

## Лазерные гетероструктуры на основе ZnSe с волноводом с плавным изменением показателя преломления для накачки электронным пучком

С. В. Гронин<sup>1</sup>, И. В. Седова<sup>1</sup>, С. В. Иванов<sup>1</sup>, М. М. Зверев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

тел: (812) 292-71-24, эл. почта: gronin\_serгей@mail.ru

<sup>2</sup>Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (МИРЭА), Москва, Россия

Лазеры для электронной накачки на основе ZnSe, излучающие в зеленой области спектрального диапазона (520-550 нм), представляют большой интерес, прежде всего, благодаря возможности создания компактных приборов на их основе. В последние годы методом молекулярно-пучковой эпитаксии были успешно получены как низкороговые ( $J_{th}=0.4-0.5\text{А/см}^2$ ,  $E_e=5-12\text{кэВ}$ ), так и высокоэффективные лазерные структуры [1]. Настоящая работа посвящена последним результатам по получению лазерных гетероструктур на основе материалов  $A^2B^6$  для электронной накачки с волноводом с плавным изменением показателя преломления, что позволяет улучшить сбор носителей заряда в активной области при энергиях электронов менее 10 кэВ.

Лазерная гетероструктура ZnMgSSe/ZnSe/Zn(Cd)Se была выращена методом молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ) на подложке GaAs(001) при температуре  $T_n=270-280\text{С}$ . Структура содержит нижний ограничивающий слой ZnMgSSe толщиной 1.6 мкм, волновод с плавным изменением показателя преломления Zn(Mg)SSe/ZnSe суммарной толщиной 290 нм, активную область на основе квантовой ямы (КЯ) ZnCdSe/ZnSe, расположенной в центре волновода. Волноводом с плавным изменением показателя преломления представляет собой набор короткопериодных напряженных сверхрешеток (СР) ZnMgSSe/ZnSe и ZnSSe/ZnSe с изменяемыми периодом и составом по Mg и S, обеспечивая при этом плавное снижение ширины запрещенной зоны (увеличение показателя преломления) к активной области структуры (КЯ). Все измерения лазерных характеристик проводились при комнатной температуре в геометрии поперечного сечения в импульсном режиме при накачке электронным пучком с энергией  $E=6-16\text{кэВ}$ .

Длина волны лазерного излучения составила  $\lambda=535\text{нм}$ , пороговая плотность тока  $J_{th}=1.2\text{А/см}^2$  при  $E_e=12\text{кэВ}$ . Следует отметить, что, несмотря на бóльший пороговый ток, по сравнению с ранее достигнутыми результатами [1], структура с волноводом с плавным изменением показателя преломления продемонстрировала наибольшее значение выходной мощности  $\sim 8.5\text{Вт}$  с одной грани ( $E_e=16\text{кэВ}$ ) среди структур с активной областью на основе одиночной КЯ. Данное значение выходной мощности соизмеримо с полученными ранее, результатами на структурах с активной областью с множественными КЯ [2]. Также следует отметить, что для исследуемой лазерной структуры не наблюдалась сколь-либо заметная деградация даже при высоких значениях тока электронного пучка. Это может быть связано с уменьшением напряжений

в переменном напряжении ZnMgSSe/ZnSe CP при нагреве ее в процессе накачки электронным пучком.

Для оптимизации структуры были выполнены расчеты энергетических зон в каждой сверхрешетке, входящей в состав волновода с плавным изменением показателя преломления. Поскольку транспортные свойства лазерных структур определяются в первую очередь тяжелыми дырками из-за их низкой подвижности, стояла задача обеспечить плавное снижение минизоны тяжелых дырок к активной области КЯ.

В заключение следует отметить, что использование с плавным изменением показателя преломления, по-видимому, позволит как улучшить деградационную стойкость лазерных гетероструктур, так и увеличить их выходную мощность. Улучшение транспорта дырок к КЯ благодаря выбору оптимальной конструкции волновода позволит также уменьшить пороговый ток электронов в пучке.

### Литература

1. M. M. Zverev et al. ,Techn. Phys. Lett. 33, 1032 (2007).
2. S. V. Gronin et al. , Acta Physica Polonica 114, 927 (2008).