

**ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ СВЕТОМ РТУТНОЙ ЛАМПЫ ZnSe-СОДЕРЖАЩИХ  
КВАНТОВОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИХ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ  
И ПОРОГОВУЮ ПЛОТНОСТЬ ТОКА ЛАЗЕРОВ НА ИХ ОСНОВЕ**

© 2014 г. Н.А. ГАМОВ, М.М. ЗВЕРЕВ, А.С. КУДРЯВЦЕВ, В.Б. СТУДЕНОВ,  
С.В. ГРОНИН\*, И.В. СЕДОВА\*, С.В. СОРОКИН\*, С.В. ИВАНОВ\*

Московский государственный технический университет радиотехники,  
электроники и автоматики,  
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург

Показано, что облучение ZnSe-содержащих квантоворазмерных структур светом ртутной лампы может приводить к увеличению интенсивности их люминесценции на 25-40%. Использование таких структур в качестве активных элементов импульсных лазеров с электронно-лучевой накачкой показало, что предварительное облучение структур светом может также приводить к снижению на 20-40% пороговой плотности тока лазеров. По-видимому, наблюдаемые эффекты могут быть объяснены отжигом исходных дефектов структур.

Метод накачки полупроводниковых лазеров электронным пучком позволяет получать световые импульсы с высокой мощностью, причем существует возможность последовательного во времени или одновременного излучения на разных длинах волн, возможность сканирования по углу диаграммой направленности излучения.

Применение квантоворазмерных полупроводниковых структур в качестве активных элементов полупроводниковых лазеров с электронно-лучевой накачкой позволило значительно уменьшить рабочую энергию электронного пучка. Разработаны миниатюрные источники света в ИК и видимом диапазонах спектра [1,2] при энергии электронов накачки 10 кэВ. Показано возможность снижения рабочей энергии электронов, требуемых для работы лазеров зеленого и ИК диапазонов до 3.5-4 кэВ [3,4]. Актуальной задачей является снижение пороговой плотности тока лазеров с электронно-лучевой накачкой, в значительной степени определяемой качеством квантоворазмерной структуры. ZnSe-содержащие структуры для лазеров зеленого диапазона выращивают методом молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ). Усовершенствование технологии роста позволило снизить уровень структурных дефектов в образцах [5], что позволило получать воспроизводимые параметры устройств на их основе, в частности, лазеров с электронной и оптической накачками.

В настоящей работе показано, что облучение таких ZnSe-содержащих квантоворазмерных структур светом ртутной лампы приводит к дополнительному увеличению интенсивности их люминесценции и снижению пороговой плотности тока лазеров с электронно-лучевой накачкой на их основе.

В экспериментах использовался люминесцентный микроскоп Биомед-6. Интенсивность света накачки в люминесцентном микроскопе (так же, как и размер поля зрения) зависит от используемого объектива. Благодаря этому имелась возможность использовать свет ртутной лампы микроскопа как для воздействия на исследуемую структуру, так и для регистрации результатов этого воздействия. Для этого на один окуляр микроскопа крепилась линза с оптоволоконном для оптического сопряжения с малогабаритным спектрометром S100 с ПЗС линейкой (Рис. 1).

С помощью спектрометра измерялись спектры люминесценции и интегральная по наблюдаемой площади интенсивность свечения структуры (в относительных единицах). Другой окуляр микроскопа использовался для визуального наблюдения и фотографирования структуры в различные моменты времени после начала облучения.

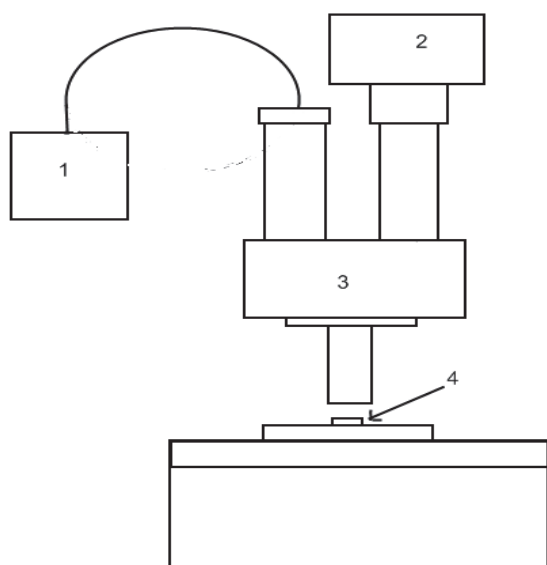


Рис. 1. Экспериментальная установка. 1 – спектрометр S-100, 2 – фотоаппарат, 3 – микроскоп Биомед-6, 4 – исследуемый образец.

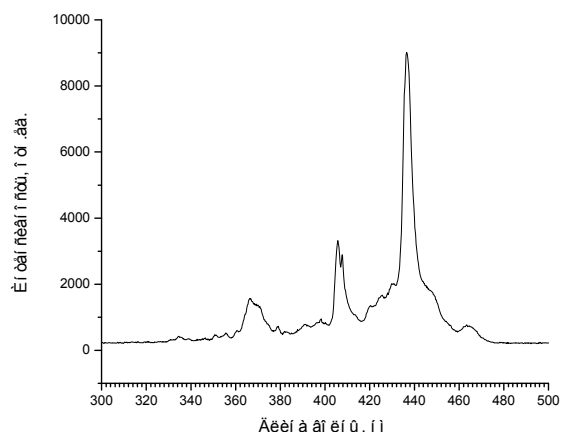


Рис. 2. Спектр излучения лампы в микроскопе Биомед-6.

Процедура измерений была следующей. Структура с помощью термопасты закреплялась на медном держателе на столике микроскопа. Сначала при малом увеличении ( $\times 4$  или  $\times 10$ ) выбирался и фотографировался нужный участок структуры. После этого устанавливался объектив  $\times 40$ , структура облучалась светом ртутной лампы и через каждые 2 минуты (при времени облучения до 20 мин) структура фотографировалась и производилась регистрация спектра. После окончания процедуры структура фотографировалась с меньшим увеличением (с объективами  $\times 4$  или  $\times 10$ ), а на основании измерений спектров строилась зависимость интенсивности свечения от времени облучения. Предварительно измерялись спектр и мощность падающего на образец света ртутной лампы. Интенсивность света на образце и диаметр поля зрения при использовании объективов с увеличением  $\times 4$ ,  $\times 10$  и  $\times 40$  составили 1.7; 7 и 58 Вт/см<sup>2</sup> и 3; 1.3; 0.33 мм соответственно. Спектр лампы (определяемый фильтрами, входящими в комплект микроскопа) представлен на Рис. 2.

Было исследовано 6 различных ZnSe-содержащих структур, отличающихся размерами и конструкцией активной области и количеством квантовых ям. На всех без исключения структурах наблюдалось возрастание (на 25-40%) интенсивности люминесценции в течение первых 5-6 минут облучения, сменяющееся монотонным спадом (Рис. 3).

Для выяснения влияния облучения ZnSe-содержащих структур светом на характеристики лазеров с накачкой электронным пучком были изготовлены образцы – лазерные резонаторы. В пределах каждого образца была как область, на которую воздействовал свет в микроскопе Биомед-6 в течение 3 минут, так и необлученная область. Для накачки использовался импульсный электронный пучок с энергией до 12 кэВ, длительность импульса составляла 0.3 мкс, частота следования импульсов – 1.5 Гц. Перед образцом устанавливалась диафрагма, ограничивающая размер электронного пучка, которую можно было устанавливать перед различными участками структу-

ры. Измерения проводились при комнатной температуре кристаллов. Были проведены измерения зависимости пороговой плотности тока импульсных лазеров с электронно-лучевой накачкой от энергии электронов для активных элементов, содержащих облученные светом и необлученные части структуры (Рис. 5). Из Рис. 5 видно, что на облученных светом участках порог генерации заметно (до 40%) ниже, чем на исходном материале.

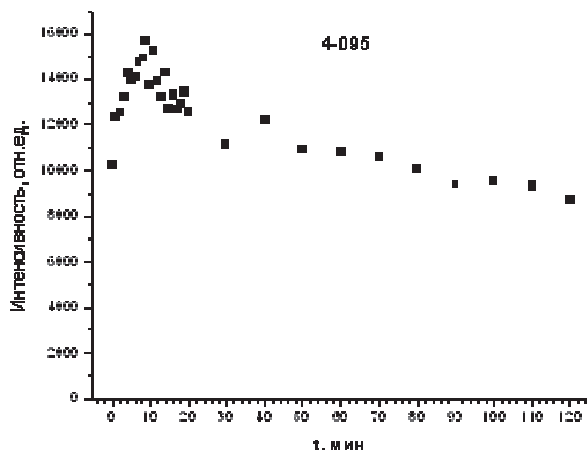


Рис. 3. Зависимость интенсивности люминесценции от времени облучения для одной из структур. Разброс значений определяется нестабильностью свечения ртутной лампы.

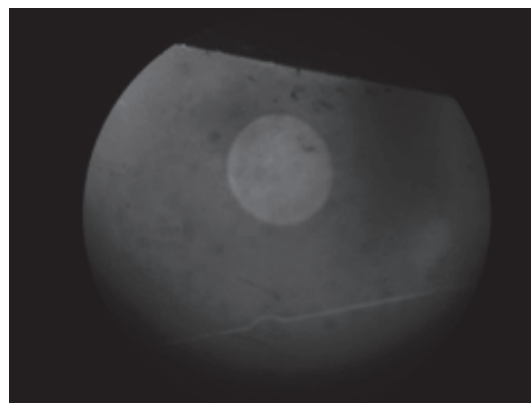


Рис. 4. Изображение структуры в люминесцентном микроскопе с объективом  $\times 10$ . Светлый кружок – более яркое свечение области, облученной с объективом  $\times 40$  в течение 10 минут.

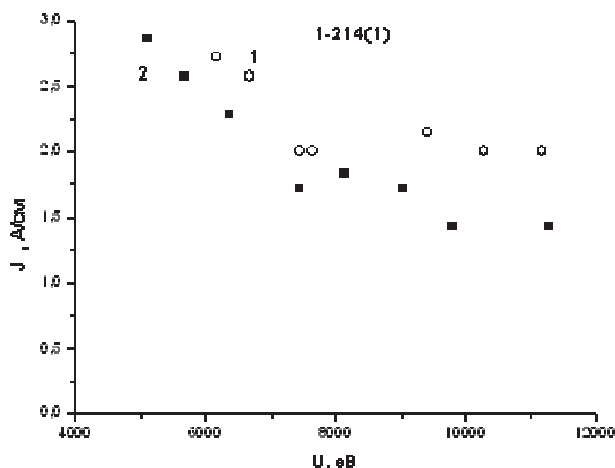


Рис. 5. Зависимости пороговой плотности тока от энергии электронов накачки для лазера на основе структуры 1-214(1), измеренные в необлученной (кружки) и облученной в течение 3 минут (черные квадраты) областях образца.

По-видимому, в течение первых минут облучения структуры светом ртутной лампы происходит отжиг исходных точечных дефектов структуры, образовавшихся в процессе выращивания вследствие сильно неравновесных условий роста соединений  $A_2B_6$  методом МПЭ (низкая температура роста  $300^\circ\text{C}$ ). Таким образом, облучение

ZnSe-содержащих структур светом ртутной лампы в течение непродолжительного времени может быть предложено как способ увеличения эффективности люминесценции (квантового выхода) и уменьшения порога генерации лазеров на основе таких структур. Заметим, что увеличение мощности излучения в процессе работы импульсных лазеров с электронной накачкой на основе монокристаллов CdS в течение начального периода времени облучения наблюдалось ранее и объяснялось отжигом исходных дефектов в образцах [6, 7].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 13-02-00604,  
а также Задания Минобрнауки № 3.611.2014/К.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Molva E., Accomo R., et al.* // Appl. Phys. Lett. 1993. 62, 796.
2. *Herve D., Accomo R., et al.* // Appl. Phys. Lett. 1995. 67(15), 2144.
3. *Зверев М.М., Гамов Н.А., Жданова Е.В., Перегудов Д.В., Студенов В.Б., Иванов С.В., Гронин С.И., Седова И.В., Сорокин С.В., Копьев П.С.* // Письма в ЖТФ. 2007, 33, 24, 1.
4. *Зверев М.М., Гамов Н.А. и др.* // Оптика и спектроскопия, 111, № 2, 2011, 212.
5. *Gronin S.V., Sedova I.V., Sorokin S.V. et al.* // Phys. Stat. Sol. (c) 2012. 9, 1833.
6. *Богданкевич О.В., Костин Н.Н., Красавина Е.М., Крюкова И.В., Теплицкий В.А.* // Физика и химия обработки материалов, 1987, 7, 42.
7. *Зверев М.М., Жуков Е.А., Красавина Е.М., Рикель М.О.* // Письма в ЖТФ, 1994, 20, 2, 80.