

КВАНТОВОРАЗМЕРНЫЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ С ПЛОСКИМ СПЕКТРОМ УСИЛЕНИЯ

Д. В. Ушаков, И. С. Манак, В. К. Кононенко, Т. В. Даниленко

Белгосуниверситет, г. Минск

Для создания высокоэффективных систем волоконно-оптической связи требуются источники когерентного излучения, перекрывающие диапазон длин волн 1.5–1.6 мкм. Генерацию излучения в этом диапазоне можно получить в асимметричных квантоворазмерных гетероструктурах на основе четверных соединений $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ [1]. В данной работе для таких структур проведен расчет дисперсионных кривых, а также для разных уровней возбуждения проанализированы спектры усиления и показана возможность получения широкого спектра волноводного усиления.

Параметры активных и барьерных слоев подбирались так, чтобы согласовались постоянные решетки, был прямозонный полупроводник и ширина запрещенной зоны соответствовала межзонным переходам в диапазоне 1.5–1.6 мкм [1]. Расчеты проведены для асимметричной квантоворазмерной гетероструктуры с четырьмя квантовыми ямами различной толщины [2–4]. Роль барьерных слоев выполняло соединение $\text{InAs}_{0.16}\text{P}_{0.84}$, а квантовые ямы состояли из материала $\text{Ga}_{0.32}\text{In}_{0.68}\text{As}_{0.88}\text{P}_{0.12}$.

В квантоворазмерных гетероструктурах длина волны, соответствующая излучательным межзонным переходам, зависит от толщины и компонентного состава активных и барьерных слоев. В работе проанализированы характеристики гетероструктур с квантовыми ямами разной ширины, что дает возможность получения широкого диапазона усиливаемых 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 диапазон длин волн 1.5–1.6 мкм [2–4]. Проведена оптимизация уровней возбуждения квантовых ям различной толщины с целью получения широкого и практически плоского суммарного спектра волноводного усиления. На рис.1. приведены спектры усиления для квантоворазмерной

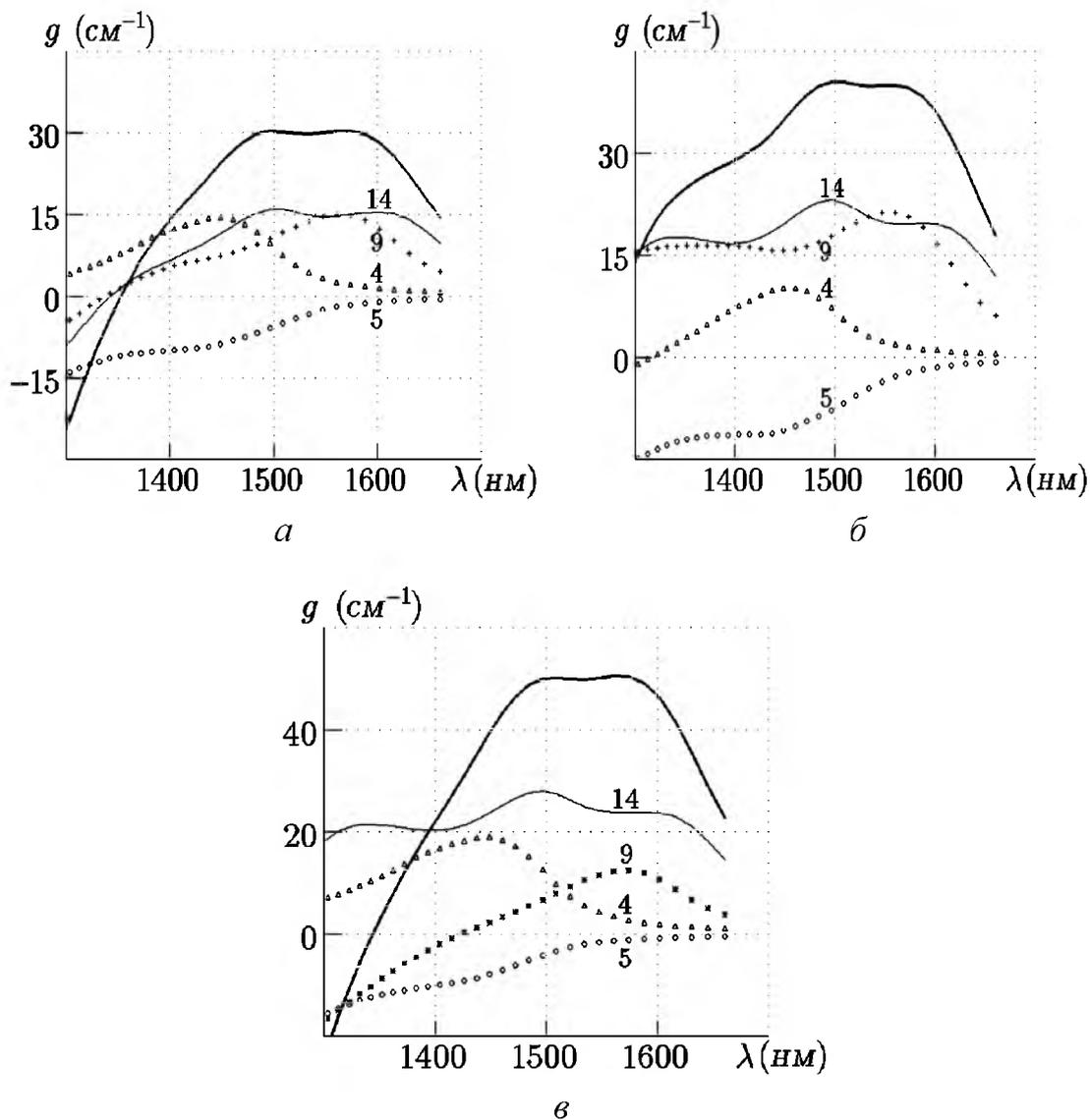


Рис.1. Спектры волноводного усиления ТЕ-моды для квантоворазмерной структуры с тремя (а) четырьмя (б) и пятью (в) квантовыми ямами при различных уровнях возбуждения квантовых ям с толщинами $d=4$ (треугольники), 5 (точки), 9 (крестики) и 14 нм (тонкая), а также суммарный спектр усиления (жирная линия).

(а) $d = 4$ нм – $\Gamma=0.0026$, $\Delta F = 0.84$ эВ; $d=9$ нм – $\Gamma=0.0059$, $\Delta F= 0.97$ эВ; $d=14$ нм – $\Gamma=0.0091$, $\Delta F= 1.0$ эВ. (б) $d = 4$ нм – $\Gamma=0.0032$, $\Delta F = 0.94$ эВ; $d = 5$ нм – $\Gamma = 0.004$, $\Delta F=0.79$ эВ; $d=9$ нм – $\Gamma=0.0072$, $\Delta F= 1.04$ эВ; $d=14$ нм – $\Gamma=0.011$, $\Delta F= 1.0$ эВ. (в) $d = 4$ нм – $\Gamma=0.0039$, $\Delta F = 1.0$ эВ; $d = 5$ нм – $\Gamma = 0.0048$, $\Delta F=0.82$ эВ; $d=9$ нм (2 ямы) – $\Gamma=0.0088$, $\Delta F= 0.88$ эВ; $d=14$ нм – $\Gamma=0.014$, $\Delta F= 1.0$ эВ.

квантоворазмерной гетероструктуры на основе соединения GaInAs-GaInAsP с различным числом квантовых ям. Также рассчитаны

значения фактора оптического ограничения Γ в каждой квантовой яме.

Как видно из рис. 1б в структуре с 4 квантовыми ямами максимум результирующего коэффициента волноводного усиления составляет 40 см^{-1} , при этом спектр усиления имеет плоский вид в диапазоне 1.48–1.6 мкм. Уменьшение количества квантовых ям до 3 приводит к такому же диапазону постоянного коэффициента усиления (рис. 1а), однако максимум результирующего коэффициента усиления не превышает 30 см^{-1} . Увеличение числа квантовых ям до 5 приводит к возрастанию максимума коэффициента усиления, однако область плоского участка сужается.

Таким образом, для создания высокоэффективных систем волоконно-оптической связи, работающих в диапазоне 1.5–1.6 мкм, разработаны асимметричные квантоворазмерные гетероструктуры с различным набором квантовых ям на основе $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$. Для разных уровней возбуждения проанализированы спектры усиления таких структур. При неоднородном возбуждении квантовых ям, отличающихся толщиной, получен широкий и практически плоский спектр волноводного усиления. При этом область плоского участка охватывает спектральный диапазон 1.48–1.6 мкм. Показано, что структура с 4 квантовыми ямами является оптимальной для получения широкого и плоского спектра волноводного усиления.

1. Кейси Х., Паниш М. Лазеры на гетероструктурах. М.: Мир, 1981. 364 с.
2. Ушаков Д. В., Манак И. С., Наливко С. В., Даниленко Т. В. // Лазерная и оптико-электронная техника: Сб. науч. стат. Вып. 6.– Отв. ред. И. С. Манак. – Мн.: БГУ, 2001. С. 64–67.
3. Ushakov D. V., Manak I. S., Danilenko T. V., Nalivko S. V. // Abstr. of 2001 Intern. 2001 Conf. on Problems of Interaction of Radiation with Matter. – Gomel, 2001. P. 52–53.
4. Манак И. С., Даниленко Т. В., Наливко С. В., Ушаков Д. В. // Межд. конф. по люминесценции, посвященная 110-летию со дня рождения академика С. И. Вавилова. – М.: ФИАН, 2001. С. 246.