СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНЖЕКЦИОННЫХ ГЕТЕРОЛАЗЕРОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Исследование спектральных характеристик инжекционных лазеров, поиск новых способов управления частотой генерации для использования в волоконно-оптических линиях связи, спектрометрии, дальнометрии, системах лазерного зондирования атмосферы и гидросферы, локации является актуальной задачей. Применение низкопороговых непрерывных лазеров на основе двусторонних гетероструктур в режиме импульсной модуляции с постоянным смещением до и выше порога позволило достичь высоких скоростей модуляции, устранить релаксационные помехи, улучшить спектральные характеристики [1, 2].

Нами исследованы спектральные характеристики полупроводниковых ДГС-лазеров на основе GaAlAs с полосковой геометрией омического контакта, имеющих пороговые токи в непрерывном режиме генерации при комнатной температуре 75—110 мА и излучающих в диапазоне длин волн 810—850 нм. Для этих целей разработана экспериментальная установка, включающая: устройство крепления лазерного диода с термостатом; систему питания лазера, состоящую из регулируемого источника постоянного тока и генераторов модулирующих импульсов с длительностями 0,001—1 мкс и частотой следования от 10 до 108 Гц; дифракционный монохроматор, обеспечивающий спектральное разрешение не хуже 0,02 нм; фотоприемное устройство; комплекс контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратуры.

Изучены спектры излучения при работе лазеров в непрерывном режиме, в импульсном без смещения и со смещением постоянным током до и выше порога. Установлено, что при модуляции импульсами тока длительностью <60 нс положение максимума спектра излучения определяется только уровнем возбуждения и смещается в коротковолновую область с коэффициентом сдвига ~0,07-0,09 нм/мА в диапазоне изменения токов от 1,05 до $2I_{\text{пор}}$ при температурах 300—350 К. Минимальное приращение тока, при котором обеспечивается перестройка линии генерации на соседнюю коротковолновую моду, составляет 5—6 мА и соответствует смещению максимума контура усиления на значение межмодового расстояния (~ 0.4 нм). При длительностях импульсов, больших 60 нс. начинает проявляться влияние температуры на спектр излучения, приводящее к его перестройке в сторону больших длин воли. Коэффициент температурного сдвига максимума спектра генерации, связанный со смещением спектра спонтанного излучения, равен 0,24—0,27 нм/К. Скорость сдвига отдельной моды резонатора Фабри-Перо, обусловлениая изменением длины резонатора и эффективного показателя преломления, 0,063—0,070 им/К. При этом температура перегрева активной области, нзмеренная по методике и на установке, описанной в [3], достигает в непрерывном режиме генерации при токе накачки $I = 1,05I_{\text{пор}}$ 12—16°, а при $I=1.5I_{\rm nop}$ 24—28°. Вследствие конкурирующего воздействия токовой и температурной перестройки максимум спектра излучения в режиме непрерывной генерации смещается в длинноволновую область с коэффициентом 0,01-0,03 нм/мА. Модуляция короткими импульсами тока (<60 нс) с постоянным смещением ниже порога позволила осуществить управление спектром излучения лазерного диода, используя как токовую перестройку спектра излучения путем выбора уровня импульсного возбуждения, так и температурную за счет разогрева активной области излучателя, изменяя уровень постоянного смещения. При изменении уровня импульсного возбуждения от 1,05 до $2I_{\text{пор}}$ величина токовой перестройки спектра в коротковолновую область достигает ~6-7 нм, а сам днапазон токовой перестройки можно плавно смещать в сторону длинных воли за счет температурного сдвига спектра излучения путем изменения уровия постоянного возбуждения. Величина смещения при постоянном возбуждении, близком к пороговому, достигает 3—4 нм.

При постоянном смещении, превышающем величину порогового тока, генерация осуществляется в двух спектральных областях, соответствующих уровню импульсного и постоянного возбуждения (рис. 1). Так как

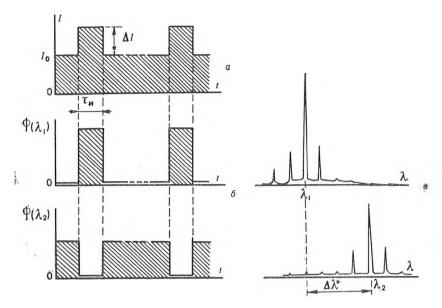


Рис. 1. Импульсная модуляция и спектры излучения инжекционного лазера с постоянным смещением:

a — ток накачки; δ , θ — оптический поток Φ

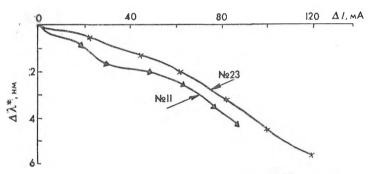


Рис. 2. Зависимость спектральной перестройки $\Delta\lambda^*$ от превышения амплитуды импульса тока накачки ΔI над постоянным смещением I_0 (лазерный днод N_2 11 — I_0 = 100 мA, $I_{\text{пор}}$ = 80 мA; N_2 23 — I_0 = 120 мA, $I_{\text{пор}}$ = 100 мA, $\tau_{\text{и}}$ = 40 ис)

в этом случае временная задержка между импульсами тока и света мала, можно осуществить практически безынерционную спектральную перестройку излучения относительно опорного спектра, определяемого уровнем постоянного смещения. Величина перестройки $\Delta\lambda^*$ и положение линии генерации определяются при этом выбором соотношения амплитуд постоянного и импульсного токов накачки и в случае превышения уровия импульсного возбуждения над постоянным на величину, равную пороговому значению тока, $\Delta\lambda^*$ достигает $\sim 3-6$ нм (рис. 2).

Если ширина контура усиления соизмерима с межмодовым расстоянием, в момент действия токового импульса перестройка спектра излучения в коротковолновую область сопровождается срывом генерации в длинноволновой области спектра, соответствующей уровню постоянного смещения.

Путем спектральной селекции, т. е. выделения излучения из соответствующих спектральных областей, получены оптические импульсы излучения за счет генерации в коротковолновой и импульсно-модулированное непрерывное излучение в длинноволновой областях спектра.

Список литературы

1. Богданович О. В., Дарзнек С. А., Елисеев П. Г. Полупроводниковые

лазеры. М., 1976. 2. Кейси Х., Паниш М. Лазеры на гетероструктурах. М., 1981. Т. 1, 2. 3. Жарников С. Д., Манак И. С., Пучин Ю. В., Шилов А. Ф. // ИФЖ. 1984. Т. 10. № 6. С. 1025.

Поступила в редакцию 21.02.89.

УДК 517.977

В. С. СМОРОЛИН

СВЯЗЬ ВЕКТОРНОГО ИМПУЛЬСА С ФУНКЦИОНАЛОМ БЕЛЛМАНА ДЛЯ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ЗАПАЗЛЫВАНИЕМ

Использование динамического программирования в теории особых управлений связано, как известно, с возможностью получения уравнений, определяющих оптимальное управление, что в конечном счете позволяет сформулировать достаточные условия оптимальности особых управлений.

Рассмотрим систему

$$\dot{x}(t) = \int_{-h}^{0} f(x(t), x(t+s), u(t), t) ds, t \in [t_0, t_1] = T,$$
 (1)

$$x_0(\cdot) = \{\varphi_0(\tau), \ \tau \in [t_0 - h, \ t_0), \ x(t_0) = x_0\}, \ h > 0$$
 (2)

с распределенным запаздыванием, где x(t) — n-вектор выходных переменных: u(t) — m-вектор управления класса кусочно-непрерывных функций со значениями из U, U-компакт из R^m ; $\varphi_0(\tau)$ — кусочно-непрерывная п-мерная векторная функция.

Пусть на траекториях системы (1) требуется минимизировать функ-

ционал

$$J(u) = \varphi(x(t_1 + \cdot), x(t_1)),$$
 (3)

где φ — оператор, задающий отображение $C[R^n, [t_1-h, t_1]] \times R^n \rightarrow R$.

Предполагается, что f(x, y, u, t) имеет непрерывные частные производные по x, y, u до второго порядка включительно и непрерывно дифференцируемые по t производные $\partial f(x, y, u, t)/\partial y$ и $\partial^2 f(x, y, u, t)/\partial x \partial y$, а функционал $\varphi(z(\cdot),x)$ непрерывен по совокупности x и $z(\cdot)$ вместе c $\partial \varphi/\partial x$, $\partial^2 \varphi/\partial x^2$, $\delta \varphi/\delta z(s)$, $\delta^2 \varphi/\delta z^2(s)$, $\partial \delta \varphi/\partial x \delta z(s)$, $\partial \delta \varphi/\partial s \delta z(s)$, $\delta^2 \varphi/\delta z(s) \delta z(r)$.

Как и в [1], решение сопряженной к (1) системы [2] $\psi(t)$, $\psi(t,s)$, $t \in T$, $s \in [-h, 0]$ будем называть векторным импульсом задачи (1) - (3). Для последней, аналогично работе [3], может быть получено следующее ин-

тегро-дифференциальное уравнение Беллмана:

$$-\frac{\partial B(x(\tau), x(\tau+\cdot), \tau)}{\partial \tau} = \min\left\{\frac{\partial B^{\tau}(x, x(\tau+\cdot), \tau)}{\partial x} \int_{-h}^{0} f(x(\tau), x(\tau+s_1), u, \tau) ds_1 + \frac{\partial B(x(\tau), x(\tau+s_1), u, \tau)}{\partial x}\right\}$$

$$+\int_{-h}^{0}\int_{-h}^{0}\frac{\partial B^{\tau}(x, x(\tau+\cdot), \tau)}{\delta x(\tau+s_2)}f(x(\tau+s_2), x(\tau+s_2+s_1), u(\tau+s_2), \tau+s_2)ds_1ds_2\},$$

$$B(x, z(\cdot), t_1) = \varphi(z(\cdot), x), f(x(t), x(t+s), u(t), t) \equiv 0, t < t_0,$$

 $B(x, z(\cdot), t) \equiv 0, t < t_0, t > t_1; \tau \in [t_0, t_1].$