

## ОПТИМИЗАЦИЯ СПЕКТРОВ УСИЛЕНИЯ КВАНТОВОРАЗМЕРНЫХ ЛАЗЕРОВ ИК-ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНЫХ АСИММЕТРИЧНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР

Для создания высокоэффективных систем волоконно-оптической связи требуются источники когерентного излучения, перекрывающие диапазон длин волн 1,3–1,6 мкм. Генерацию излучения в этом диапазоне можно получить в асимметричных квантоворазмерных гетероструктурах на основе четверных соединений  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  [1]. В данной работе для разных уровней возбуждения проанализированы спектры усиления таких структур и показана возможность получения широкого спектра волноводного усиления.

Расчеты проведены для асимметричной квантоворазмерной гетероструктуры с четырьмя квантовыми ямами различной толщины. Роль барьерных слоев выполняло соединение  $\text{InP}_{0.84}\text{As}_{0.16}$ , а квантовые ямы состояли из материала  $\text{Ga}_{0.32}\text{In}_{0.68}\text{P}_{0.12}\text{As}_{0.88}$ . Параметры активных и барьерных слоев подбирались в соответствии с рис. 1 [1] так, чтобы согласовались постоянные решетки, был прямозонный полупроводник и ширина запрещенной зоны соответствовала межзонным переходам в диапазоне 1,3–1,5 мкм.

Для данных квантоворазмерных гетероструктур при расчете зонной энергетической диаграммы необходимо учитывать эффект смешения дырочных состояний. Поэтому уровни энергии и волновые функции валентной зоны рассчитывались в приближении четырехзонного  $\mathbf{k}\mathbf{p}$ -метода [2].

В квантоворазмерных гетероструктурах длина волны, соответствующая излучательным межзонным переходам, зависит от толщины и компонентного состава активных и барьерных слоев. Существует несколько способов получения широкого спектра усиления асимметричных многослойных квантоворазмерных гетероструктур [3, 4]. Активные слои структуры могут отличаться толщиной, компонентным составом, порядком размещения относительно друг друга и эмиттеров.

В данной работе рассмотрены характеристики гетероструктур с квантовыми ямами разной ширины. Установлено, что квантовые ямы, отличающиеся шириной, усиливают излучение в разных диапазонах длин волн [4]. Следовательно, суммарный спектр усиления много-

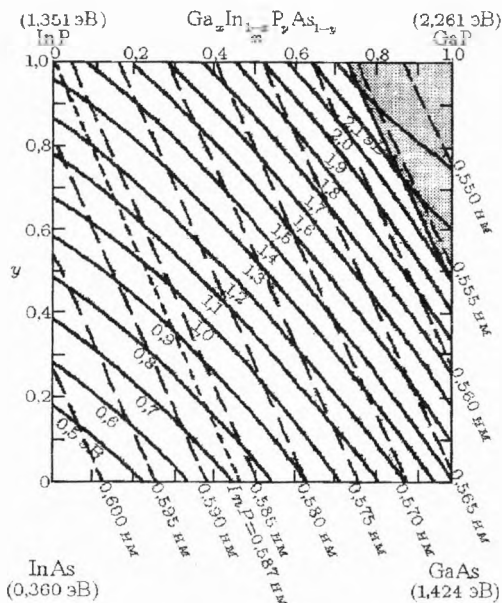


Рис. 1. Плоскость составов  $x$ - $y$  для  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  при 300 К. Сплошные и штриховые линии соответствуют изоэнергетическим и изопериодическим составам соответственно

слоистой гетероструктуры с неодинаковыми активными квантоворазмерными слоями может охватывать достаточно широкий диапазон длин волн.

Активная область гетероструктуры состоит из четырех квантовых ям шириной  $d_1 = 4$  нм,  $d_2 = 5$  нм,  $d_3 = 9$  нм и  $d_4 = 14$  нм. Квантовые ямы подобраны таким образом, чтобы длины волн оптических переходов электронов на уровни тяжелых и легких дырок в разных квантовых ямах были немного разнесены и перекрывали желаемый диапазон длин волн.

В работе проведена оптимизация уровней возбуждения квантовых ям различной толщины с целью получения широкого и практически плоского суммарного спектра волноводного усиления. Результаты расчетов спектров усиления для ТЕ- и ТМ-мод для различных значений суммарного коэффициента усиления  $g_{\text{max}}$  на плоском участке представлены на рис. 2.

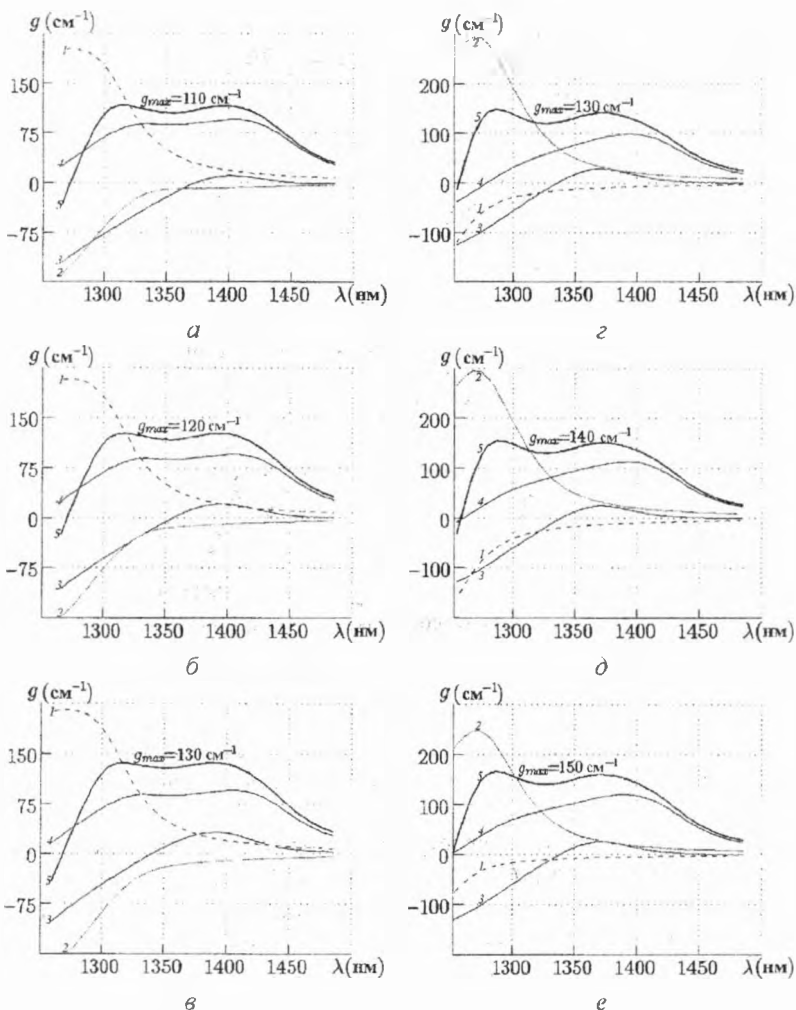


Рис. 2. Спектры усиления  $g$  для ТЕ-моды (слева) и ТМ-моды (справа) при различных уровнях возбуждения квантовых ям с толщинами  $d = 4$  (1), 5 (2), 9 (3) и 14 нм (4), а также суммарный спектр усиления (5) асимметричной многослойной гетероструктуры.

$a - \Delta F = 1.043$  (1), 0.943 (2), 0.915 (3) и 0.99 эВ (4);  $б - \Delta F = 1.045$  (1), 0.940 (2), 0.923 (3) и 0.99 эВ (4);  $в - \Delta F = 1.048$  (1), 0.936 (2), 0.931 (3) и 0.99 эВ (4);  $г - \Delta F = 0.98$  (1), 1.05 (2), 0.936 (3) и 0.972 эВ (4);  $д - \Delta F = 0.971$  (1), 1.05 (2), 0.935 (3) и 0.984 эВ (4);  $е - \Delta F = 0.989$  (1), 1.038 (2), 0.935 (3) и 0.99 эВ (4)

Как видно из рис. 2, широкая квантовая яма усиливает в области 1,4 мкм, а узкие – в области 1,3 мкм. Численные расчеты показывают, что для получения широкого и плоского спектра усиления необходимо, чтобы одна узкая квантовая яма усиливала, а вторая – поглощала. Для ТЕ-моды усиливающей является яма толщиной 4 нм, а поглощающей – 5 нм. Для ТМ-моды – наоборот. Квантовая яма толщиной 9 нм служит для увеличения суммарного коэффициента усиления гетероструктуры в области 1,35–1,37 мкм. Расчеты показывают, что ширина спектра усиления с практически постоянным максимальным значением превышает 100 нм в области 1,3–1,4 мкм.

Таким образом, при использовании асимметричных многослойных квантоворазмерных гетероструктур на основе четверных соединений  $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$  с неоднородно возбужденными активными слоями, отличающимися толщиной, возможно получить широкий и практически плоский спектр волноводного усиления. При этом область плоского участка охватывает спектральный диапазон 1,3–1,4 мкм.

Данная работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований

#### Литература

1. Кейси Х., Ланиш М. Лазеры на гетероструктурах. М.: Мир, 1981. 364 с.
  2. Наливко С. В., Манак И. С., Чиж А. Л. Влияние эффекта смешения зон на зонную структуру и спектры усиления многослойных квантоворазмерных гетероструктур // Литовский физический журнал. 1999. Т. 39, № 4–5. С. 365–373.
  3. Манак И. С., Кононенко В. К., Наливко С. В. Обратная оптическая связь и селекция мод полупроводникового лазера в резонаторе с дисперсионным элементом // Радиотехника: Всеукраинский межвузовский сб. 1999. Вып. 110. С. 55–61.
- Афоненко А. А., Кононенко В. К., Манак И. С., Наливко С. В. Квантоворазмерные инжекционные лазеры – эффективные источники излучения для современных систем связи // Изв. БИА. 1999. № 1/2. С. 197–199