

Д. В. Ушаков, И. С. Манах, С. В. Палико, Т. В. Даниленко

ОПТИМИЗАЦИЯ СПЕКТРОВ УСИЛЕНИЯ КВАНТОВОРАЗМЕРНЫХ ЛАЗЕРОВ НК-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 $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ [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 выполняет соединение $InP_{0.44}As_{0.16}$, а квантовые ямы состояли из материала $Ga_{0.32}In_{0.68}P_{0.12}As_{0.88}$. 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 смещения дырочных состояний. Поэтому уровни энергии и волновые функции валентной зоны рассчитывались в приближении четырехзонного $k\pi$ -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 мно-

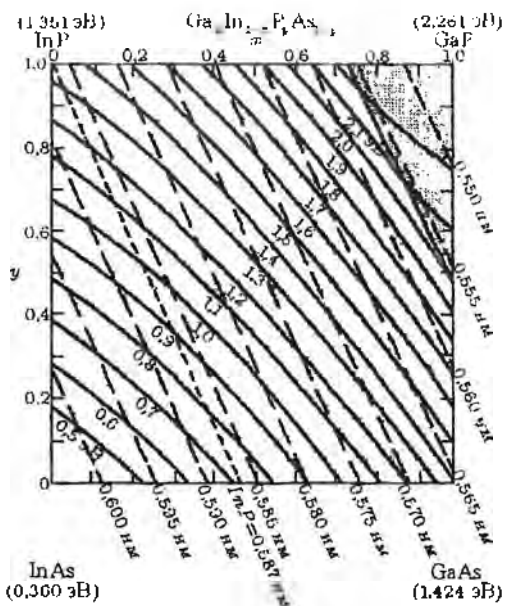


Рис. 1. Плоскость составов x - y для $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ при 300 К. Сплошные и штриховые линии соответствуют изоэнергетическим и изопериодическим составам соответственно

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_{max} на плоском участке представлены на рис 2

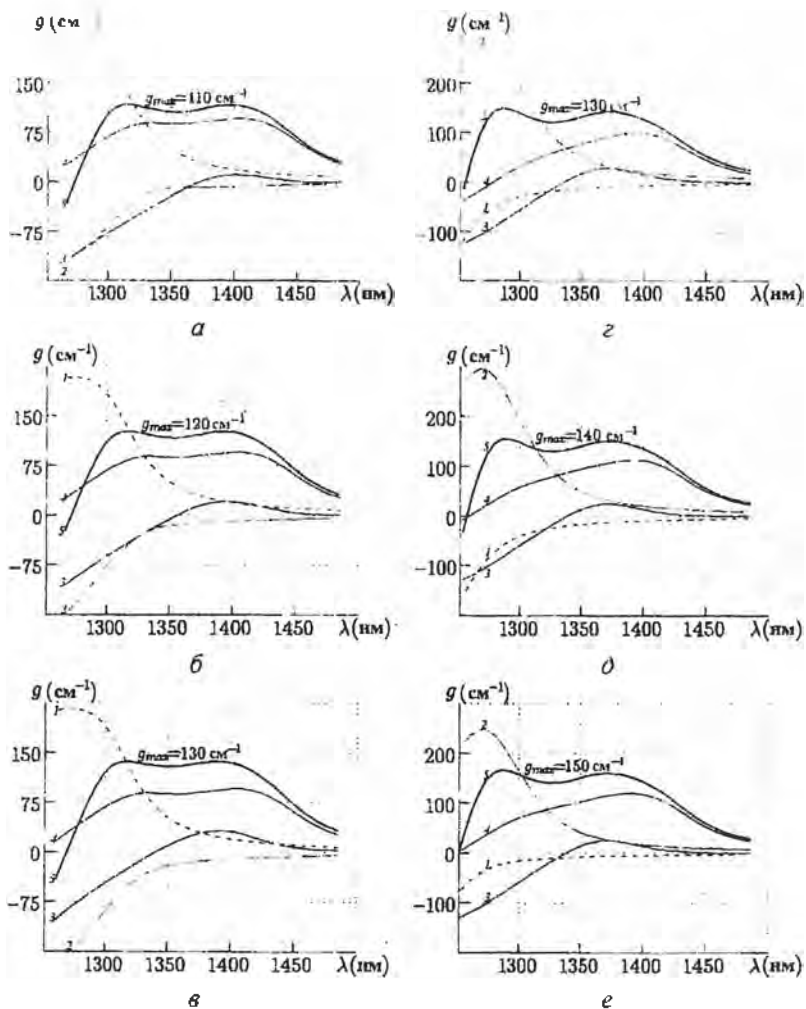


Рис. 2 Спектры волноводного усиления g для ТЕ-моды (слева) и ТМ-моды (справа) при различных уровнях возбуждения квантовых ям с толщами $d = 4$ (1), 5 (2), 9 (3) и 14 нм (4), а также суммарный спектр усиления (5) асимметричной многослойной гетероструктуры

$a - \Delta F = 1,043$ (1), 0,943 (2), 0,915 (3) и 0,99 эВ (4), $b - \Delta F = 1,045$ (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)

$e - \Delta F = 0,989$ (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 узкая – 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., Паниш М. Лазеры на гетероструктурах. М.: Мир, 1981. 364 с.
 2. Наливко С. В., Манах И. С., Чиж А. Л. Влияние эффекта смещения зон на зонную структуру и спектры усиления многослойных квантоворазмерных гетероструктур // Литовский физический журнал. 1999. Т. 39, № 4–5. С. 365–373.
 3. Манах И. С., Кононенко В. К., Наливко С. В. Обратная оптическая связь и селекция мод полупроводникового лазера в резонаторе с дисперсионным элементом // Радиотехника. Всеукраинский межведущ.-техн. сб. 1999. Вып. 110. С. 55–61.
- Афменко А. А., Кононенко В. К., Манах И. С., Наливко С. В. Квантоворазмерные инжекционные лазеры – эффективные источники излучения для современных систем связи // Изв. БИА. 1999. № 1/2. С. 197–199.*