

МОЩНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАЗЕРОВ С ВОЛНОВОДОМ ИЗ КВАНТОВЫХ ЯМ И БАРЬЕРНЫМИ СЛОЯМИ

А. Ю. Макас

Белорусский государственный университет, г. Минск;

e-mail: makas16@mail.ru

науч. рук. – А. А. Афоненко, доктор физ.-мат. наук, профессор

Для лазеров с волноводом из квантовых ям на основе распределенной диффузионно-дрейфовой модели проведен расчет мощностных характеристик с учетом нагрева активной области и особенностей инжекции носителей заряда и внутризонного поглощения. Показано, что введение дополнительного барьерного слоя, легированного примесями n-типа, позволяет при больших накачках блокировать заполнение носителями заряда барьерных слоев, снизить утечки и увеличить мощность излучения лазеров.

Ключевые слова: волновод из квантовых ям; барьерные слои; легирование; диффузионно-дрейфовая модель; мощностные характеристики; токи утечки.

ВВЕДЕНИЕ

В лазерах с квантовыми ямами для создания волновода можно использовать разницу показателей преломления материала квантовых ям и окружающего полупроводника [1, 2]. Расчеты показывают, что 3–6 квантовых ям вполне достаточно для создания волновода. В отличие от сверхширокого волновода в предлагаемом волноводе нет проблемы с селекцией мод, поскольку из-за слабого оптического ограничения в волноводе существует только основная мода.

Одним из факторов, ограничивающих выходную мощность излучения лазеров с волноводом из квантовых ям являются большие токи утечки. Регулировать уровень возбуждения структуры можно с помощью дополнительных барьерных слоев. В работе [3] показано, что с помощью барьера в зоне проводимости можно уменьшить токи утечки и увеличить мощность генерации.

В настоящей работе создан и промоделирован легированный слой, создающий барьер в валентной зоне. Проведена оптимизация данного слоя по ширине, составу и легированию для увеличения мощности генерации.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И РАСЧЕТЫ

Расчет зонных диаграмм и электрофизических характеристик проводился на основе распределенной диффузионно-дрейфовой модели [4]. Для анализа мощностных характеристик использовались балансные

уравнения для двумерной концентрации носителей в барьерных областях, в квантовых ямах и плотности энергии. Распределение мощности излучения вдоль резонатора находилось из уравнения Бугера для прямой и обратной волн с учетом коэффициентов отражения на гранях резонатора. Коэффициент внутренних потерь считался пропорциональным концентрации носителей в барьерных областях и квантовых ямах.

Базовая структура (рис.1 а, в) состояла из волноведущих слоев GaAs и 6 квантовых ям $\text{In}_{0.32}\text{Ga}_{0.68}\text{As}$. Оптимизированная структура (рис.1 б, г) дополнительно включала легированный слой, создающий барьер в валентной зоне. Расчеты проводились для различной ширины и уровня легирования барьерного слоя.

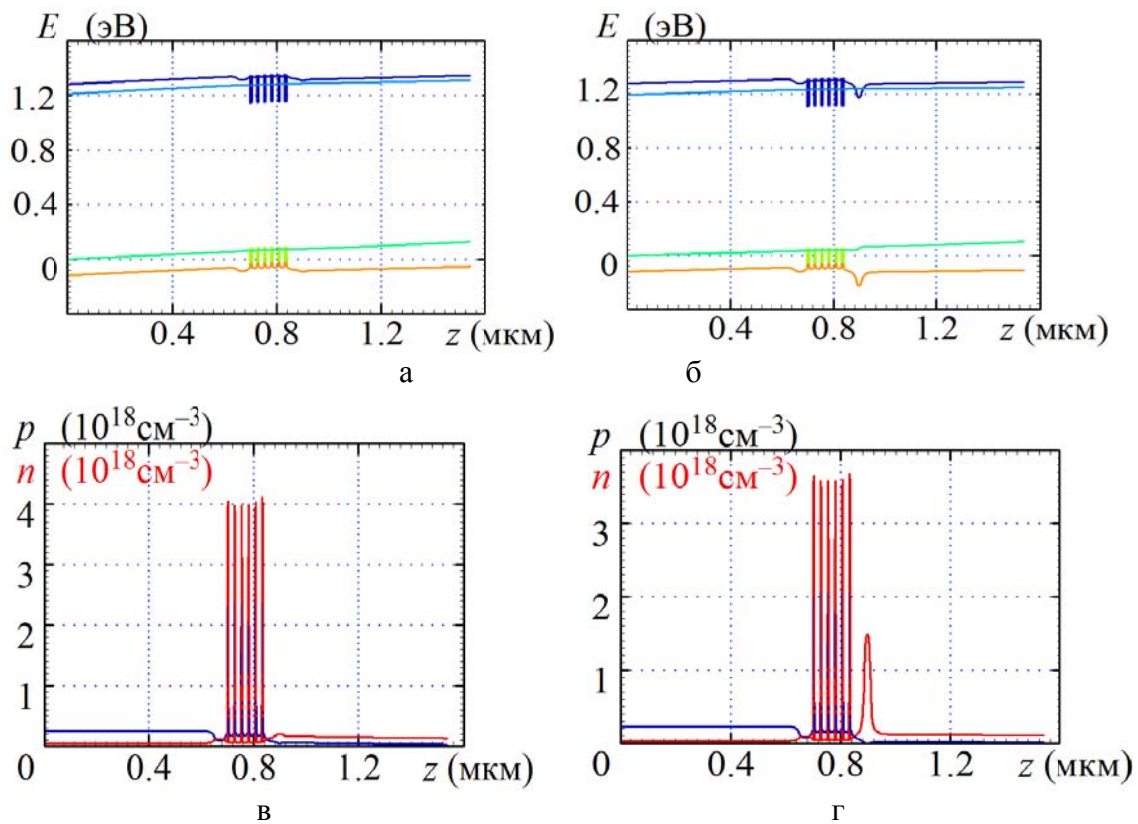


Рис. 1. Зонные диаграммы и распределения носителей заряда для структур без барьерного слоя (а) и с барьерным слоем (б) для лазерной структуры $\text{In}_{0.32}\text{Ga}_{0.68}\text{As}$ -GaAs

В работе [3] рассмотрен легированный слой, создающий барьер в зоне проводимости, повышающий выходную мощность лазера. В данной работе рассмотрен аналогичный легированный слой, создающий барьер в валентной зоне. Барьер толщиной 20 нм и легированием донорами до уровня $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ снизил утечки дырок (рис.2 а, б), а так же повлиял на ток утечки электронов в моделированной структуре, уменьшив его на 39 %.

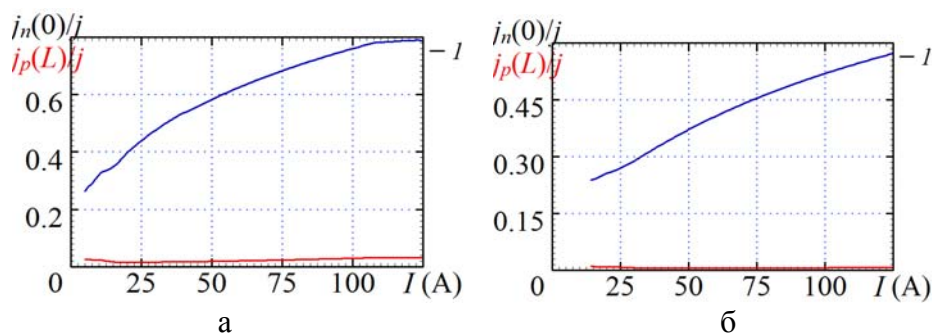


Рис. 2. Графики утечки зарядов структуры без барьерного слоя (а) и с барьерным слоем (б)

В ходе расчетов выяснилось, что барьер эффективно задерживает перенос дырок в направлении эмиттера n-типа (это видно на рис.1 в, г). Как оказалось, в структуре с барьером внутризонное поглощение при больших токах накачки значительно ниже по сравнению со структурой без барьера (рис.3 а). Это отразилось на выходной мощности лазера, как видно из рис.3 б, максимальная мощность лазера выросла с 8 до 11 Вт (на 37 %).

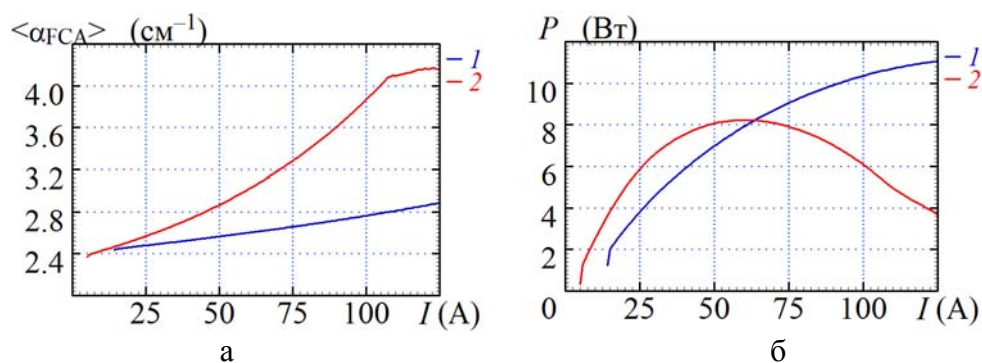


Рис. 3. Зависимости коэффициента внутризонного поглощения (а) и выходной мощности (б) от тока накачки структуры с барьерным слоем (1) и без барьерного слоя (2)

Заметим, что введение легированного слоя практически не изменило модовую структуру (рис.4.а, б). Такие лазеры отличаются узкой диаграммой направленности. В данной структуре ее рассчитанная ширина на уровне половинной интенсивности составила 6 градусов (рис.4 в).

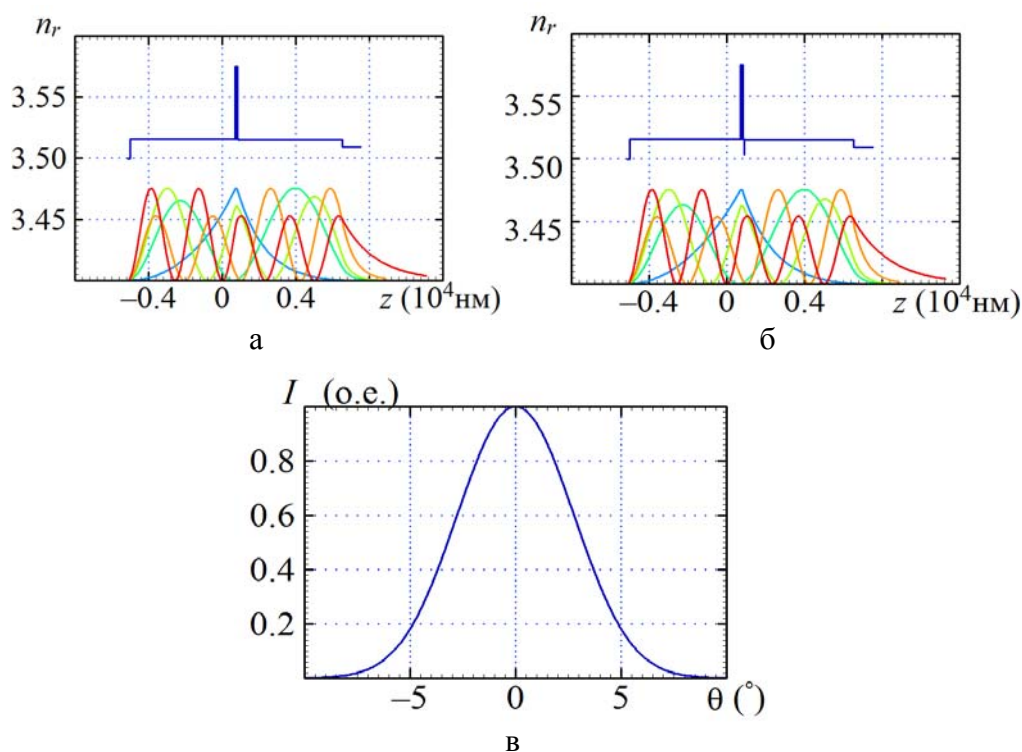


Рис. 4. Распределение интенсивности всех волновых мод структуры без барьера (а) и с барьером (б) и распределение первой волновой моды в дальней зоне (в)

Библиографические ссылки

1. Алешкин В. Я., Дикарева Н. В., Дубинов А. А., Звонков Б. Н., Карзанова М. В., Кудрявцев К. Е., Некоркин С. М., Яблонский А. Н. Волноводный эффект квантовых ям в полупроводниковых лазерах. Квантовая электроника. 2013. Т.43, № 5. С.401–406.
2. Алешкин В. Я., Афоненко А. А., Дикарёва Н. В., Дубинов А. А., Кудрявцев К. Е., Морозов С. В., Некоркин С. М. Волноводный эффект квантовых ям GaAsSb в лазерной структуре на основе GaAs. ФТП. 2013. Т.47, № 11. С.1486–1488.
3. Афоненко А. А., Ушаков Д. В., Алешкин В. Я., Дубинов А. А., Дикарева Н. В., Некоркин С. М., Звонков Б. Н. Мощностные характеристики лазеров с волноводом на основе квантовых ям и блокирующими слоями. Квантовая электроника. 2018. Т.48, №4. С.390–394.
4. Афоненко А. А., Ушаков Д. В. Эффективность токовой инжекции в полупроводниковых лазерах с волноводом из квантовых ям. ФТП. 2014. Т. 48, № 1. С. 88–93.