

Поступило в Редакцию
2 октября 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 3

12 февраля 1991 г.

06.3; 12

© 1991

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ МОД
НА ПРОСТРАНСТВЕННО-МОДУЛЯЦИОННЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ИНЖЕКЦИОННЫХ ЛАЗЕРОВ
С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ
($\lambda = 1,58$ МКМ)

Р.А. Б о г о р о д и ц к а я, Э.М. Р а б и н о в и ч,
Г.А. С м о п я к о в

Инжекционные лазеры с распределенной обратной связью (РОС) являются чрезвычайно перспективными источниками излучения для высокоскоростных линий волоконно-оптической связи (ВОС), так как в них реализуется динамический режим работы, близкий к одночастотному. Однако в ряде случаев условия существования динамически одночастотного режима в РОС лазерах могут нарушаться. Особенно подвержены этому лазеры с однородной дифракционной решеткой [1], в которых может наблюдаться генерация мод на двух длинах волн, относительная интенсивность которых существенно зависит от тока инжекции и температуры [2]. При модуляции тока инжекции возможно переключение мод генерации, что неизбежно должно сказываться на характеристиках РОС лазера.

В настоящей работе исследовано влияние переключения мод РОС лазера с однородной дифракционной решеткой, обусловленное модуляцией тока инжекции, на наиболее важные для применения в линиях ВОС характеристики – пространственно-модуляционные. Исследования были выполнены с использованием РОС лазеров, созданных на основе *InGaAsP/InP* ($\lambda = 1,58$ мкм) с мезаэпипосковой зарощенной структурой, работающих при температуре 11–13 °С.

В целом установка для анализа характеристик РОС лазера была во многом аналогична установке, использованной ранее [3]. Для исследования пространственно-модуляционных характеристик излучения (ПМХИ) ток инжекции РОС лазера модулировался гармоническим сигналом в диапазоне звуковых и ультразвуковых частот. В дальней зоне излучения лазера располагался фотоприемник, апертура которого была ограничена щелью, ориентированной

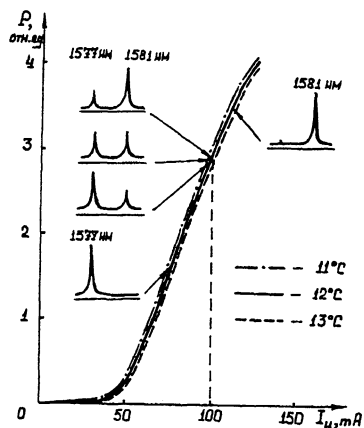


Рис. 1. Зависимость мощности излучения P от тока инжекции I_{in} для РОС лазера и его спектры генерации.

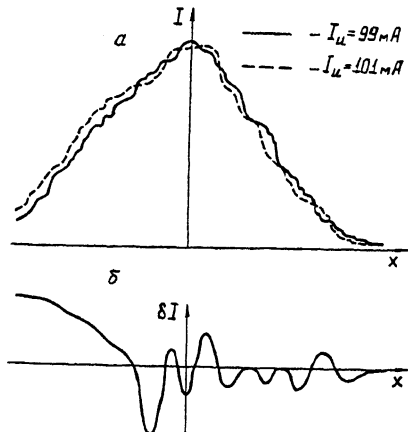


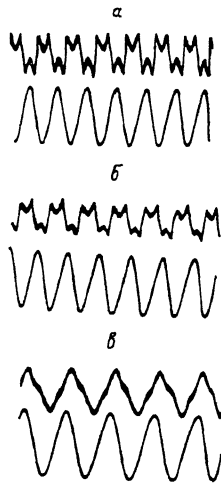
Рис. 2. Пространственное распределение постоянной I (а) и переменной δI (б) составляющих интенсивности излучения лазера в плоскости р-р-перехода при изменении поперечной координаты X . Для рис. 2, б частота модуляции тока инжекции $\omega_m/2\pi = 5$ кГц, амплитуда модуляции тока инжекции $\delta I_{in} = 1$ Ма, рабочая точка была выбрана при $I_{in} = 100$ мА.

вертикально. Обеспечивалось перемещение фотоприемника со щелью в горизонтальной плоскости перпендикулярно направлению пучка света, излучаемого лазером. При изучении ПМХИ плоскость р-р перехода полупроводниковой структуры могла ориентироваться как вертикально, так и горизонтально. Фиксировалось пространственное распределение переменной и постоянной составляющей интенсивности излучения по сечению лазерного пучка. Для регистрации переменной составляющей интенсивности излучения применялось синхронное детектирование. Наряду с ПМХИ анализировался спектр излучения РОС лазера для различных токов инжекции.

На рис. 1 представлены ватт-амперные характеристики и спектр генерации РОС лазера. Видно, что существует область одночастотной генерации при $I_{in} = 60-100$ мА, где I_{in} - ток инжекции лазера, двухчастотной - при $I_{in} > 100$ мА, а также область, где происходит переключение генерации с длины волны $\lambda_1 = 1577$ нм на длину волны $\lambda_2 = 1581$ нм (и наоборот) при изменении тока инжекции в окрестности $I_{in} = 100$ мА ($t = 12$ °С) на величину $\Delta I_{in} \approx 1$ мА.

На рис. 2, а изображено пространственное распределение постоянной составляющей интенсивности излучения РОС лазера в плоскости р-р-перехода для двух различных мод генерации. Вид-

Рис. 3. Осциллограммы переменной составляющей интенсивности излучения лазера в некоторой точке внутри пучка (верхняя кривая) и тока инжекции (нижняя кривая) для различных частот модуляции $\omega_M/2\pi$: а - 1 кГц, б - 20 кГц, в - 70 кГц.



но, что при переключении мод генерации, структура пространственного распределения интенсивности излучения существенно изменяется. Кроме того, пучок света, излучаемый лазером, несколько смещается. При этом в различных точках внутри пучка имеет место как увеличение, так и уменьшение интенсивности излучения. Таким образом, переключение мод генерации обуславливает противофазное изменение

интенсивности излучения в ряде точек, расположенных внутри пучка. Последнее обстоятельство приводит к тому, что при переключении мод генерации, связанном с модуляцией тока инжекции, фаза модуляции интенсивности излучения многократно изменяется на 180° внутри пучка, что и наблюдается экспериментально в пространственном распределении переменной составляющей интенсивности излучения лазера (рис. 2, б).

Аналогичные явления были обнаружены и в плоскости перпендикулярной плоскости р-п-перехода структуры, где, кроме того, наблюдалась сильная изрезанность в распределении постоянной составляющей интенсивности излучения лазера со стороны дифракционной решетки.

Интересно поведение переменной составляющей интенсивности излучения. На рис. 3, а-в представлены осциллограммы переменной составляющей интенсивности излучения в плоскости р-п-перехода для некоторой точки, расположенной внутри пучка, и тока инжекции, соответствующие различным частотам модуляции. Из рис. 3, а можно видеть, что в интенсивности прослеживаются два вида модуляции: один - скачкообразный, обусловленный переключением моды и профиля распределения интенсивности; второй - гармонический, соответствующий изменению интенсивности моды. По мере увеличения частоты модуляции (рис. 3, б, в) роль пространственных изменений пучка излучения уменьшается и при частотах модуляции $\omega_M/2\pi = 70$ кГц остается один вид модуляции - гармоническое изменение интенсивности излучения.

Несмотря на то, что по своему внешнему проявлению (изменение фазы модуляции интенсивности по сечению лазерного пучка) данный эффект во многом аналогичен описанному ранее [4], в основе наблюдаемых явлений лежат иные физические механизмы, главный из которых - конкуренция продольных мод РОС лазера. С переключением РОС-мод в результате модуляции тока инжек-

ции связано, по-видимому, достаточно резкое изменение пространственного распределения усиления, что приводит к существенным деформациям поля в дальней зоне излучения [5] и проявляется, как уже отмечалось, в виде многократной инверсии фазы модуляции интенсивности по сечению лазерного пучка.

Частотная зависимость переменной составляющей интенсивности может быть качественно объяснена, если принять во внимание температурную зависимость порога генерации второй моды и учесть инерционность тепловых процессов в лазере. Температурная зависимость порога генерации $I_{и\text{ пор}}$ второй моды наблюдалась экспериментально и выражалась в увеличении $I_{и\text{ пор}}$ от 90 мА до ~ 105 мА при изменении температуры лазера в диапазоне $t = 11-13$ °С. Низкочастотная модуляция тока инжекции сопровождается соответствующими изменениями температуры и, как следствие, глубокой модуляцией порогового значения тока инжекции для второй моды, причем амплитуда модуляции порога генерации $\Delta I_{и\text{ пор}}$ значительно превышает амплитуду модуляции тока инжекции лазера $\Delta I_{и}$. В этом случае лазер периодически оказывается как в состоянии значительно выше, так и значительно ниже $I_{и\text{ пор}}$, что соответствует полному переключению мод и сравнительно глубокой модуляции интенсивности (рис. 3, а, б). Инерционность тепловых процессов приводит к тому, что с ростом частоты происходит постепенное уменьшение $\Delta I_{и\text{ пор}}$ и устанавливается некоторое стационарное значение $I_{и\text{ пор}} = I_{и\text{ пор}}^{ст}$, и в этом случае модуляция тока инжекции около этого стационарного значения, соответствующего равной интенсивности конкурирующих мод, вызывает лишь плавные изменения интенсивности в результате частичного перераспределения энергии между модами. При этом $\Delta I_{и\text{ пор}} \cong \Delta I_{и}$ происходит смена фазы модуляции интенсивности (рис. 3, в).

Обнаруженные закономерности в поведении ПМХИ РОС лазера представляются важными в силу ряда обстоятельств.

1. Установлена новая причина, приводящая к появлению нелинейных искажений сигнала модуляции, которую необходимо учитывать при применении лазеров в линиях ВОС.

2. В зависимости от взаимного расположения РОС лазера и фотоприемника с ограниченной апертурой (или волоконного световода) от одного и того же источника излучения можно получить как синфазный с током инжекции, так и противофазный и даже нулевой сигнал, соответствующий модуляции интенсивности в данном месте пучка.

3. Изменением апертуры фотоприемника можно регулировать вклад в результирующий сигнал от различных областей, расположенных внутри лазерного пучка, и таким образом осуществлять управление ПМХИ.

4. Зависимость ПМХИ от частоты модуляции тока инжекции может быть использована для оценки времени установления температуры в полупроводниковой структуре РОС лазера.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Физика полупроводниковых лазеров / Под ред. Х. Такумы. М.: Мир, 1989. 230 с.
- [2] Барышев В.И., Голикова Е.Г., Дурьев В.П. и др. / Квантовая электроника. 1988. Т. 15. № 11. С. 2196.
- [3] Жуков Н.Д., Микаелян Г.Т., Рабинович Э.М., Тучин В.В. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 4. С. 364-368.
- [4] Rabinovich E.M., Smolyakov G.A., Tschin V.V. In: NonLinear dynamics in optical systems. Conference edditions at USA, Afton, Oklahoma. 1990, June 4-8. MD 16-1/81.
- [5] Манько М.А., Микаелян Г.Т. // Тр. ФИАН. 1986. Т. 166. С. 126-154.

Поступило в Редакцию
29 октября 1990 г.