ВЛИЯНИЕ γ-ОБЛУЧЕНИИ НА ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КВАНТОВЫХ ЯМАХ CdZnSe/ZnSe

Шарибаев Муратбай Борибаевич – *кандидат физико-математических наук*
Каракалпакский государственный университет имени Бердаха
Юсупов Оралбай Наурызбаевич – *старший преподаватель*
yuon2072@gmail.com
Каландарова Шахноза Кувандиковна – *докторант*
Нукусский государственный педагогический институт имени Ажинияза
Абдикамалова Динара – *студент*
Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

CdZnSe/ZnSe KVANT O‘RALARINING FOTOLYUMINESSENT XUSUSIYATLARIGA γ-NURLANIShNING TA’SIRI

Sharibayev Muratbay Bo‘ribayevich – *fizika-matematika fanlari nomzodi*
Berdaq nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti
Yusupov Oralbay Naurizbayevich – *katta oqituvchi*
Qalandarova Shahnoza Quvondiqovna – *doktorant*
Ajiniyoz nomidagi Nukus davlat pedagogika instituti
Abdikamalova Dinara – *talaba*
Berdaq nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti

INFLUENCE OF γ-RADIATION ON THE PHOTOLUMINESCENCE PROPERTIES OF CdZnSe/ZnSe QUANTUM WELLS

Sharibaev Muratbay Boribaevich – *Candidate of Physical and Mathematical Sciences*
Karakalpak State University named after Berdakh
Yusupov Oralbay Nauryzbaevich – *senior teacher*
Kalandarova Shakhnoza Kuvandikovna – *doctoral student*
Nukus State Pedagogical Institute named after Ajiniyaz
Abdikamalova Dinara – *student*
Karakalpak State University named after Berdakh

Таянч сўзлар: квант ўралари, CdZnSe/ZnSe, фотолюминессенция, γ-нурланиш, радиацион нуқсонлар, ҳароратга боғлиқлик, иўғотиш қуввати, ташувчилар рекомбинацияси, квант ўлчамли тузилмалар.

Резюме. Мақолада γ-нурланишнинг CdZnSe/ZnSe квант ўраларининг фотолюминессент хусусиятларига таъсири ўрганилган. Тадқиқотлар турли оптик қўзғатиш даражалари ва ҳароратларда турли тузилиш параметрларига эга намуналар учун ўтказилди. Дастлабки ва γ-нурлантирилган намуналарнинг фотолюминесценция спектрлари қиёсий таҳлил қилинди. Заряд ташувчилар ҳолатининг ўзгариши ва квант ўлчамли структурада радиацион-индуцирланган нуқсонли ҳолатларнинг шаклланиши билан боғлиқ фотолюминесценция чизиқлари ҳолати, интенсивлиги ва шаклининг ўзгариши аниқланди.

Ключевые слова: квантовые ямы, CdZnSe/ZnSe, фотолюминесценция, γ-облучение, радиационные дефекты, температурная зависимость, мощность возбуждения, рекомбинация носителей, квантово-размерные структуры.

Резюме. В статье исследовано влияние γ-облучения на фотолюминесцентные свойства квантовых ям CdZnSe/ZnSe. Исследования выполнены для образцов с различными параметрами структуры при различных уровнях оптического возбуждения и температурах. Проведен сравнительный анализ спектров фотолюминесценции исходных и γ-облучённых образцов. Установлены изменения положения, интенсивности и формы полос фотолюминесценции, связанные с изменением состояния носителей заряда и формированием радиационно-индуцированных дефектных состояний в квантово-размерной структуре.

Key words: quantum wells, CdZnSe/ZnSe, photoluminescence, γ-irradiation, radiation defects, temperature dependence, excitation power, carrier recombination, quantum-dimensional structures.

Summary. The article investigates the effect of γ-irradiation on the photoluminescence properties of CdZnSe/ZnSe quantum wells. The investigations were carried out on samples with different structural parameters at various levels of optical excitation and temperatures. A comparative analysis of the photoluminescence spectra of the initial and γ-irradiated samples was carried out. Changes in the position, intensity and shape of the photoluminescence bands were identified, associated with alterations in the state of charge carriers and the formation of radiation-induced defect states in the quantum-sized structure.

Введение. В последнее время, в связи с быстрым развитием технологий эпитаксиального роста полупроводниковых пленок и изготовление новых типов напряженных гетероструктур привлекло большое внимание как по научным, так и по технологическим причинам. Полупроводниковые эпитаксиальные пленки выращенные на основе полупроводниковых соединений A_2B_6 применяется в оптических модуляторах, светоизлучающих диодах, СВЧ приборах и их область применения постоянно расширяется по мере усовершенствования их технологии. Одна из проблем, которая сдерживает создание и коммерческое использование лазеров для видимого диапазона на основе гетероструктуры ZnSe/CdSe и его твёрдых растворов (с квантовыми

ямами, КЯ, в качестве активных элементов [1]) связана с процессами деградации, вызываемыми как лазерной генерацией, электронной или оптической накачкой [2]. При быстрой деградации лазеров происходит процесс образования, распространения и размножения протяжённых дефектов (дислокаций) в активной области и вне её, а о процессе постепенной деградации доминируют рекомбинационно-ускоренные реакции дефектов в активной зоне.

Экспериментальные результаты. На Рис. 1 приведены типичные спектры ФЛ (T=4,2 K) для гетероструктур с одиночными КЯ (образцы 1-3) до и после облучения. Интенсивность излучения КЯ, (полоса I_{QW}), существенно превышала интенсивность излучения барьерного и буферного слоя ZnSe. Полоса I_{QW} обусловлена излучением свободного экситона, образованного электроном и тяжёлой дыркой (тяжёлый экситон), а более слабая полоса, расположенная с высокоэнергетической стороны, обусловлена излучением свободного экситона, образованного электроном и лёгкой дыркой (лёгкий экситон). Энергетическое положение I_{QW} зависело от параметров КЯ и смещалось от I_1=2.602 эВ (476.5 нм) (кривая *a*) до I_2=2.436 эВ (509.0 нм) (кривая *c*) и далее I_x = 2.398 эВ (517 нм) (кривая d) по мере увеличения содержания Cd в ямах одинаковой ширины 5 нм. Для КЯ шириной 9 нм с x=0.24 наблюдалось полоса с максимумом I_2=2.591 эВ (478.6 нм) (кривая b). При возбуждении азотным лазером (λ_{exc}=337.1 нм) носители преимущественно генерировались в покровном и барьерных слоях ZnSe, на глубине $1/\alpha+L_d\approx0.6$ мкм [3], где α-коэффициент поглощения, L_d диффузионная длина неосновных носителей, равная ≈0.5 мкм. Спектры ФЛ образцов 1-3 в экситонной области ZnSe содержали набор линий обусловленных излучением свободных и связанных экситонов. Для сравнения на этом же рисунке представлен спектр ФЛ эпитаксиального ZnSe слоя, ЭС, толщиной 1.5 мкм, нанесённый на полуизолирующую подложку GaAs по технологии, описанной в [4] (кривая c). Спектр ФЛ от ZnSe ЭС содержал полосу I_{FX}^{lh}=2.802 эВ (442.6 нм), соответствующую экситону, расщеплённому напряжениями растяжения на две компоненты (компонента I_{FX}^{hh} отчётливо не разрешалась и проявлялась при большем усилении в виде плеча с высокоэнергетической стороны) и полосу I_2^{Ga}=2.796 эВ (443,5 нм), соответствующую экситону, связанному на нейтральном доноре. Наблюдалась также интенсивная полоса I_V=2.773 эВ (447.1 нм), соответствующая протяжённым дефектам [5] и Y_0-полоса с I_{Y0}=2.602 эВ (476.5 нм).

С коротковолновой стороны полосы I_V^0 наблюдалось полоса I_X, вероятно также обусловленная протяжёнными дефектами. В спектрах ФЛ от покровного и барьерного ZnSe слоев на образцах с КЯ описанная выше серия полос в околокраевой области сохранялась. По мере увеличения содержания Cd в КЯ (одновременно и величины рассогласования параметров решёток ZnSe и $Cd_xZn_{1-x}Se$) увеличивалось энергетическое расщеплённое между полосами I_{FX}^{lh}, и I_{FX}^{hh}, чему соответствовало смещение полосы I_{FX}^{lh} в сторону больших энергий. Т.о. с ростом содержания Cd величина упругих деформации в слое ZnSe вблизи КЯ увеличивалась. На некоторых образцах полоса I_2^{Ga} выглядела в виде дублета, что связано наличием двух типов доноров в преднамеренно нелегированных слоях. В ряде случаев проявлялась также полоса I_x=2.789 эВ (446 нм), положение которой не изменялось от образца к образцу (т.е. практически не зависело от напряжений) и не зависело от температуры .

Это свидетельствует в пользу связи полосы I_x с протяжёнными дефектами. После облучения происходило изменение вида спектров ФЛ как от ям, так и от ZnSe буферного слоя. В спектрах НТ ФЛ от КЯ после облучения происходило смещение положения максимума полосы I_{QW} (тяжёлый экситон) на образцах 1 и 2 в сторону меньших энергий , а на других в сторону больших энергий (кривые c,).

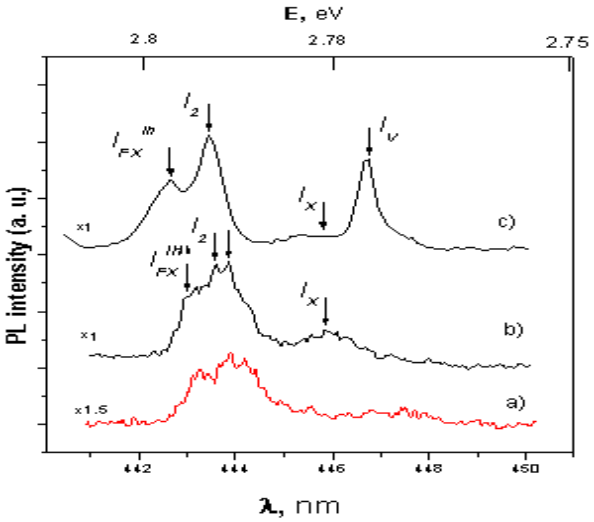


Рис-1. Низкотемпературные ФЛ спектры ZnSe буферного слоя образца единичной квантовой ямы CdZnSe/ZnSe КЯ (N3) до (b) и после облучения (a). Для сравнения приведен спектр ФЛ эпитаксиального ZnSe слоя, толщиной 1.3 мкм.

Интегральная интенсивность излучения, как правило, уменьшалась слабо (на образце 3 она практически не изменилась), а полуширина несколько возрастала. При этом максимум излучения легкого экситона менее интенсивной полосы, (переход 1elh) также смещался в область меньших энергий, для образов 1, 2; практически не смещался для образца 3. Величина смещения I_{QW}^{lh}, как правило, превышала величину смещения основной полосы I_{QW}. Спектры ФЛ в экситонной области буферного ZnSe слоев вблизи КЯ после облучения также трансформировались. На Рис. 2 приведены типичные спектры ФЛ (T=4,2 K) для гетероструктур с одиночными КЯ (образцы 1-4) до и после облучения. Интенсивность излучения КЯ, (полоса I_{QW}), существенно превышала интенсивность излучения барьерного и буферного слоя ZnSe. Полоса I_{QW} обусловлена излучением свободного экситона, образованного электроном и тяжёлой дыркой (тяжёлый экситон), а более слабая полоса, расположенная с высокоэнергетической стороны (см. вставки на Рис.2), обусловлена излучением свободного экситона, образованного электроном и лёгкой дыркой (лёгкий экситон).

Энергетическое положение I_{QW} зависело от параметров КЯ и смещалось от I_1=2.602 эВ (476.5 нм) (кривая *a*) до I_2=2.436 эВ (509.0 нм) (кривая *c*) и далее I_4 = 2.398 эВ (517 нм) (кривая d) по мере увеличения содержания Cd в ямах одинаковой ширины 5 нм. Для КЯ шириной 9нм с x=0.24 наблюдалось полоса с

максимумом I_2=2.591 эВ (478.6 нм) (кривая b). При возбуждении азотным лазером (λ_{exc}=337.1 нм) носители преимущественно генерировались в покровном и барьерных слоях ZnSe, на глубине $1/\alpha+L_d\approx0.6$ мкм, где α-коэффициент поглощения, L_d диффузионная длина неосновных носителей, равная ≈0.5 мкм. Спектры ФЛ образцов 1-4 в экситонной области ZnSe содержали набор линий обусловленных излучением свободных и связанных экситонов.

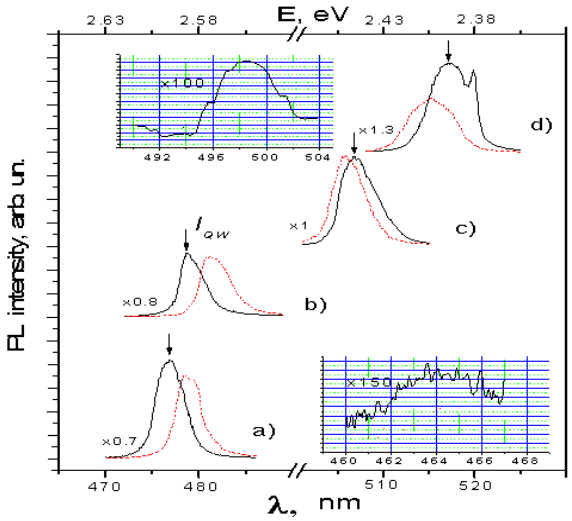


Рис. 2 Фотолюминесцентные свойства ФЛ гетероструктур с одиночными КЯ (образцы 1-4) до и после облучения (T=4,2 K). a) Cd(x=0,23), b) Cd(x=0,24), c) Cd(x=0,38), d) Cd(x=0,41)

Спектр ФЛ от ZnSe ЭС содержал полосу I_{FX}^{lh}=2.802 эВ (442.6 нм), соответствующую экситону, расщеплённому напряжениями растяжения на две компоненты (компонента I_{FX}^{hh} отчётливо не разрешалась и проявлялась при большем усилении в виде плеча с высокоэнергетической стороны) и полосу I_2^{Ga}=2.796 эВ (443,5 нм), соответствующую экситону, связанному на нейтральном доноре. Наблюдалась также интенсивная полоса I_V^0=2.773 эВ (447.1 нм), соответствующая протяжённым дефектам [5-6] и Y_0-полоса с I_{Y0}=2.602 эВ (476.5 нм). С коротковолновой стороны полосы I_V^0 наблюдалось полоса I_X, вероятно также обусловленная протяжёнными дефектами. В спектрах ФЛ от покровного и барьерного ZnSe слоев на образцах с КЯ описанная выше серия полос в околокраевой области сохранялась. По мере увеличения содержания Cd в КЯ (одновременно и величины рассогласования параметров решёток ZnSe и $Cd_xZn_{1-x}Se$) увеличивалось энергетическое расщеплённое между полосами I_{FX}^{lh}, и I_{FX}^{hh}, чему соответствовало смещение полосы I_{FX}^{lh} в сторону больших энергий. В ямах ростом содержания Cd величина упругих деформации в слое ZnSe вблизи КЯ увеличивалась.

Заключение. Механизм радиационной ускоренной деградации CdZnSe/ZnSe КЯ был объяснён с учётом (i) существенного влияния знакопеременных полей и их релаксации;

(ii) ускоренной деформационными и концентрационными градиентами вблизи ГР диффузии более подвижного элемента катионной подрешётки Cd;

(ii) неоднородной по глубине исходной дефектной структурой образцов-скоплением V_{Zn} вблизи ГР-КЯ барьер. Предложен радиационно-ускоренный микромеханизм диффузии элемента катионной подрешётки с учётом вакансий этой же подрешётки.

Литература

1. Корсунская Н.Е., Борковская Л.В., Джумаев Б.Р., Процессы деградации сине-зелёных лазерных диодов на основе соA2B6. // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника, 1999, Вып. 34. – С. 29.

2. Toda A., Nakano K., Ishibashi A. Cathodoluminescence study of degradation in ZnSe-based semiconductor laser diodes. // Appl. Phys.Lett, 1998, Vol. 73, №11. – P. 1523-1525.

3. Басов Н.Г., Дианов Е.М., Козловский В.И., Крыса А.К., Насибов А.С., Попов Ю.М., Прохоров А.М., Трубенко П.А., Щербаков Е.А. Лазерная электронн-лучевая трубка на основе сверхрешетки ZnCdSe/ZnSe, работающая при T=300 K. // Квантовая электроника, 1995, Vol. 22, № 8. – P.756-758.

4. Шарибаев М., Исмайлов Қ., Каримов И. Оптическое исследование релаксации деформаций и интердиффузии в квантовых ямах ZnSe/ZnCdSe, модифицированных γ-облучением. // «Илмий хаборнома» Андижан давлат университети, 2020, №2. – С. 102-105.

5. Шарибаев М. Определение методом фотолюминесценции протяженных дефектов в эпитаксиальных пленах ZnTe/GaAs. // Журнал Физика полупроводников и микроэлектроника, 2020, №4. – С. 214-216.

6. Sharibaev M. Determination by the method of photoluminescence of extended defects in ZnTe / GaAs epitaxial captures. // Journal. Physics of semiconductors and microelectronics, 2020, № 4. – P. 214-216.