

УПРАВЛЕНИЕ ДЛИНОЙ ВОЛНЫ ГЕНЕРАЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ

В.И. Дубовик , И.С. Манак, В.Н. Ювченко

Белгосуниверситет, г. Минск

Полупроводниковые инжекционные лазеры широко используются в системах обработки информации. Такой выбор объясняется рядом их достоинств: экономичностью, достигаемой в результате эффективного преобразования энергии в когерентное излучение; малой инерционностью, вследствие коротких характеристических времен жизни неравновесных носителей заряда; компактностью; простотой интегрирования с приемниками излучения и оптическими волокнами; легкой перестройкой длины волны генерируемого излучения.

Можно выделить следующие методы управления частотой генерации полупроводниковых лазеров: подбор материала активной среды; влияние внешних воздействий (температуры, давления, магнитных и электрических полей); применение внешних резонаторов; использование квантоворазмерных эффектов. Совместное применение этих методов дает возможность получения непрерывной перестройки в широком спектральном диапазоне.

Варьируя состав материала среды можно получить спектр генерации от 0,50 мкм (CdSe) до 46 мкм (PbSnSe). Однако существует один недостаток использования этого метода перестройки: в готовом изделии нельзя изменять стеклометрический состав полупроводника и концентрацию примесей в нем. Поэтому для плавной перестройки длины волны излучения применяются другие методы.

Изменение температуры кристалла приводит к сдвигу спектральной полосы лазера, в результате чего происходит переключение с данной моды на последующие, т.к. смещение отдельных мод имеет меньший температурный коэффициент, чем огибающая спектра генерации. Наиболее эффективен температурный способ управления длиной волны для лазеров на халькогенидах свинца, работающих при низких температурах в области 4–9 мкм. В системах, основанных на структурах GaAlAs, InGaAsP диапазон температурной перестройки обычно составляет до 10–13 нм. Обычно перестройка осуществляется изменением температуры теплоотвода или нагревом током накачки.

При воздействии давления на полупроводник изменяется

расположение зон относительно друг друга и искажаются формы отдельных зон. Первый эффект сказывается на свойствах, которые связаны с межзонными переходами: на положение края полосы собственного поглощения или максимума рекомбинационного излучения, на распределение электронов между зонами и примесными уровнями, положение уровня Ферми и т.д. Второй эффект приводит к изменению плотности состояний в зонах, т.е. к изменению эффективной массы носителей тока. Перестройка длины волны излучения лазера на PbSe при изменении давления от 0 до 5×10^8 Па составляла 263 нм; для лазеров на основе GaAs при изменении давления до $8,8 \times 10^8$ Па получено изменение длины волны излучения от 864 нм до 836 нм. Для PbSe коэффициент, характеризующий изменение энергии излучения мод в зависимости от давления примерно в 4 раза меньше коэффициента изменения ширины запрещенной зоны. Диапазон плавной перестройки частоты составлял 28 нм при изменении давления на 3×10^7 Па и был значительно больше межмодового расстояния.

Очень эффективной является перестройка в сильных магнитных полях. Для лазеров на основе InP в сильных магнитных полях (магнитная индукция до 30 Тл) полученное спектральное смещение составляет более 10 мЭВ.

При использовании сложных лазерных структур, содержащих квантовые ямы, можно добиться непрерывной перестройки длины волны излучения в широком диапазоне. Длина волны излучения в квантоворазмерных гетероструктурах определяется толщиной и компонентным составом активных и барьерных слоев. Поэтому квантовые ямы, отличающиеся шириной и компонентным составом, усиливают излучение в разных диапазонах длин волн. Следовательно, суммарный спектр усиления многослойной асимметричной гетероструктуры с неодинаковыми активными слоями может охватывать достаточно широкий диапазон длин волн.

Подбор квантовых ям осуществляется 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 генерируемых длин волн. Возможность выравнивания суммарного коэффициента волноводного усиления гетероструктуры в широком спектральном интервале проявляется в управлении уровнями возбуждения отдельных

квантовых ям. Для этого проводится легирование барьерных слоев донорами и акцепторами. В результате уровни возбуждения одних квантовых ям задаются величиной напряжения, приложенного к гетероструктуре, других — параметрами барьерных слоев (толщина, состав, тип и степень легирования). Длина резонатора лазера с квантоворазмерными слоями также влияет на длину волны излучения, причем более сильно, чем для обычных лазеров.

При изменении напряжения на оптическом модуляторе, представляющем собой часть лазерной структуры, для лазера с квантовой ямой на GaAs/AlGaAs получено изменение длины волны на 33 нм. В лазере с двумя квантовыми ямами и тремя контактами существует возможность прикладывать электрическое поле к отдельной яме, тем самым изменяя энергию уровней квантования для электронов и дырок, что приводит к сдвигу длины волны генерации. Для величины напряженности поля 50 кВ/см сдвиг длины волны составил около 26 нм.

Использование асимметричных гетероструктур с неоднородно возбужденными активными слоями, отличающимися толщиной и компонентным составом, позволяет получить широкий и практически плоский спектр волноводного усиления. В системе $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ он составляет 40 нм при центральной длине волны 830 нм.

При использовании лазера на асимметричной гетероструктуре с двумя квантовыми ямами можно также получить генерацию на двух длинах волн и переключение длины волны при возрастании инжекционного тока. Зафиксированный сдвиг длины волны 50 нм является самым большим среди лазеров без внешних резонаторов.

Использование лазеров с несколькими квантовыми ямами различной толщины открывает более широкие возможности для перестройки длины волны излучения. Так, для лазеров с квантовыми ямами из GaAs длина волны может варьироваться в пределах 760-860 нм при изменении толщины ям и концентрации Al в ямах и барьерных слоях.

Квантоворазмерные перестраиваемые лазеры с постоянной выходной мощностью перспективны для систем когерентной оптической обработки информации, в аудио- и видеоустройствах, метрологии, в системах мониторинга окружающей среды, в медикобиологических приложениях.