

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЕ ГЕТЕРОЛАЗЕРЫ ДАЛЬНОГО ИК ДИАПАЗОНА С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ ДО 46,2 МКМ

*Л.Н.Курбатов, А.Д.Бритов, С.М.Караваяев,
С.Д.Сиваченко, С.Н.Максимовский, И.И.Овчинников,
М.М.Рзаев, П.М.Старик*

Расширение спектрального диапазона полупроводниковых лазеров в дальнюю инфракрасную область сопряжено с преодолением ряда трудностей принципиального характера¹. Последние связаны в первую очередь с плазменными явлениями в полупроводниках, приводящими к сильному затуханию электромагнитных волн для частот меньших плазменной частоты.

До настоящего времени максимальная длина волны генерации в полупроводниковых лазерах составляла 34 мкм². Мы сообщаем о существенном расширении спектрального диапазона лазерных диодов в дальнюю ИК область. Получена оптическая генерация длинноволнового излучения на 46,2 мкм в гетеролазерах на основе четырехкомпонентных твердых растворов PbSnTeSe . Впервые перспективность четырехкомпонентной системы PbSnTeSe была отмечена в работе³, а экспериментально лазерный режим реализован в⁴.

Монокристаллы $(\text{PbSe})_{0,80}(\text{SnTe})_{0,20}$ были выращены из паровой фазы и первоначально имели концентрацию дырок $\sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Последующий отжиг в парах металла инвертировал типа проводимости и понижал концентрацию носителей до $10^{17} - 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Лазерные гетероструктуры были изготовлены методом фотостимулированной газовой эпитаксии. Для нанесения широкозонного эпитаксиального слоя p -типа использовалась шихта $\text{PbTe}_{0,68}\text{Se}_{0,32}$.

Электроды к p - и n -областям гетероструктур были получены химическим осаждением золота. Резонаторы изготавливались сколом по плоскостям (100). Образцы лазерных диодов припаивались к хладопроводу сплавом $\text{In} - \text{Ag} - \text{Au}$. Типичный размер резонатора составлял 300 – 500 мкм.

Для исследования спектров генерации гетеролазеров использовался монохроматор Perkin-Elmer с решеткой 28,8 штрих/мм. Излучение регистрировалось фотоприемником $\text{Ge} < \text{Be} >$, смонтированным на хладопроводе безазотного гелиевого криостата с входным окном из иодистого цезия. Для устранения фоновой засветки входная апертура приемника была уменьшена до $1,5^\circ$. Фокусировка излучения гетеролазеров на входную щель монохроматора и фотоприемник осуществлялась сферическими зеркалами.

Лазерные диоды исследовались при импульсном режиме возбуждения. Длительность импульса составляла 4 мкс при частоте повторения 100 Гц. Лазеры обладали широкой областью температурной перестройки: длина волны генерации изменялась почти в два раза от 46,2 мкм при $T = 6 \text{ K}$ до 24,3 мкм при $T = 78 \text{ K}$ (см. рис. 1). Это обусловлено большим относительным изменением ширины запрещенной зоны.

На рис. 2 показаны спектры генерации лазерного диода $(\text{PbSe})_{0,80} (\text{SnTe})_{0,20} - \text{PbTe}_{0,68} \text{Se}_{0,32}$ при азотной и гелиевой температурах. При азотной температуре спектр снят при токе, превышающем порог в 1,5 раза. Ширина спектра составляет $\sim 15 \text{ см}^{-1}$. В спектре наблюдается ярко выраженная модовая структура. При гелиевой температуре спектр снят при пятикратном превышении над порогом. Ширина спектра увеличилась до 30 см^{-1} . В области 40 мкм спектр генерации сильно искажался поглощением на вращательных переходах паров воды в атмосфере (оптический путь в атмосфере при записи спектров превышал 2 м).

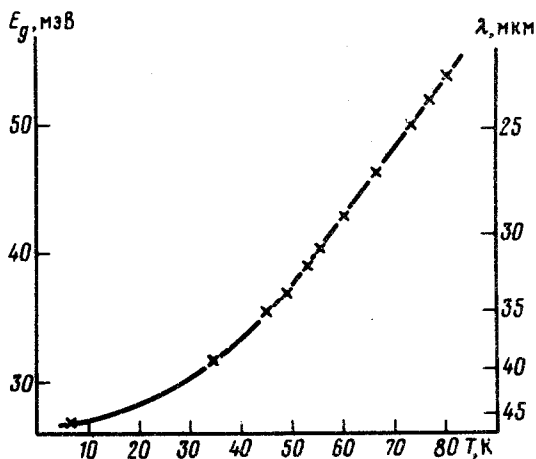


Рис.1.

Рис.1. Температурное изменение длины волны генерации лазерного диода $(\text{PbSe})_{0,80} (\text{SnTe})_{0,20} - \text{PbTe}_{0,68} \text{Se}_{0,32}$

Рис.2. Спектры генерации лазерного диода $(\text{PbSe})_{0,80} (\text{SnTe})_{0,20} - \text{PbTe}_{0,68} \text{Se}_{0,32}$ при температурах: а - 78 К, б - 6 К

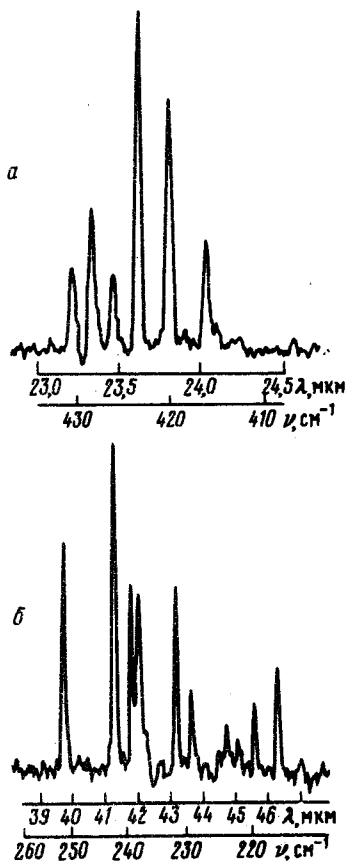


Рис.2.

Характерной особенностью исследованных лазерных диодов было сравнительно небольшое (всего в три раза) уменьшение пороговой плотности тока при снижении температуры от 78 до 6 К. При 78 К пороговая плотность тока составляла $9,5 \text{ кА/см}^2$. В спектрах излучения

при гелиевых температурах генерация первоначально возникала на коротковолновых модах (42 мкм), тогда как длинноволновые моды (до 46,2 мкм) проявлялись только при значительном превышении над порогом и интенсивность их была слабее интенсивности коротковолновых мод. Эти экспериментальные результаты могут свидетельствовать о том, что при понижении температуры и соответственно, увеличении длины волны излучения существенно возрастают оптические потери, связанные с приближением к плазменной области. Оценки показывают, что в области плазменной границы оптические потери имеют величину несколько сотен см^{-1} и резко возрастают (более чем в 1,5 раза) на небольшом спектральном интервале $\sim 10 \text{ см}^{-1}$. Это объясняет значительно более высокий порог возбуждения длинноволновых мод, вследствие чего возможная из-за температурного изменения ширины запрещенной зоны длинноволновая граница диапазона перестройки может несколько обрезаться.

В заключение отметим, что полученная длина волны генерации по нашему мнению является далеко не предельной для лазерных диодов на основе халькогенидов свинца — олова. При снижении концентрации носителей можно уменьшить плазменную частоту и таким образом сдвинуть границу прозрачности полупроводника в длинноволновую область вплоть до полосы остаточных лучей. Кроме того, применение магнитного поля также может позволить получить окна прозрачности для электромагнитного излучения дальней ИК области в плазме полупроводника. Авторы благодарят академика Б.М.Вула за советы и обсуждение результатов работы.

Авторы выражают благодарность В.И.Стафееву, и В.П.Пономаренко за предоставление фотоприемника $\text{Ge} < \text{Be} >$ и Ю.Н.Долганину за помощь при проведении спектральных измерений, а также И.П.Ревокатову за участие в разработке технологии выращивания лазерных структур.

Литература

1. Караваев С.М., Курбатов Л.Н., Бритов А.Д. Квантовая электроника, 1978, 5, 1368.
2. Calawa A.R., Dimmock J.O., Harman T.C., Melngailis I. Phys. Rev. Lett., 1969, 23, 7.
3. Даварашвили И.О., Долгинов Л.М., Елисеев П.Г., Засавицкий И.И., Шотов А.П. Квантовая электроника, 1977, 4, 904.
4. Старик П.М., Бритов А.Д., Лучицкий Р.М., Лотоцкий В.Б., Микитюк В.И., Караваев С.М. ФТП, 1978, 12, 2273.