

НЕКОТОРЫЕ РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В КВАНТОВО-РАЗМЕРНЫХ СТРУКТУРАХ СОЕДИНЕНИЙ АЗВ5 И А2В6, ВЫРАЩЕННЫХ НА ПОЛУИЗОЛИРУЮЩЕМ GaAs

**Е.Ю. Брайловский, Г.Н. Семенова, Ю.Г. Садофьев, Н.Е. Корсунская,
М.П. Семцов, М.Б. Шармбаев**

Исследовалось влияние ионизирующих излучений (электроны с $E = 1.8$ МэВ, γ -кванты ^{60}Co , рентгеновское излучение с $E \leq 100$ кэВ) на спектры фотолуминесценции (ФЛ) и отражения GaAs/GaAlAs и CdZnTe/ZnTe квантово-размерных структур. Структуры АЗВ5 с GaAs квантовыми ямами были выращены МOCVD-методом, структуры А2В6 с CdZnTe квантовыми ямами - на подложках полуизолирующего GaAs методом молекулярно-пучковой эпитаксии. Обнаружена высокая радиационная стойкость АЗВ5 квантовых ям при γ -облучении дозой $2 \cdot 10^9$ рад, при которой наблюдается деградация излучательных характеристик подложек GaAs. Для квантовых ям А2В6 деградация ФЛ имеет место при значительно меньших дозах облучения. По сдвигу энергии пиков ФЛ рассчитано изменение профиля ям в результате облучения. Обсуждается роль диффузии Cd и внутренних напряжений в радиационно-стимулированной деградации квантово-размерных структур.

1. Введение

Квантово-размерные АЗВ5 гетероструктуры, создаваемые на подложках арсенида галлия, находят широкое применение в качестве активных элементов современных полупроводниковых приборов: лазеров, оптических модуляторов, полевых транзисторов и т.д. Интерес к изучению квантово-размерных структур на основе А2В6 материалов обусловлен возможностью изготовления на их базе инжекционных источников когерентного [1] и некогерентного излучения, а также излучателей с электронной накачкой [2], перекрывающих практически весь видимый спектральный диапазон. Однако реализация данного класса гетероструктур столкнулась с проблемой деградации их свойств как во время работы, так и при различных видах термообработок при изготовлении приборов. Ухудшение качества гетероэпитаксиальных слоев обычно связывали с размножением дислокаций в активных областях при работе прибора. Существенную роль при этом может играть присутствие подвижных точечных дефектов на фоне релаксационных процессов, связанных с заметным рассогласованием параметров решеток слоев и подложки GaAs. Важным фактором также является наличие электронных возбуждений.

В данной работе изучено влияние электронного и γ -облучения, создающего точечные дефекты и электронные возбуждения, и облучения рентгеновскими квантами, создающими только электронные возбуждения, на изменение оптических характеристик ZnCdTe/ZnTe и AlGaAs/GaAs гетероструктур с квантовыми ямами (КЯ).

2. Методика эксперимента

Квантово-размерные структуры А2В6 выращивались на установке "Катунь" методом молекулярно-пучковой эпитаксии, детали технологии описаны в [3], а АЗВ5 – методом осаждения из газовой фазы с использованием металлоорганических соединений (так называемый МOCVD-метод). Параметры используемых в работе образцов и режимы облучения приведены в таблице.

Параметры исследуемых структур

№	Параметры КЯ	Вид обработки	Величина деформации ε (4, 2 К)
1-1	$\text{Cd}_{0,17}\text{Zn}_{0,83}\text{Te}$ $L_{z1} = L_{z2} = L_{z3} = 2\text{нм}$ $L_B = 2\text{нм}$	-----	$6,4 \cdot 10^{-4}$
1-2	$\text{Cd}_{0,17}\text{Zn}_{0,83}\text{Te}$ $L_{z1} = L_{z2} = L_{z3} = 2\text{нм}$ $L_B = 2\text{нм}$	$E = 1,8 \text{ МэВ}$ $D = 4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$
1-3	$\text{Cd}_{0,17}\text{Zn}_{0,83}\text{Te}$ $L_{z1} = L_{z2} = L_{z3} = 2\text{нм}$ $L_B = 2\text{нм}$	Рентгеновское излучение $D = 1 \cdot 10^4 \text{ рад}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$
4	$\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ $L_{z1} = 2,5 \text{ нм}$ $L_{z2} = 4,2 \text{ нм}$ $L_{z3} = 8,0 \text{ нм}$ $L_B = 100\text{нм}$	γ -кванты ^{60}Co $D = 2 \cdot 10^9 \text{ рад}$	-----

Измерения спектров ФЛ и отражения ($R(\lambda)$) в диапазоне от 1.4 до 2.4 эВ проводились в диапазоне температур от 4.2 до 80 К на автоматизированной установке с решёточным, а в диапазоне 0.6 - 1.4 эВ с призмённым монохроматорами. Спектры ФЛ возбуждались излучением аргонового лазера с $\lambda_1 = 0.51453 \text{ мкм}$ и $\lambda_2 = 0.488 \text{ мкм}$.

В работе применены два вида радиационной обработки структур А2В6: облучение электронами и рентгеновскими квантами. Облучение электронами с энергией 1,8 МэВ и интегральным флюенсом $4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ проводилось на импульсном ускорителе ИЛУ-6 в следующем режиме: длительность импульса 700 мкс, частота 25 Гц, плотность электронного тока в импульсе $3,5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Температура образцов при облучении не превышала 60 °С. При таком режиме облучения плотность энергии, выделяемой во время действия импульса в облучаемых структурах ZnTe, составляла $\approx 3 \cdot 10^{21} \text{ эВ/см}^3 \cdot \text{с}$ [4]. Учитывая, что для образования одной пары “электрон – дырка” при возбуждении высокоэнергетичным излучением требуется энергия $\approx 3 \cdot E_g \approx 10 \text{ эВ}$, где E_g – ширина запрещенной зоны, темп генерации электронно-дырочных пар составлял $\approx 3 \cdot 10^{20} \text{ пар/см}^3 \cdot \text{с}$. Всего же за время электронного облучения в структурах создавалось $\approx 3 \cdot 10^{23} \text{ пар/см}^3$. Наряду с ионизирующим действием при облучении электронами вследствие ударного смещения атомов образовались радиационные дефекты с концентрацией $N_{\text{рд}} \approx 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Облучение рентгеновскими квантами производилось на аппарате РАП 150/300 в непрерывном режиме сплошным спектром при напряжении на вольфрамовой трубке 100 кВ. Мощность экспозиционной дозы была 10 Р/с, экспозиционная доза составила $D = 10^4 \text{ Р}$. При облучении в структурах поглощалась энергия $\approx 5 \cdot 10^{17} \text{ эВ/см}^3 \cdot \text{с}$ [5], а вся поглощенная энергия составила $5 \cdot 10^{20} \text{ эВ/см}^3$. Таким образом, при рентгеновском облучении темп генерации электронно-дырочных пар составлял $\approx 5 \cdot 10^{16} \text{ пар/см}^3 \cdot \text{с}$, а общее количество образованных электронно-дырочных пар $\approx 5 \cdot 10^{19} \text{ пар/см}^3$. Так как энергия рентгеновских квантов ниже порога ударного смещения атомов, то образования дефектов при таком облучении не происходит.

Облучение структур А3В5 производилось γ -квантами ^{60}Co с дозой $2 \cdot 10^9 \text{ рад}$ при мощности дозы $2 \cdot 10^3 \text{ рад/с}$. При используемой мощности облучения образуется около $10^{16} \text{ пар/см}^3 \cdot \text{с}$ (всего $\approx 10^{22} \text{ пар/см}^3$). В результате такого облучения в GaAs и AlGaAs образуются радиационные дефекты с концентрацией $1 \div 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ [6].

3. Экспериментальные результаты и обсуждение

3.1. Спектры ФЛ исходных и облученных АЗВ5 структур с КЯ

На рис. 1 представлены типичные спектры низкотемпературной (77 К) НТ ФЛ для образца № 4 (см. таблицу) с тремя $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ -GaAs КЯ (КЯ₁ - $L_Z = 2,5$ нм, КЯ₂ - $L_Z = 4,2$ нм, КЯ₃ - $L_Z = 7,7$ нм, $L_B = 100$ нм, где L_Z - ширина ямы, L_B - ширина барьера, см. вставку на рис. 2), измеренные со стороны GaAs-подложки до и после γ -облучения. В спектрах ФЛ исходных образцов наблюдаются две полосы в околокраевой области ($I_1^{(D,X)} = 1,508$ эВ и $I_2^{(e,C)} = 1,49$ эВ) и две более широкие полосы ($I_3 = 1,38$ эВ, $I_4 = 0,78$ эВ). Полосы I_1 и I_2 приписываются экситону, связанному на доноре [7], и переходам электронов на примесный атом углерода [8], соответственно. Согласно работе [9], слабый пик I_3 может быть идентифицирован как излучение донорно-акцепторной пары ($V_{As}Cu_{Ga}$), а полоса I_4 обусловлена переходами электронов на глубокий донор, связанный с мышьяком ($D_{(As)}$). Из рис. 1 видно, что интенсивность всех полос в результате облучения уменьшается, что обычно объясняется образованием центров безызлучательной рекомбинации в результате γ -облучения ^{60}Co [6]. Для дозы облучения $2 \cdot 10^9$ рад получено, что отношение интегральных интенсивностей полос после облучения (I_Φ) к исходной (I_0) составляет около 10^{-2} для полос I_1 и I_2 , а для полосы I_4 значение $I_\Phi/I_0 \approx 0,5$. Различие в поведении отношения I_Φ/I_0 для различных полос указывает на то, что уменьшение интенсивности ФЛ при облучении обусловлено не только образованием центров безызлучательной рекомбинации, но и перестройкой центров свечения.

На рис. 2 показаны спектры низкотемпературной (4,2 К) ФЛ, образец № 4, измеренные со стороны нанесенных слоев. Узкие полосы, расположенные при 1,8425, 1,6972

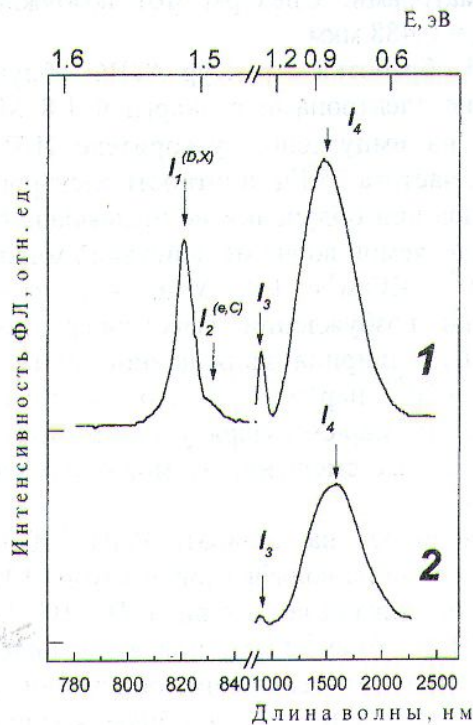


Рис. 1. Типичные спектры ФЛ GaAs подложки до (1) и после (2) γ -облучения, $D = 2 \cdot 10^9$ рад при 77 К. Возбуждение: $\lambda_{\text{exc}} = 632,8$ нм, $P \approx 2$ Вт/см².

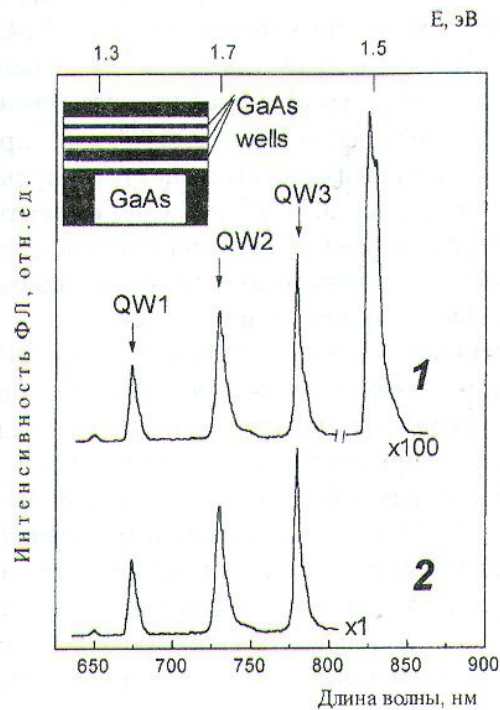


Рис. 2. Спектры ФЛ (4,2 К) исходного (1) и облученного (2) образца с тремя GaAs/ $\text{Al}_{0,28}\text{Ga}_{0,72}\text{As}$ КЯ с толщинами 25; 42 и 80 Å. На вставке схематически показана структура. Измерения проводились со стороны слоев. Возбуждение: $\lambda_{\text{exc}} = 632,8$ нм, $P \approx 5$ Вт/см².

и 1,5889 эВ для КЯ₁, КЯ₂, и КЯ₃ (673, 730,6 и 780,4 нм соответственно), обусловлены переходами электронов с $n = 1$ на экситонный уровень тяжелых дырок (1hh). Полная ширина на половине максимума (FWHM) составляет для этих линий 14, 20, и 7 мэВ соответственно. В результате γ -облучения дозой $2 \cdot 10^9$ рад не происходит изменений рекомбинационных характеристик КЯ (интенсивности и полуширины полос).

В то же время полоса излучения при ≈ 1.5 эВ от буферного эпитаксиального слоя GaAs практически полностью исчезает. Таким образом, при дозе γ -облучения $2 \cdot 10^9$ рад, при которой резко уменьшается интенсивность ФЛ для подложки полуизолирующего GaAs и в буферном слое эпитаксиального GaAs, излучательные характеристики КЯ GaAs/AlGaAs полностью сохраняются, что указывает на высокую радиационную стойкость оптических характеристик таких квантово-размер-ных структур.

3.2. Оптические спектры A2B6 гетероструктур с квантовыми ямами

Спектры ФЛ для образца № 1 с тремя туннельно связанными ямами (см. таблицу) приведены на рис. 3 (кривая 1), для длины волны возбуждения $\lambda_{\text{exc}} = 0.51453$ мкм, т. е. с энергией кванта, превышающей как ширину запрещенной зоны ZnTe и CdZnTe [10]), так и энергию рекомбинации электронно-дырочных пар в КЯ. Как видно из этого рисунка, спектр Т ФЛ состоит из нескольких полос в экситонной области от буферного ZnTe эпитаксиального слоя (ЭС) и доминирующей по интенсивности люминесценции от КЯ, I_{QW} . На фоне спектра НТ ФЛ от ЭС ZnTe и от КЯ проявляется серия узких (FWHM около 2 мэВ) полос, сдвинутых относительно частоты возбуждающего света на величину LO-фона, умноженную на $n = 1, 2, 3 \dots$ (эти полосы обусловлены комбинационным рассеянием света). Немонотонное изменение интенсивности с увеличением числа n связано с совпадением частот рамановских линий с линиями поглощения в буфере или в КЯ (так называемое резонансное усиление [11]). Наблюдаемую в спектре ФЛ экситонную линию с $h\nu = 2.3736$ эВ (522.4 нм), обычно связывают с наложением $I_{\text{FX}}^{\text{th}}$ компоненты свободного экситона и экситона, связанного на нейтральном доноре, либо с поляритоном [11]). Наблюдаются также линии с $h\nu = 2.37$ эВ (523.2 нм) экситона, связанного на нейтральном акцепторе (I_1^{A}) [12] (где акцептор либо As_{Zn} [13], либо V_{Zn}) и интенсивная неэлементарная полоса I_1^{C} с $h\nu = 2.3568$ эВ (526.13 нм), связанная с протяженными [14] или собственными дефектами [3].

Как видно из рис. 3, в экситонной области спектра после обоих видов облучения (кривые 2 и 3) наблюдается уменьшение общей интенсивности полос I_2^{Ga} , I_1^{A} и I_1^{C} . В области спектра излучения от КЯ также имело место уменьшение интенсивности полосы I_{QW} , но менее существенное.

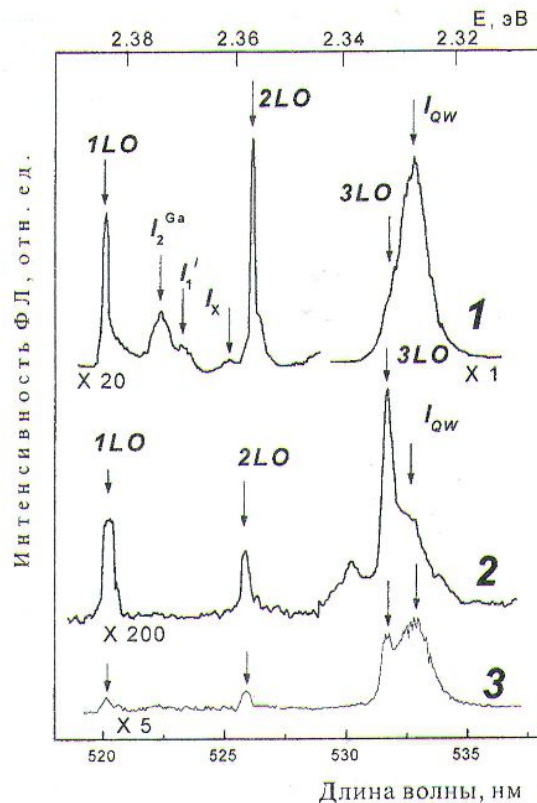


Рис. 3. Спектры ФЛ (4,2 К) исходного (1) и облученного электронами (2) и рентгеновскими лучами (3) образца с тремя туннельно связанными $\text{Cd}_{0.17}\text{Zn}_{0.83}\text{Te}/\text{ZnTe}$ КЯ. $\lambda_{\text{exc}} = 514,5$ нм.

Одновременно происходил сдвиг полосы I_{QW} в сторону больших энергий ($\Delta E \sim 0,7$ мэВ) при электронном облучении и в сторону меньших энергий ($\Delta E \sim 0,6$ мэВ) при рентгеновском облучении. Поскольку обнаружение возможных спектральных сдвигов полос в области экситонной люминесценции буфера затруднено из-за наложения линий рамановского рассеяния, мы исследовали также спектры отражения структур до и после облучения.

На рис. 4 показаны спектры отражения и ФЛ при 77 К того же образца, спектры ФЛ которого при 4,2 К приведены на рис. 3 до (кривые 1а, 1б) и после облучения рентгеновскими квантами и электронами (кривые 2 и 3). Как видно из соответствующих кривых 1а и 1б, на кривой отражения $R(\lambda)$ наблюдаются особенности, связанные с экситонными резонансами тяжелых дырок (I_{FX}^{hh}) и легких дырок (I_{FX}^{lh}). По положению и по расщеплению резонансов легких и тяжелых дырок в спектрах отражения была вычислена величина остаточных упругих деформаций. Для исходного образца она составила $\epsilon \approx 6,4 \cdot 10^{-4}$ (4,2 К). После облучения происходит смещение положения особенностей экситонного резонанса в сторону меньших длин волн. Это связано с заметной релаксацией (уменьшением) напряжений после облучения. Механизм радиационно-стимулированной релаксации напряжений в квантово-размерных структурах может быть связан с генерацией протяженных и точечных дефектов и/или с изменением состава ямы при интердиффузии ее компонент.

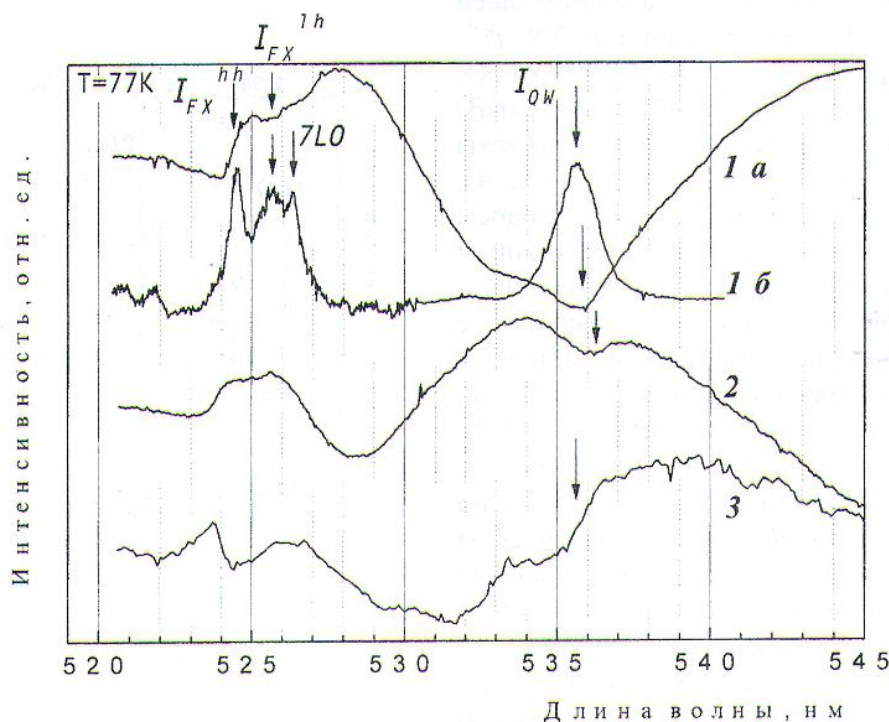


Рис. 4. Низкотемпературные спектры отражения (кривая 1а) и ФЛ (кривая 1б) исходной структуры с тремя туннельно связанными ямами $Cd_{0,17}Zn_{0,83}Te/ZnTe$ толщиной 2 нм и после облучения γ -квантами (кривая 2) и электронами (кривая 3). Возбуждение ФЛ $\lambda_{exc} = 4880 \text{ \AA}$.

Кроме особенностей, связанных с экситонами в буферном слое, в спектрах отражения $R(\lambda)$ при энергии, совпадающей с максимумом излучения от КЯ (I_{QW}) наблюдаются накладывающиеся на интерференционную картину особенности, которые «следят» за смещением максимума ФЛ при облучении. Эти особенности смещаются при рентгеновском облучении в сторону меньших энергий, а при облучении быстрыми электронами – в сторону больших энергий.

Как видно из приведенных выше данных, облучение квантово-размерных структур CdZnTe/ZnTe электронами и рентгеновскими квантами приводит к изменениям спектров ФЛ как от буферного ЭС, так и от КЯ. При этом в буферном ЭС наблюдается существенное уменьшение интенсивности люминесценции экситонов, связанных на дефектах и/или примесях, что может быть обусловлено с появлением центров безызлучательной рекомбинации вследствие протекания при облучении реакций дефектов.

Как отмечалось, полосы, связанные с КЯ, при облучении могут сдвигаться как в длинноволновую, так и в коротковолновую сторону. Аналогичный результат наблюдался и в CdZnSe/ZnSe структурах при инжекции носителей и при термообработке [15]. Длинноволновое смещение излучения от КЯ объяснялось релаксацией механических напряжений, а коротковолновое смещение изменением глубины ямы или профиля ее стенок [16] вследствие интердиффузии компонент ямы и барьера. Можно думать, что и в наших структурах изменение спектрального положения полосы свечения, связанной с КЯ, связано с процессами релаксации механических напряжений и расплывания КЯ. Действительно, после облучения наблюдается смещение в коротковолновую сторону экситонных линий от буферного ЭС под КЯ, что свидетельствует об уменьшении напряжений растяжения в этом слое. Так как в одиночном буферном ZnTe ЭС релаксация практически отсутствовала, то можно заключить, что в сложной гетероструктуре радиационно-стимулированная релаксация напряжений (связанных с рассогласованием параметров решеток ям и барьеров) в основном происходит между ямами и барьерами. Поскольку в КЯ имеют место напряжения сжатия, то их релаксация может приводить к длинноволновому сдвигу полосы ФЛ от КЯ. Мы оценили величину сдвига полосы ФЛ от КЯ ($\Delta E_{\text{ФЛ}}$) для

различных величин размытия стенок ямы на величину ΔL_z (рис. 5) в предположении, что глубина ямы не изменяется ($2 \cdot \Delta L_z < L_z$). Последовательность вычислений была следующей. Исходя из заданной толщины ямы, L_z и экспериментально измеренного положения полосы ФЛ от КЯ по калибровочным кривым, рассчитанным нами ранее [17], был определен состав ямы. Далее для простейшего случая (в предположении, что диффузионный профиль распределения Cd имеет экспоненциальную форму, выполняется закон Фика, коэффициент D интердиффузии не зависит от исходной концентрации компонент) было рассчитано положение уровней в яме из решения уравнения Шредингера и вычислен сдвиг положения ФЛ полосы от величины размытия ямы, ΔL_z . На рис. 5 приведены результаты расчета сдвига полосы ФЛ от величины диффузии L_z для ям разной толщины. Как следует из сопоставления расчета и эксперимента, для объяснения наблюдаемых сдвигов полосы I_{QW} достаточно предположения о размытии стенок ямы без изменения ее глубины. Сопоставление расчета и эксперимента в случае коротковолнового сдвига полосы позволяет также оценить коэффициент диффузии Cd, D_{Cd} в условиях облучения. Оказалось, что величина коэффициента диффузии ($D_{\text{Cd}} = (\Delta L_z)^2/t$, где t - время

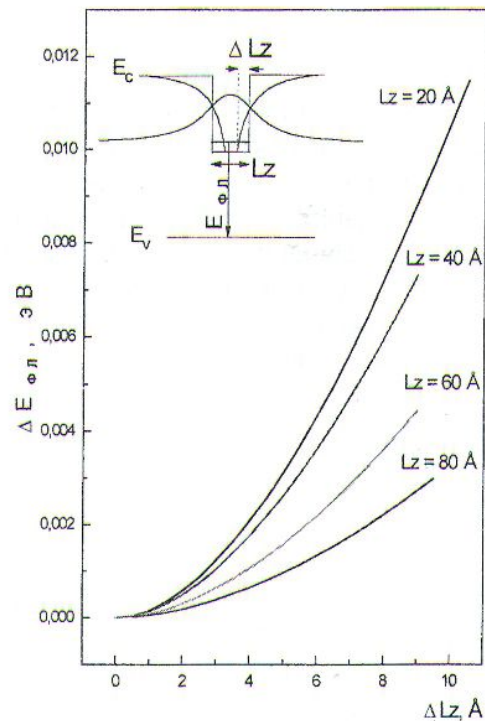


Рис. 5. Расчет энергетического сдвига положения полосы ФЛ прямоугольной Cd_{0.17}Zn_{0.83}Te/ZnTe единичной КЯ различной ширины L_z при изменении профиля стенок ямы. На вставке приведен используемый в работе экспоненциальный профиль.

облучения) $\approx 2 \cdot 10^{-17} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ для $T \approx 360 \text{ К}$, что существенно превышает величины равновесных коэффициентов диффузии (на несколько порядков) [15]. Существенно, что радиационно-стимулированные изменения в CdZnTe/ZnTe структурах происходят не только при облучении электронами, когда наряду с электронными возбуждениями происходит ударное смещение атомов [18], но и при облучении рентгеновскими лучами, когда такой процесс отсутствует. Это позволяет сделать вывод, что наличие электронных возбуждений является существенным фактором, вызывающим радиационно-стимулированное изменение характеристик исследованных структур. Более низкая концентрация электронно-дырочных пар при рентгеновском облучении соответствует меньшим изменениям спектров фотолуминесценции структур. Таким образом, в CdZnTe/ZnTe структурах облучение и электронами, и рентгеновскими лучами вызывает протекание радиационно-стимулированных реакций в буферном слое и диффузионное расплывание стенок ям.

В то же время в A3B5 структурах вплоть до доз $2 \cdot 10^9$ рад изменения наблюдаются лишь в буферном слое, т. е. радиационная стойкость GaAs КЯ оказалась существенно выше, чем стойкость ZnCdTe КЯ, что соответствует их более высокой термической стабильности. Одной из причин меньшей радиационной стойкости A2B6 КЯ, по сравнению с A3B5 КЯ, может быть большая дефектность таких структур. Действительно, как было показано нами ранее [19], в буферном (барьерном) слое под ZnCdTe КЯ наблюдается повышенная концентрация дефектов, в том числе V_{Zn} , что может способствовать протеканию процесса расплывания ям. Другой причиной может быть большая величина существующих в них механических напряжений.

4. Выводы

При изучении влияния электронного, рентгеновского и γ -облучения на оптические свойства гетероструктур с КЯ на основе GaAlAs/GaAs и CdZnTe/ZnTe наблюдалась повышенная радиационная стойкость A3B5 КЯ по сравнению с объемным и эпитаксиальным GaAs и деградация A2B6 КЯ при эквивалентных дозах облучения.

При сравнении действия рентгеновского излучения и ускоренных электронов показана существенная роль электронных возбуждений в радиационно-ускоренной деградации квантово-размерных структур A2B6. В качестве основных причин низкой радиационной стойкости A2B6 КЯ рассмотрены высокая плотность дефектов в барьерном слое и высокий уровень внутренних напряжений. Обсуждена существенная роль радиационно-ускоренной диффузии Cd в деградационных процессах в квантово-размерных структурах на основе CdTe.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов С. В., Горопов А. А., Сорокин С. В. и др. Молекулярно-пучковая эпитаксия переменного напряженных многослойных гетероструктур для синие-зеленых лазеров на основе ZnSe // ФТП. - 1998. - Т. 32. - С. 1272.
2. Басов М. Г., Дианов Е. М., Козловский В. И. и др. Лазерная электронно-лучевая трубка на основе сверхрешетки ZnCdSe/ZnSe, работающая при $T = 300 \text{ К}$ // Квантовая электроника. - 1995. - Т. 22. - С. 756.
3. Козловский В. И., Крыса А. В., Садофьев Ю. Г. и др. Эпитаксиальные слои ZnTe и квантовые ямы CdZnTe/ZnTe, выращенные молекулярно-пучковой эпитаксией на подложках GaAs (100) с использованием твердофазной кристаллизации затравочного аморфного слоя ZnTe // ФТП. - 1999. - Т. 33, вып. 7. - С. 810.

4. *Радиационная дозиметрия: Электронные пучки с энергиями от 1 до 50 МэВ // Докл. 35 МКРЕ: Пер.с англ. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - С. 280.*
5. *Бакушев В. А., Ветчинкин И. В., Владимиров Л.В. Рентгентехника. - М.: Машиностроение, 1980. - С. 431.*
6. *Pons D., Bourgoin J. C. Irradiation-induced defects in GaAs // J. Phys. C., Sol. State Phys. - 1985. - Vol. 18 - P. 3839.*
7. *Hsu J. K., Jones S. H., Lau K. M. A new analytical technique of photoluminescence for optimization of organometallic chemical vapor deposition // J. Appl. Phys. - 1994. - Vol. 60. - P. 3781.*
8. *Pavesi L., Guzzi M. Photoluminescence of Al_xGa_{1-x}As alloys // J. Appl. Phys. - 1994. - Vol. 75. - P. 4779.*
9. *Глинчук К. Д., Гурошев В. И., Прохорович А. В. Использование фото- и катодоллюминесценции для изучения физических свойств полупроводниковых нелегированных кристаллов арсенида галлия с целью создания на их основе интегральных схем (обзор) // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. - 1992. - Вып. 24. - С. 66.*
10. *Гавриленко В. И., Грехов А. М., Корбутяк Д. В., Литовченко Г. В. // Оптические свойства полупроводников. - Киев: Наук. думка, 1987. - С. 607.*
11. *Багаев В. С., Зайцев В. В., Калинин В. В. и др. Экситонная люминесценция и резонансное КР субмонослоев CdTe в пленках ZnTe, полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии // Письма в ЖЭТФ. - 1993. - Т. 58, вып. 2. - С. 82.*
12. *Dessus J. L., Dang Le. Si., Nahmani A. et. al. Zeeman spectroscopy of exciton bound to trigonal acceptor center in ZnTe // Sol. Stat. Com. - 1981. - Vol.37. - P. 689.*
13. *Wagner H. P., Kuhn W., Gebhardt W. Photoluminescence properties of MOVPE grown ZnTe layers on (100) GaAs and (100) GaSb // J. Cryst. Growth. - 1990. - Vol. 101. - P. 199.*
14. *Венгер Е. Ф., Садофьев Ю. Г., Семенова Г. Н., и др. Излучение, связанное с протяженными дефектами в эпитаксиальных слоях ZnTe/GaAs и многослойных структурах // ФТП. - 2000. - Т. 34, вып. 2. - С. 13.*
15. *Toda A., Nakano K., Ishibashi A. Cathodoluminescence study of degradation in ZnSe-based semiconductor laser diodes // Appl. Phys. Lett. - 1998. - Vol. 73. - P. 1523.*
16. *Frijlink P. M., Maluenda J. MOVPE growth of Ga_{1-x}Al_xAs-GaAs quantum well heterostructures // J. Appl. Phys. - 1982. - Vol. 21. - P. L574.*
17. *Venger E. F., Semenova G. N., Braylovsky E. Yu. et. al. The effect of irradiation on the quantum-size layers properties, grown on semiinsulating GaAs // SPIE Proceed. - 2000. - in the press.*
18. *Seto S., Tanaka A., Takeda F., Matsuura K. Defect-induced emission in CdTe // J. Cryst. Growth. - 1994. - Vol. 138. - P. 346.*
19. *Venger E. F., Sadofev Yu. G., Semenova G. N. et. al. Lateral and depth inhomogeneities in Zn-based heterostructures grown on GaAs by MBE // Thin Solid Films. - 2000. - Vol. 367. - P. 184.*

ДЕЯКІ РАДІАЦІЙНІ ЕФЕКТИ В КВАНТОВО-РОЗМІРНИХ СТРУКТУРАХ СПОЛУК АЗВ5 І А2В6, ВИРОЩЕНИХ НА НАПІВІЗОЛЮЮЧОМУ GaAs

**Є.Ю. Брайловський, Г.М. Семенова, Ю.Г. Садоф'єв, Н.О.Корсунська,
М.П. Семців, М.Б. Шарібаєв**

Досліджувався вплив іонізуючих випромінювань (електрони з $E = 1.8$ MeV, γ -кванти ^{60}Co , рентгенівське випромінювання з $E \leq 100$ keV) на спектри фотоллюмінесценції (ФЛ) і відбивання GaAs/GaAlAs і CdZnTe/ZnTe квантово-розмірних структур. Структури АЗВ5 з GaAs квантовими ямами було вирощено МOCVD-методом, структури А2В6 з CdZnTe квантовими ямами - на підкладках напівізолюючого GaAs методом молекулярно-пучкової епітаксії. Виявлено високу радіаційну стійкість АЗВ5 квантових ям при γ -опроміненні дозою $2 \cdot 10^9$ рад, при якій спостерігається деградація випромінювальних характеристик підкладок GaAs. Для квантових ям А2В6 деградація ФЛ відбувається при значно менших дозах опромінення. За зсувом енергії піків ФЛ розраховано зміну профілю ям у результаті опромінення. Обговорюється роль дифузії Cd і внутрішніх напружень у радіаційно-стимульованій деградації квантово-розмірних структур.

**SOME RADIATION EFFECTS IN QUANTUM-SIZE
A3B5 AND A2B6 STRUCTURES, GROWN ON SEMIINSULATING GaAs**

**Ye. Yu. Braylovsky, G.N. Semenova, Yu.G. Sadofyev, N.Ye. Korsunskaya,
M.P. Semtsiv, M.B. Sharibaev**

The effect of electron ($E=1.8$ MeV), γ -quantum ^{60}Co and X-ray irradiation ($E\leq 100$ keV) on the photoluminescence, PL, and optical reflection of the GaAs/GaAlAs i CdZnTe/ZnTe quantum-size structures. The quantum wells, QWs, of the A3B5 structures were grown by the MOCVD-technique, the QWs of the A2B6 structures were grown by the MBE method on the semiinsulating, SI, GaAs substrates. The high radiation hardness of A3B5 QWs after irradiation up to dose of $2\cdot 10^9$ rad was found, while SI GaAs substrates manifested characteristics degradation under such irradiation dose. A2B6 QWs tends to degrade under sufficiently lower irradiation dose. The well profile change was calculated from PL peak energy shift. The role of Cd diffusion and internal strain in radiation enhanced quantum-size structures degradation is discussed.