

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЕТЕРОСЛОЕВ ИЗОВАЛЕНТНОГО ЗАМЕЩЕНИЯ ШИРОКОЗОННЫХ II-VI СОЕДИНЕНИЙ

Махний В.П.¹, Слётов М.М.², Демич Н.В.¹, Слётов А.М.³
 Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича,
 ул. Коцюбинского, 2, г. Черновцы, Украина, 58012, (03722)44221,
 e-mail: ¹ oe-dpt@chnu.cv.ua, ² Mslyotov@mail.ru, ³ Lslyotov@mail.ru

На данный час гетеропереходы (ГП) являются основой большинства оптоэлектронных приборов и устройств (фотодетекторов, источников спонтанного и вынужденного излучения, солнечных элементов и т.д.), поскольку допускают наиболее широкую вариацию параметров среди возможных типов выпрямляющих барьеров [1]. В связи с тем, что активными областями ГП, как правило, служат тонкие слои, то первоочередная задача состоит в выборе оптимальных технологий их получения. Разнообразные варианты широко распространённых эпитаксиальных методов применимы только для ограниченного класса полупроводников, главным образом, к III-V соединений. Указанные способы практически не используются для перспективных оптоэлектронных II-VI материалов вследствие сильной не согласованности кристаллографических параметров и коэффициентов термического расширения. Этих трудностей можно избежать при использовании метода изовалентного замещения, который имеет ряд преимуществ перед другими способами создания гетерослоев [2].

Первое из них состоит в том, что процесс замещения носит диффузионный характер, в результате чего между гетерослоем (ГС) и подложкой образуется соответствующий твёрдый раствор, который полностью ликвидирует несогласованность контактирующих материалов. Граница раздела имеет особенно низкую концентрацию ($< 10^{12} \text{ см}^{-2}$) поверхностных дефектов, а кристаллическая структура ГС адекватна структуре подложки. Указанная технология дала возможность синтезировать стабильные во времени ГС всех широкозонных II-VI соединений как кубической (β), так и гексагональной (α) модификаций. Как видно из данных рис. 1 и табл. 1 гетерослои характеризуются достаточно эффективной краевой люминесценцией, что существенно отличает их от объёмных кристаллов этого же состава [3].

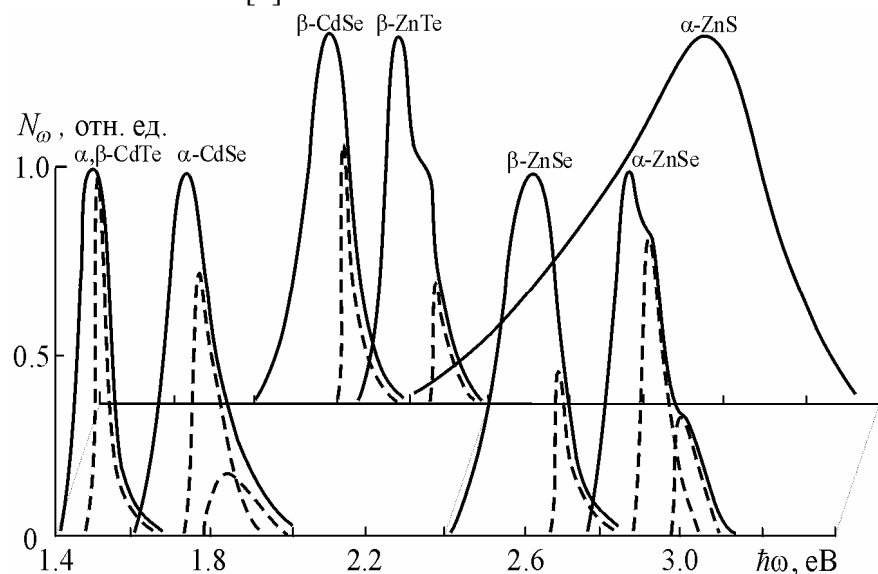


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции гетерослоев широкозонных II-VI соединений. $T=300 \text{ К}$.

Основная причина этого – наличие изовалентных примесей, в роли которых выступают остаточные (не полностью замещенные) атомы базовой подложки. Таким образом, легирование ГС изовалентной примесью происходит автоматически в процессе его синтеза. Тип изовалентной примеси (ИВП) можно варьировать изменением типа подложки и ингредиентов отжига, то есть элемента, который находится в

одной подгруппе с атомом катионной или анионной подрешеток II-VI соединения.

Табл. 1.

Основные гетерослои, их параметры и характеристики

подложка	гетерослой	E_g шара, eВ	$\hbar\omega_m$, eВ (механизм ФЛ)	квантовая эффективность, %
β - ZnTe	β - CdTe	1.5	1.5 (межзон.)	25
α - CdS	α - CdTe	1.5	1.5 (межзон.)	20
α - CdS	α - CdSe	1.75	1.7 (экс.)	20
β - ZnSe	β - CdSe	2.05	2.0 (экс.)	15
β - ZnSe	β - ZnTe	2.3	2.2 (ДАП)	70
β - ZnSe	β - ZnSe	2.7	2.68 (экс.)	15
α - CdS	α - ZnSe	2.9	2.86 (экс.)	70
α - Cds	α - ZnS	3.8	2.95 (ДАП)	40

Отметим, что концентрация ИВП в гетерослоях может достигать достаточно высоких концентраций (около 10^{19} см⁻³) не изменяя E_g материала, но вызывая при этом эффекты "очищения". Последнее проявляется, в частности, в присутствии в спектрах люминесценции только краевых полос излучения. При этом часто они имеют экситонную природу даже при высоких температурах, хотя энергия распада экситона намного меньше средней тепловой kT . Современная физическая модель базируется на допущении короткодействующего потенциала ИВП, который захватывает электрон или дырку [4]. Тип носителя, который связывается, определяется правилом Хопфилда, которое является следствием соотношения электроотрицательностей ИВП ($\chi_{ИВП}$) и атома, который замещается $\chi_{АТ}$. Когда $\chi_{ИВП} > \chi_{АТ}$ то ИВП должна связывать электрон, то есть, она есть глубоким акцептором. При обратной неравности, изовалентная примесь проявляет донорные свойства и связывает дырку. Отметим, что экситонные полосы излучения ГС изовалентного замещений имеют необычайно высокую температурную стабильность, которая связана с большей степенью локализации носителя на ИВП по сравнению с аналогичным параметром для иновалентной примеси.

Еще одной особенностью ИВП является генерация собственных точечных дефектов (СТД), тип которых определяется соотношением эффективных зарядов основного соединения, и того, которые образуются вследствие изовалентного замещения [5]. Это приводит к значительному повышению радиационной стойкости люминесцентных параметров и характеристик материала с ИВП. Кроме того, ИВП в некоторых случаях могут объединяться в донорно-акцепторные пары, для которых присуще высокая эффективность излучения, а также его температурная стабильность.

В связи с этим, слои изовалентного замещения перспективны для создания оптоэлектронных приборов, которые работают в жестких условиях.

На завершение обратим внимание еще на одну особенность спектров ФЛ гетерослоев, в которых, в отличие от объемных кристаллов этих же соединений присутствует также излучение, которое обусловлено переходами с участием отщепленных валентных подзон. Это иллюстрируется данными рис. 2 для ГС селенида кадмия кубической и гексагональной модификации.

Отметим, что использование λ -модуляции позволяет выявить не только сингулярности зонной структуры в области фундаментального поглощения, но и тонкую структуру широких полос люминесценции (рис. 3) без привлечения сверхнизких температур.

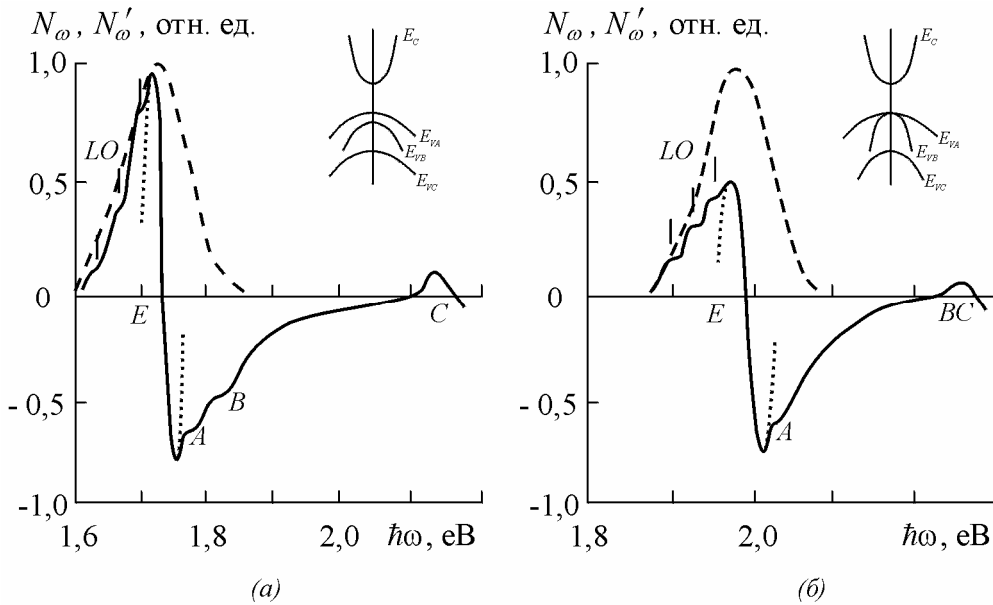


Рис. 2. Нормированные по интенсивности обычные N_ω (1) и λ -модульованный N'_ω (2) спектры люминесценции слоев α - (а) та β - CdSe (б) при 300 К.

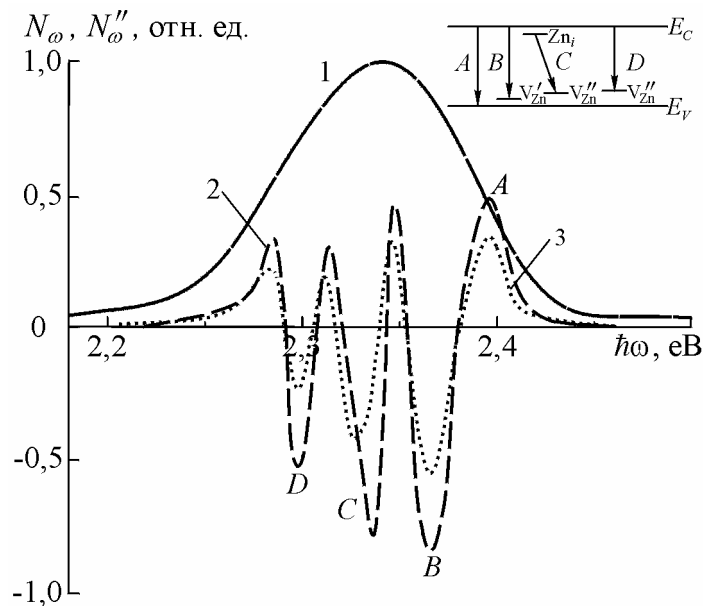


Рис. 3. Обычные (1) и λ -модульованный спектры ФЛ гетерослоев ZnTe, померенные на удвоенной частоте (вторая производная) при $L \approx 10^{18}$ фот./с. (2) $L \approx 10^{16}$ фот./с. (3). 77 К.

Литература

1. Ж.И. Алферов. ФТП **32**, 1, 3 (1998).
2. V.P. Makhniy, V.E. Baranyuk, M.V. Demych, V.V. Malnik, I.V. Malimon, M.M. Slyotov, B.M. Sobischanskiy, E.V. Stets. Proc. SPIE. **4425**. 272 (2000).
3. О.В. Махній, М.М. Сльотов, І.М. Фодчук Наук. вісник ЧДУ. Фізика. **40**, 65 (1998).
4. В.И. Фистуль. Атомы легирующих примесей в полупроводниках (состояние и поведение). Физматлит., М. (2004).
5. В.П. Махній, О.В. Махній, М.М. Сльотов, І.М. Фодчук Науковий вісник ЧДУ. Фізика. Електроніка. **66**, 5 (1999).