія виготовлення діодів та методика вимірювань спектральних характеристик описані в роботі [4]. Спектр ФЛ контакту Ni-ZnSe при нульовому зміщенні приведений на рис.1. При кімнатних температурах він являє собою широку безструктурну смугу з  $\lambda_m \approx 0,63 \text{ мкм}$ , форма якої не залежить від інтенсивності збуджуючого лазерного випромінювання. Це підтверджується експериментальними даними, які приведені на цьому ж рисунку. Спектральна залежність відношення інтенсивностей  $N_{\omega 2} / N_{\omega 1}$  при двох рівнях збудження  $P_2 / P_1 \approx 10$  в межах похибки експерименту зображується горизонтальною прямою (2). Таким чином, аналіз спектра з використанням методу Алєнцева-Фока в даному випадку провести неможливо.

Зміна ж напруги  $V$  на діоді приводить до деформації спектра ФЛ, яку зручно оцінювати

відношенням  $\Delta N_{\omega} / N_{\omega 0} = (N_{\omega v} - N_{\omega 0}) / N_{\omega 0}$ . Тут  $N_{\omega v}$  - інтенсивність ФЛ при певній напрузі  $V$  на діоді, а  $N_{\omega 0}$  - інтенсивність при нульовому зміщенні. Як видно з рис.1, на спектральній залежності відношення  $\Delta N_{\omega} / N_{\omega 0}$  (крива 3) проявляється ряд максимумів. Їх положення не залежить від прикладеної напруги, в той час, як інтенсивність збільшується (зменшується) при збільшенні (зменшенні) оберненої напруги. Відстань між максимумами змінюється в межах  $0,03 \pm 0,07 \text{ еВ}$ , тобто тільки в деяких випадках співпадає з енергією LO-фонона ( $\hbar\omega_0 = 0,03 \text{ еВ}$ ) в ZnSe. В зв'язку з цим, можна допустити, що особливості в спектрах електро модуляції оранжевої смуги кристалів ZnSe<Te>:Zn відповідають головній лінії та її фононним повторенням для декількох елементарних смуг. Для остаточного встановлення природи центрів та механізмів рекомбінації необхідні додаткові дослідження при більш низьких температурах із залученням інших методів, зокрема електропоглинання,  $\lambda$ -модуляції тощо.

Таким чином, використання електро модуляції ФЛ бар'єрів Шоттки дозволяє виявити деякі особливості структури широких смуг випромінювання базового напівпровідника.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Фок М.В. Разделение сложных спектров на индивидуальные полосы при помощи обобщенного метода Алєнцева // Труды ФИАН. - 1972. - **59**. - С. 3-24.
2. Кардона М. Модуляционная спектроскопия / Пер. с англ. под ред. А.А. Каплянського. -М.:Мир, 1972.
3. Тягай В.А., Снитко О.В. Электроотражение света в полупроводниках. - Киев: Наук. думка, 1980.
4. Махній В.П. Фотоприёмники с барьером Шоттки на основе селенида цинка // ЖТФ. -1998. -**68**, №9. - С.123-125.