

**ВЛИЯНИЕ ГАММА, ЭЛЕКТРОННЫХ И РЕНТГЕНОВСКИХ ОБЛУЧЕНИИ НА  
КВАНТОВО-РАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР СОЕДИНЕНИЙ  $A_3B_5$  И  $A_2B_6$ .****Насиров Мардонбек Халдарбекович., Нематов Хусниддин Мухитдин Ўғли**

**Аннотация.** Квантово-размерные  $A_3B_5$  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  $A_2B_6$  материалов обусловлен возможностью изготовления на их базе инжекционных источников когерентного [1] и некогерентного излучения, а также излучателей с электронной накачкой, перекрывающих практически весь видимый спектральный диапазон.

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА**

Квантово-размерные структуры  $A_2B_6$  выращивались на установке "Катунь" методом молекулярно-пучковой эпитаксии, детали технологии описаны в [2], а  $A_3B_5$  – методом осаждения из газовой фазы с использованием металлоорганических соединений (т. н. МOCVD-метод). Параметры используемых в работе образцов и режимы облучения приведены в таблице.

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

В работе применены два вида радиационной обработки структур  $A_2B_6$ : облучение электронами и рентгеновскими квантами. Облучение электронами с энергией 1,8 МэВ и интегральным флюенсом  $4 \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup> проводилось на импульсном ускорителе ИЛУ-6 в следующем режиме: длительность импульса 700 мкс, частота 25 Гц, плотность электронного тока в импульсе  $3,5 \cdot 10^{14}$  см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>. Температура образцов при облучении не превышала 60 °С. При таком режиме облучения плотность энергии, выделяемой во время действия импульса в облучаемых структурах ZnTe, составляла  $\approx 3 \cdot 10^{21}$  эВ/см<sup>3</sup>·с. Учитывая, что для образования одной пары электрон-дырка при возбуждении высокоэнергетичным излучением требуется энергия  $\approx 3 \cdot E_g \approx 10$  эВ, где  $E_g$  – ширина запрещенной зоны, темп генерации электронно-дырочных пар составлял  $\sim 3 \cdot 10^{20}$  пар/см<sup>3</sup>·с. Всего же за время электронного облучения в структурах создавалось  $\sim 3 \cdot 10^{23}$  пар/см<sup>3</sup>. Наряду с ионизирующим действием, при облучении электронами вследствие ударного смещения атомов образовались радиационные дефекты с концентрацией  $N_{рд} \approx 10^{17}$  см<sup>-3</sup>. [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  $D = 10^4$  Р. При облучении в структурах поглощалась энергия  $\sim 5 \cdot 10^{17}$  эВ/см<sup>3</sup>·с, а вся поглощенная энергия составила  $5 \cdot 10^{20}$  эВ/см<sup>3</sup>. [4]

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ**

На рис.1 представлены типичные спектры низкотемпературной (77К) НТ ФЛ для образца №4 (см. таблицу) с тремя  $Al_{0,3}Ga_{0,7}As$ -GaAs квантовыми ямами ( $KY_1-L_z=2,5$ нм,  $KY_2-$

$L_Z=4,2$  нм КЯ<sub>3</sub>- $L_Z=7,7$  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  $\gamma$ -облучения.

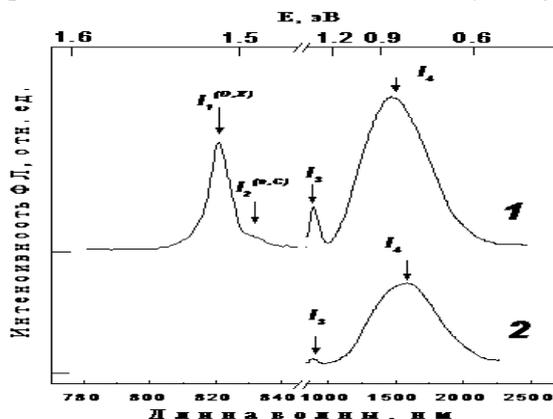


Рис. 1. Типичные спектры ФЛ GaAs подложки до (1) и после (2)  $\gamma$ -облучения,  $D = 2 \cdot 10^9$  рад, при 77 К. Возбуждение:  $\lambda=632,8$  нм,  $P \approx 2$  Вт/см<sup>2</sup>.

[5] В спектрах ФЛ исходных образцов наблюдаются две полосы в околкарсовой области ( $I_1^{(DX)}=1.508$  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, и переходам электронов на примесный атом углерода, соответственно. Согласно работе [6], 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

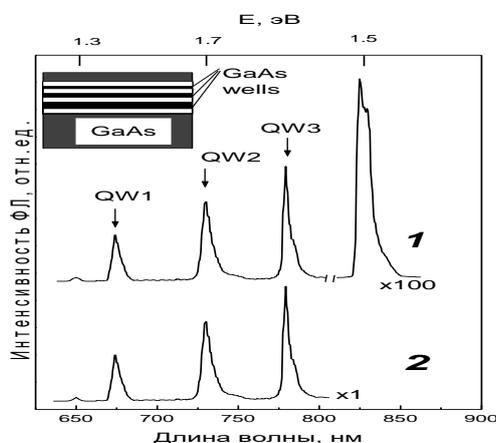
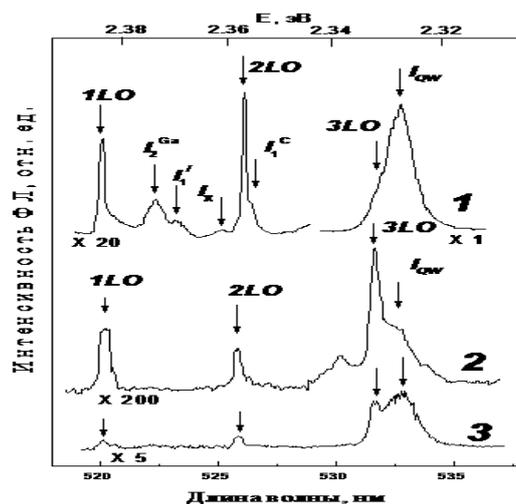


Рис. 2. Спектры ФЛ (4,2) исходного (1) и облученного образца с тремя GaAs/Al<sub>0.28</sub>Ga<sub>0.72</sub>As КЯ с толщинами 25; 42 и 80 Å. На вставке схематически показана структура. Измерения проводились со стороны слоев.

интенсивность всех полос в результате облучения уменьшается, что обычно объясняется образованием центров безызлучательной рекомбинации в результате  $\gamma$ -облучения <sup>60</sup>Co. [7] Для дозы облучения  $2 \cdot 10^9$  рад получено, что отношение интегральных интенсивностей полос после облучения ( $I_F$ ) к исходной ( $I_0$ ) составляет  $\sim 10^{-2}$  для полос  $I_1$  и  $I_2$ , а для полосы  $I_4$  значение  $I_F/I_0 \approx 0.5$ . Различие в поведении отношения  $I_F/I_0$  для различных полос указывает на то, что уменьшение интенсивности ФЛ при облучении обусловлено не только образованием центров безызлучательной рекомбинации, но и перестройкой центров свечения. Спектры ФЛ для образца №1 с тремя туннельно связанными ямами 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 [8]), так и энергию рекомбинации электронно-дырочных пар в КЯ. Как видно из этого рисунка, спектр НТ 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  $\sim 2$  мэВ) полос, сдвинутых относительно частоты возбуждающего света на величину LO-фонона, 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 квантовой яме, (т. н. резонансное усиление [9]). Наблюдаемую в спектре ФЛ экситонную линию с  $h\nu = 2.3736$  эВ (522.4 нм), обычно связывают с наложением  $I_{FX}^{lh}$  компоненты свободного экситона и экситона, связанного на нейтральном доноре, либо с поляритоном [10]). Наблюдаются также линии с  $h\nu = 2.37$  эВ (523.2 нм) экситона, связанного на нейтральном акцепторе ( $I_I'$ ) и интенсивная неэлементарная полоса  $I_I^C$  с  $h\nu = 2.3568$  эВ (526.13 нм), связанная с протяженными или собственными дефектами [11]. Как видно из рис. 3, в экситонной области спектра после обоих видов облучения (кривые 2 и 3) наблюдается уменьшение общей интенсивности полос  $I_2^{Ga}$ ,  $I_I'$  и  $I_I^C$ . В области спектра излучения от квантовых ям также имело место уменьшение интенсивности полосы  $I_{QW}$ , но менее существенное. 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. [12]



**ВЫВОДЫ.** При сравнении действия рентгеновского излучения и ускоренных электронов показана существенная роль электронных возбуждений в радиационно ускоренной деградации квантово-размерных структур А2В6. В качестве основных причин низкой радиационной стойкости А2В6 КЯ рассмотрены высокая плотность дефектов в барьерном слое и высокий уровень внутренних напряжений. Обсуждена существенная роль радиационно

ускоренной диффузии Cd в деградиационных процессах в квантово-размерных структурах на основе CdTe. [13]

### Список литературы

1. Расулов, В. Р., Расулов, Р. Я., Эшболтаев, И. М., Насиров, М. Х., & Муминов, И. (2016). ЛИНЕЙНО-ЦИРКУЛЯРНЫЙ ДИХРОИЗМ ОДНО ФОТОННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ. УЧЕТ ЭФФЕКТА КОГЕРЕНТНОГО НАСЫЩЕНИЯ. *American Scientific Journal*, (7), 44-47.
2. Rasulov Voxob Rustamovich, Rasulov Rustam Yavkachovich, Eshboltaev Iqbol Mamirjonovich, Sultonov Ravshan Rustamovich, and Nasirov Mardonbek Xoldorbekovich. "ON THE THEORY OF FOUR PHOTONIC LINEAR CIRCULAR DICHROISM IN A HOLE-CONDUCTION SEMICONDUCTOR" *European science review*, no. 5-6, 2020, pp. 77-80.
3. Zaylobidinovich, P. B., Mardon, N., Valijon, M., & Jurabek, R. (2018). SPECTRUM OF THE SHORT CIRCUIT PHOTO CURRENT OF CDTE, CDTE: INPHOTOLOLATIC FILMS DEPENDING ON THE TEMPERATURE. *European science review*, 1(11-12), 108-110.
4. Nasirov, M.X., Axmadjonov, M. F., Nurmatov, O.R., and Abdullayev, Sh.Sh.. "O'LCHAMLI KVANTLASHGAN STRUKTURALARDA KVAZIZARRALAR" *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, vol. 1, no. 11, 2021, pp. 166-174.
5. Полвонов, Б. З., Насиров, М., Мирзаев, В., & Расулов, В. Р. (2019). Исследование низкотемпературной фотолюминесценции кристаллов в области экситонного резонанса. In *НАУКА РОССИИ: ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ* (pp. 8-11).
6. Исследование температурной зависимости спектров фототока короткого замыкания пленок Cdte, Cdte:in / Б. З. Полвонов, М. Насиров, И. А. Муминов, М. А. Маматова // *European Scientific Conference : сборник статей XII Международной научно-практической конференции : в 2 ч., Пенза, 08 января 2019 года. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2019. – С. 127-131. – EDN YSJJDDV.*
7. Polvonov, Bakhtiyor Zaylobidinovich, Mardonbek Haldarbekovich Nasirov, and Mehriddin Fakhridinovich Akhmadjonov. "THE THERMAL FIELD MIGRATION AND ELECTRODIFFUSION OF CHARGED POINT DEFECTS IN POLYCRYSTALLINE FILMS." *Scientific Bulletin of Namangan State University* 2.2 (2021): 40-47.
8. Rasulov, V. R., Akhmedov, B. B., & Muminov, I. A. (2021). Interband one-and two-photon absorption of polarized light in narrow-gap crystals. *Scientific-technical journal*, 4(1), 28-31.
9. Arabboyevich, M. I. (2023). MAGNIT MAYDONDAGI ELEKTRONLAR HARAKATI, LANDAU KVANTLASHISH SHARTLARI. SUSTAINABILITY OF EDUCATION, SOCIO-ECONOMIC SCIENCE THEORY, 1(6), 20-24.
10. Arabboyevich, M. I., & Alijon o'g'li, M. A. (2023). IDEAL GAZLARDA KVANT STATISTIKASI TAHLILI. PEDAGOGICAL SCIENCES AND TEACHING METHODS, 2(20), 235-237.
11. Nurmatov, O. R., et al. "TALABALARGA "MATEMATIK MAYATNIKNING TEBRANISH QONUNI" MAVZUSINI MATEMATIK USULLAR BILAN TUSHUNTIRISH." *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences* 1.11 (2021): 133-140.
12. Axmadjonov, M.F., and Mirzaraximov, M. A.. "FIREBASE IN REAL-TIME SYSTEMS BASED ON CLIENT SERVER TECHNOLOGY" *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, vol. 2, no. 1, 2022, pp. 146-150.
13. Tolaboyev, Dilmuhammad Xayitali O'G'Li, Mirzayev, Valijon To'Lqinovich, Axmadjonov, Mexriddin Faxridinovich, Abdullayev, Sherzod Shuhratjon O'G'Li, and Raximjonov, Jahongir Saydaxmat O'G'Li. "YARIMO'TKAZGICHLARDA ICHKI NUQTAVIY NUQSONLARINING TERMODINAMIKASI" *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, vol. 2, no. 4, 2022, pp. 231-240.