

8. Weiss H. Holography in Radiology // *Ibid.*— P. 83.
9. Tsujiuchi J. Holographic stereograms as a tool on nondestructive testing // *SPIE Proc.*— 1983.— 370.— P. 17.
10. Podbielska H., Kasprzak H. Biomechanical investigation of external fixing devices by using the method of holographic interferometry // *XI Intern. Congress of Biomechanics: Abstracts, 1987.*— P. 27.
11. Kasprzak H., Podbielska H. Bending and torsion of the tibial bone examined by holographic interferometry // *Polish Conference of Biomechanics: Abstracts, 1987.*— P. 29.
12. Kasprzak H. e. a. Mechanical features of the human thigh bone investigated by means of holographic interferometry // *Acta Polytechnica Scandinavica: Proc. Image Science 85', 1985.*— V. 2.
13. Podbielska H. e. a. Mechanical reaction of human skull bones to external load examined by holographic interferometry // *SPIE Proc.*— 1987.— 673.— P. 273.
14. Divtoft I. Holographic measurement of deformation in complete upper dentures — clinical application // *Optics in Biomedical Sciences.*— Berlin — New York: Springer Verlag, 1982.— P. 100.
15. Pavlin D. e. a. Mechanical reactions of facial skeleton to maxillary expansion determined by laser holography // *Ann. J. of Orthodontics 85'.— 1984.*— P. 488.

Поступило в редакцию 23 мая 1988 г.

УДК 621.373.826

А. А. ЖМУДЬ
(Новосибирск)

ПЕРЕСТРОЕЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНЖЕКЦИОННЫХ ЛАЗЕРОВ

Важной особенностью инжекционных лазеров с точки зрения применения в спектроскопии является возможность изменять их спектр излучения при помощи сравнительно простых методов. В частности, посредством изменения тока накачки или температуры лазера можно менять в широком диапазоне его длину волны, модовый состав и даже ширину линии [1—3]. Однако наличие большого количества типов лазеров, имеющих различные пороговые токи и типы резонаторов, а соответственно и разные спектральные характеристики, зачастую ставит перед исследователем сложную задачу правильного выбора лазера и режима его работы.

В данной работе приведены обобщенные перестроечные характеристики полупроводниковых инжекционных лазеров, полученные в результате экспериментальных исследований промышленных образцов серий ИЛПН-102, ИЛПН-205, ИЛПН-210 и НЛР-1600. Исследовались лазеры с длинами волн $\lambda \sim 0,78\text{—}0,87$ мкм и пороговыми токами $J_n \sim 20\text{—}200$ мА при комнатной температуре. Приборы помещались в термостат, где их температура могла изменяться в диапазоне $0\text{—}+30$ °С, а выбранное значение температуры поддерживалось с точностью $\sim 1 \cdot 10^{-3}$ К. Флуктуации установленного тока накачки не превышали величины $\Delta J/J \leq 1 \cdot 10^{-4}$ [4]. Исследования спектральных характеристик проводились при помощи разработанного специально для этих целей малогабаритного панорамного спектрометра с разрешением 0,015 нм и многолучевыми интерферометрами Физо с базой 0,1—80 мм и остротой ~ 20 .

По типу резонатора исследуемые лазеры разделялись на две группы: лазеры с полосковым и канальным волноводами (размер тела свечения не более $1 \times 3,5$ мкм). Исследования показали, что при расстоянии между продольными модами $\Delta\lambda_q > 0,4\text{—}0,5$ нм (q — индекс продольной моды) область рабочих точек лазеров с канальным волноводом состоит из зон трех типов: многочастотных, двухчастотных и одночастотных (интенсивность побочных мод менее 1 %) режимов. Зона многочастотных режимов имеет место при небольшом превышении током накачки J порогового тока: $J_n < J \leq 1,1J_n$. При этом лазер излучает три и более длины волны, соответствующие различным индексам q и обладающие низкой степенью когерентности (ширины линий $\Delta\nu > 10$ ГГц). При больших токах накачки лазер может работать либо в одночастотном, либо в двухчастотном режиме (рис. 1). Границей зон со стороны больших токов является линия токов, выше которых наблюдается катастрофическая деградация лазеров. Из рис. 1 видно, что, меняя температуру лазера или ток накачки, можно изменять длину волны излучения непрерывно на величину $\Delta\lambda \leq \Delta\lambda_q/2$ либо дискретно по модам резонатора. Изменение длины волны в одночастотном режиме в первом приближении может быть описано соотношением [1, 3]

$$d\lambda = \beta_J(J_n, T) dJ + \beta_T(T, J) dT, \quad (1)$$

где $\beta_J(J_n, T)$ и $\beta_T(T, J)$ — коэффициенты, характеризующие зависимость изменения длины волны лазера от изменения тока накачки dJ и температуры dT соответственно. У исследуемых лазеров с канальным волноводом $\beta_T \sim 0,015\text{—}0,06$ пм/К,

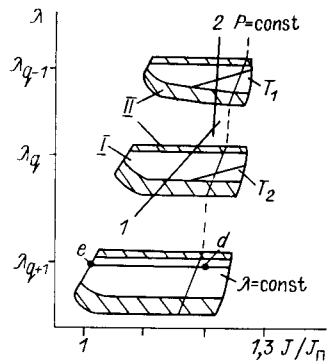


Рис. 1. Зоны рабочих режимов инжекционных лазеров: I — зоны одночастотных и II — двухчастотных режимов лазеров с канальным волноводом; T_1 и T_2 — линии постоянной температуры ($T_1 - T_2 \sim 2^\circ\text{C}$); 1 и 2 — соответственно линии постоянной температуры и тока лазеров с полосковым волноводом в одночастотном режиме, причем эти линии соответствуют разным индексам q ; J_π — пороговый ток при $T = T_1$; λ — длина волны; P — мощность

а $\beta_J \sim (4-8) \cdot 10^{-3}$ нм/мА [4], причем у лазеров с меньшими пороговыми токами коэффициент β_J больше. В пределах одной зоны одночастотных режимов $\beta_J = \text{const}$.

Характерный вид кривой зависимости изменения длины волны от температуры при постоянном токе накачки показан на рис. 2. Перегиб кривой в точке b связан с появлением в этой точке второй моды, соответствующей меньшему индексу q . Интенсивность второй моды вблизи данной точки относительно невелика (не более 10% интенсивности основной моды), и лазер можно считать одночастотным (ширина линии основной моды $\sim 150-200$ МГц), а зависимость длины волны от температуры значительно меньше, чем в центре зоны одночастотных режимов.

При изменении рабочих условий вдоль прямой $\lambda = \text{const}$ ширина линии генерации изменяется от величины $\Delta\nu \gg 1$ ГГц в точке e до $\Delta\nu \lesssim 50$ МГц в точке d (см. рис. 1).

Отличие спектральных характеристик лазеров с полосковым волноводом (ширина полоска до 20 мкм) от спектральных характеристик лазеров с канальным волноводом связано с возможностью изменения положения тела свечения внутри полоска при изменении тока накачки или температуры лазера. В результате происходит своего рода «затягивание частоты моды резонатора» или автоподстройка длины волны моды λ_q к центральной длине волны контура усиления лазера. Данный эффект приводит к увеличению (по шкале длин волн) ширин зон одночастотных режимов и даже к их перекрытию (линии 1 и 2 на рис. 1), а также к увеличению коэффициентов β_J и β_T . В результате появляется новая зона рабочих режимов — зона «мультистабильности» [2]. В данной зоне в зависимости от способа выхода в рабочую точку лазер может быть одночастотным либо двухчастотным. Причем в одночастотном режиме в зоне мультистабильности лазер способен работать на одной из двух или даже трех возможных частот разных индексов продольных мод. Одночастотный режим в зоне мультистабильности наблюдается, как правило, при медленном выводе лазера в данную зону: $d\lambda/dt \lesssim 0,1$ нм/с, t — время.

Проведенные исследования показали, что существенным достоинством лазеров с полосковым волноводом с точки зрения применения их в спектроскопии является возможность настройки на любую длину волны во всем диапазоне перестройки. Результаты данной работы могут быть использованы для выбора типа лазера и его рабочей точки при решении конкретных задач, стоящих перед исследователями, применяющими инжекционные лазеры.

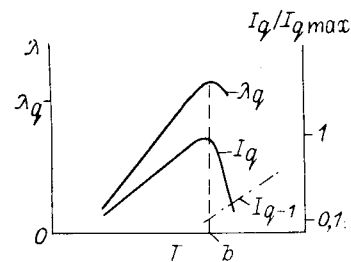


Рис. 2. Зависимости изменений длины волны и интенсивности моды от температуры лазера:

λ — длина волны; I_q — интенсивность моды; T — температура

ЛИТЕРАТУРА

1. Елисеев П. Г. Введение в физику инжекционных лазеров. — М.: Наука, 1983.
2. Hori H., Endo K., Kono E., Sakurai T. Mode-transition characteristics and tunability of an AlGaAs laser // J. Appl. Phys.— 1986.— 60, N 7.— P. 2231.
3. Comparo J. C. Single-mode diode laser as a source of variable bandwidth, fixed center frequency optical fields // Rev. Scientific Instrum.— 1986.— 57, N 3.— P. 370.
4. Бобрик В. И., Жмудь А. А. Стабилизация длины волны излучения инжекционных лазеров без использования внешних оптических устройств // Квантовая электрон.— 1987.— 14, № 2.

Поступило в редакцию 17 февраля 1988 г.