

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ МЕТОДОМ
ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В КВАНТОВО-РАЗМЕРНЫХ СТРУКТУРАХ
 $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ ZNTE/GAAS**

Шарибаев М.Б.

Көшкинбаева Қ.

Шамуратова А.

Каракалпакский государственный университет им. Бердаха, Нукус.

murat.sharibaev@mail.ru

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15037790>

Аннотация. С воздействием электронного и рентгеновского облучения в буферных слоях квантово-размерных структур $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}/\text{GaAs}$ определено изменение оптических характеристик. Определены изменение максимумы, полосы соответствующие 500 нм и 560-580 нм, связанные переходами на DA парах, а так же полосы $I_1=2.48$ eV(500 нм), $I_2=2.21$ eV(550 нм). Полосе I_2 приписывают переход, связанный с собственными дефектами в ЭС.

Ключевые слова: Квантово-размерные структуры, протяженные дефекты, фотолюминесценция, температурные зависимости.

**DETERMINATION OF RELAXATION PROCESSES BY PHOTOLUMINESCENCE IN
QUANTUM-SIZE STRUCTURES CDXZN1-XTE ZNTE/GAAS**

Abstract. With the influence of electron and X-ray irradiation in the buffer layers of quantum-size structures $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}/\text{GaAs}$ a change in the optical characteristics was determined. The change in the maxima, bands corresponding to 500 nm and 560-580 nm, associated with transitions on DA pairs, as well as the bands $I_1 = 2.48$ eV (500 nm), $I_2 = 2.21$ eV (550 nm) were determined. The band I_2 is attributed to the transition associated with intrinsic defects in the ES.

Keywords: Quantum-size structures, extended defects, photoluminescence, temperature dependences.

Введение. Интерес к излучению квантово-размерных структур на основе A_2B_6 материалов обусловлен возможностью изготовления на их базе инжекционных источников когерентного [1] и некогерентного излучения, а также излучателей с электронной накачкой [2-3], перекрывающих практически весь видимый диапазон.

Спектр НТ ФЛ квантово-размерных структур $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ ZnTe/GaAs рассматривалась в трех энергетических областях:

1. Область связанных экситонов и переходов на маленькие уровни из зоны проводимости (519-550 нм).

2. Область излучения донорно-акцепторных пар (550-590 нм).

3. Область, соответствующая излучательной рекомбинации на глубоких дефектах (590-775 нм).

Квантово-размерные структуры выращивались методом молекулярно-лучевой эпитаксии на установке “Катунь”. Методом низко температурной фотоотражения, фотолюминесценции (НТ ФЛ $T=4,2$ и 77 К) исследовались качества эпислоя ZnTe и границы раздела ZnTe/GaAs.

Измерения спектров фотолюминесценции, PL, и отражения ($R(\lambda)$), проводились при 4.2 и 77 К на спектральном приборе с разрешением ≤ 0.5 мэВ.

Спектры PL возбуждались излучением Ar лазера модели LGN-503 с $\lambda_1=0.5145$ и $\lambda_2=0.4880$ мкм.

Облучение электронами с энергией 1.8 МэВ и интегральным флюенсом 4×10^{16} см $^{-2}$ проводили на импульсном ускорителе ИЛУ-6 в следующем режиме: длительность импульса 700 мкс, частота 25 Гц, плотность электронного тока в импульсе $3,5 \times 10^{14}$ см $^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

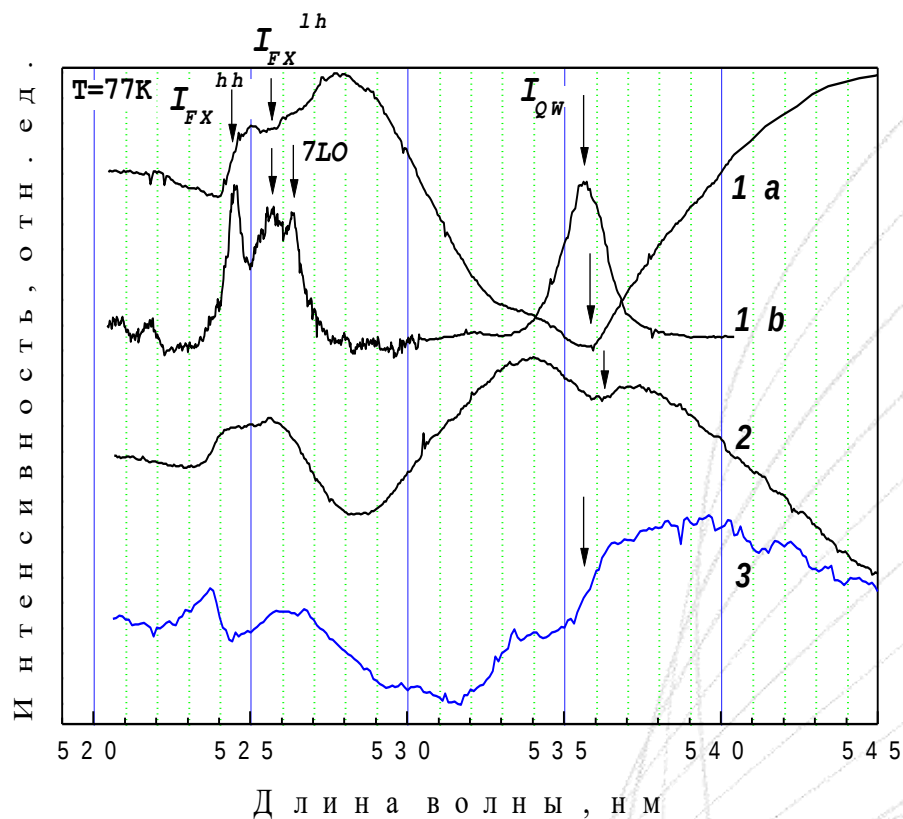
Как видно из рисунка рис-1, на кривой отражения, $R(\lambda)$, наблюдаются особенности, связанные с экситонными резонансами тяжёлых и лёгких ($I_{\text{FX}}^{\text{lh}}$ и $I_{\text{FX}}^{\text{hh}}$, отмечено стрелками) дырок.

По положению и по расщеплению резонансов легких и тяжелых дырок в спектрах отражения была вычислена величина остаточных упругих деформаций.

Остаточные упругие деформации $\varepsilon(\varepsilon_{xx} = \varepsilon_{yy})$ были вычислены по формуле [3]: $\Delta E = 2b \cdot \varepsilon \cdot (S_{11} - S_{12}) / (S_{11} + S_{12})$, где $\Delta E = F_X^{\text{lh}} - F_X^{\text{hh}}$ (мэВ); деформационный потенциал $b = +1,30$ эВ; коэффициенты упругости $S_{11} = 2,4 \cdot 10^{-11}$ и $S_{12} = -0,87 \cdot 10^{-11}$ м $^2 \cdot \text{Н}^{-1}$. Величина деформаций растяжения составила $\varepsilon = 6,5 \cdot 10^{-4}$, 77 К.

После облучения происходило незначительное смещение особенностей экситонного резонанса в сторону меньших длин волн и уменьшение величины ΔE по отношению к исходному образцу.

Величина деформаций для облучённого образца составила величину $\varepsilon = 6,24 \cdot 10^{-4}$, 77 К, т.е произошла релаксация упругих деформации на величину $(\varepsilon_0 - \varepsilon_{\phi}) / \varepsilon_0 \cdot 100\% = 4\%$ где $\varepsilon_{0,\phi}$ -деформации в исходном (облучённом) образце, соответственно. [4-5],



На Рис.1 приведены спектры отражения, $R(\lambda)$, исходного буферного ZnTe слоя без квантово-размерных слоев до (кривая 1) и после облучения электронами (кривая 2).

Изменение величины упругих деформаций, вычисленное из спектров низкотемпературной PL того же образца, исходного и облученного электронами, по смещению положения полосы, связанного на тяжелой дырке (I_{FX}^{hh}) экситона ($h\nu_0=2.3800$ эВ, 4.2 K) составило величину $\Delta\varepsilon=1.6 \cdot 10^{-5}$, что достаточно хорошо согласуется с данными, полученными из спектров отражения при 4.2 K. По спектрам экситонных линий были идентифицированы природа дефектов в эписле, так и на границе раздела. Было установлено существенно неоднородное распределение Ga в приповерхностной области.

Оказалось, что у самой поверхности ЭС ZnTe концентрация галлия существенно возрастает т.е. происходит собрание галлия вблизи поверхности роста. Одновременно происходит увеличение концентрации V вблизи поверхности. 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 или с изменением состава ямы при интердиффузии ее компонент.

Кроме особенностей, связанных с экситонами в буферном слое, в спектрах отражения $R(\lambda)$ при энергии, совпадающей с максимумом излучения от квантовой ямы (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.

Действительно, после облучения наблюдается смещение в коротковолновую сторону экситонных линий, 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 эпитаксиальным слоем и подложкой. При этом, эпитаксиальных слоях 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

Предполагается, что доноры Ga диффундируют в GaAs подложки в пленку ZnTe в процессе роста. В области гетерограницы ЭС- подложка отчетливо проявляется полоса ФЛ 810-860 нм. Видно полоса $\lambda=833,4$ нм, соответствующая переходу $e-Zn$. Следы остаточного акцептора Zn на фоне гораздо более интенсивных переходов связанных с остаточными примесями показывает, что происходит диффузия Zn в подложку GaAs. Переходной слой пленка-подложка формируется в процессе роста, а вовсе не вследствие классической гетеродиффузии компонент в пленке и подложке. После облучения электронами в эпитаксиальных пленках наблюдается смещение в коротковолновую сторону экситонных линий от буферного ЭС, под КЯ, что свидетельствует об уменьшении напряжений растяжения в этом слое. Поскольку в одиночном буферном ЭС (ZnTe) релаксация практически отсутствует, то можно полагать, что в сложной гетероструктуре радиационно-стимулированная релаксация напряжений в основном происходит между ямами и барьерами (связанных с рассогласованием параметров ям и барьеров).

REFERENCES

1. Иванов С.В., Торопов А.А., Сорокин С.В. и др.//ФТП.-2012.-Т.32.-С. 1272.
2. Басов М.Г., Дианов Е.М., Козловский В.И. и др.// Квантовая электроника.-2013.-Т.22.-С.756.
3. J.O. Williams, A.C. Wright, H.M. Yates, “High resolution and conventional transmission electron microscopy in the characterization of thin films and interfaces involving II-VI materials”, J.Cryst.Growth, 1992, v.117, No, pp.441-453.

4. W. Kuhn, H.P. Wagner, H. Stanzl, K. Wolf, K. Worle, S. Lankes, J. Bertz, M. Worz, D. Lichtenberger, H. Leiderer, W. Gebhardt, R. Tribolet, "The MOVPE growth and doping of ZnTe", *Semicond. Sci. Technol.*, 2016, v.6, No9A, pp.A105-A108.
5. M.A. Fload, M. Watt, A.P. Smart, C.M. Sotomayor Torres, C.D. Wilkinson, W. Kuhn, H.P. Wagner, S. Bauer, H. Leiderer, W. Gebhardt, "High-resolution dry etching of zinc telluride: characterization of etched surfaces by X-ray photoelectron spectroscopy, photoluminescence and Raman Scattering", *Semicond. Sci. Technol.*, 2019, v.6, №6A, pp.A115-A122.