

06.3

©1994

УПРАВЛЕНИЕ СПЕКТРОМ ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА С МНОГОЗЕРКАЛЬНЫМ ВНЕШНИМ РЕЗОНАТОРОМ

*Ю.К.Ибаев, В.В.Коледов,
А.Ю.Куклин, Я.А.Моносов*

В настоящей работе предложен и исследован новый способ управления спектром излучения в системе, содержащей полупроводниковый инжекционный лазер (ПЛ), связанный с многозеркальным внешним резонатором. Данный способ позволяет эффективно управлять возбуждением мод в спектре, являющемся при определенных условиях практически эквидистантным. Это дает возможность передавать двоичную информацию от одного лазерного источника в формате параллельного порта, когда наличие генерации на одной из эквидистантных частот соответствует 1 в данном разряде, а отсутствие — 0.

Рассмотрим схему, в которой излучение от полупроводникового лазера с помощью светоделительных пластин направляется на N внешних зеркал (ВЗ), находящихся на существенно разных от лазера расстояниях, и затем возвращается обратно в его активную область. Уравнение для комплексной напряженности электрического поля $E(t)$ в случае ПЛ с многозеркальным внешним резонатором может быть записано по аналогии с работой [1] в виде

$$\dot{E} + j\omega_0 E + \frac{1}{2} [\tau_p^{-1} - \sigma(n)] E = \frac{(1 - r^2)}{\tau_0 r} \sum_{i=1}^N r_i E(t - \tau_i). \quad (1)$$

Здесь r и r_i — амплитудные коэффициенты отражения граней лазера и i -го ВЗ соответственно, ω_0 — частота генерации изолированного лазера, τ_p^{-1} и $\sigma(n)$ — потери и зависящее от числа возбужденных носителей n комплексное усиление излучения в активной области, τ_0 и τ_i — времена пролета фотона в резонаторе лазера и до i -го ВЗ, N — количество внешних зеркал.

Представим $E(t)$ в приближении стационарной генерации в виде $E(t) = \rho \exp(j\omega t)$, где $\rho = \text{const}$. Используя (1), получаем уравнение для возможных частот генерации ω_g ПЛ

с многозеркальным внешним резонатором:

$$\omega_g - \omega_0 = \sqrt{1 + \alpha^2} \frac{(1 - r^2)}{\tau_0 r} \sum_{i=1}^N r_i \sin(\omega_g \tau_i + \varphi), \quad (2)$$

где α — коэффициент уширения линии, $\varphi = \text{arctg}(\alpha)$. Численное решение (2) показывает широкие возможности управления спектром. В частности, по крайней мере для $N = 2, 3, 4$ можно подобрать такие τ_i и r_i , что изменением только фаз излучения, отраженного от одного или нескольких ВЗ, например, при помощи фазовых модуляторов, можно добиться независимого возбуждения любой комбинации из N практически эквидистантных мод.

На рис. 1, а-г показаны графические решения уравнения (2) для ПЛ с двумя ВЗ, расстояния до которых $L_1 = 70$ и $L_2 = 35$ см при $r_1 = r_2 = 1 \cdot 10^{-3}$, $r = 0.5$ и различных фазах отраженного излучения $\theta_i = \omega_0 \tau_i + \Psi(\text{mod } 2\pi)$. Единственная точка пересечения на рис. 1, а ($\theta_1 = 0$, $\theta_2 = 0$) соответствует моде с частотой изолированного лазера ω_0 . На рис. 1, б ($\theta_1 = 0$, $\theta_2 = -\pi/4$) присутствует излучение на правой боковой частоте $\omega_1 \approx \omega_0 + \Delta\omega/2$, где $\Delta\omega/2\pi = 150$ МГц. На рис. 1, в ($\theta_1 = 0$, $\theta_2 = \pi/4$) присутствует излучение на левой боковой частоте $\omega_2 \approx \omega_0 - \Delta\omega/2$. На рис. 1, г ($\theta_1 = 0$, $\theta_2 = \pi$) присутствует излучение на обеих боковых модах. Полученные спектры можно применить для параллельной передачи информации. При этом мода с частотой изолированного лазера не несет информации и является аналогом несущей частоты при АМ или ЧМ модуляции сигнала. Информационными являются боковые моды с частотами ω_1 и ω_2 . Спектры на рис. 1, а-г соответствуют двухразрядным двоичным числам 00, 01, 10, 11.

В эксперименте использовался серийный одномодовый лазер ИЛПН-206 с длиной волны 1.3 мкм, пороговым током $I_{th} = 29$ мА и исходной шириной линии 180 МГц. Спектр излучения лазера регистрировался с помощью сканирующего интерферометра Фабри-Перо. Внешний резонатор был образован двумя зеркалами ВЗ1 и ВЗ2, закрепленными на пьезокерамических кольцах и снабженных ирисовыми диафрагмами. Из-за невозможности точного количественного определения коэффициентов обратной связи r_1 и r_2 они устанавливались приближенно в соответствии с качественным критерием, описанным в [2], исходя из количества мод в спектре ПЛ, связанного по отдельности с каждым из ВЗ. Подачей соответствующих напряжений на пьезокерамические кольца фазы излучения, отраженного от ВЗ1 и ВЗ2, сначала подбирались до достижения минимальной ширины

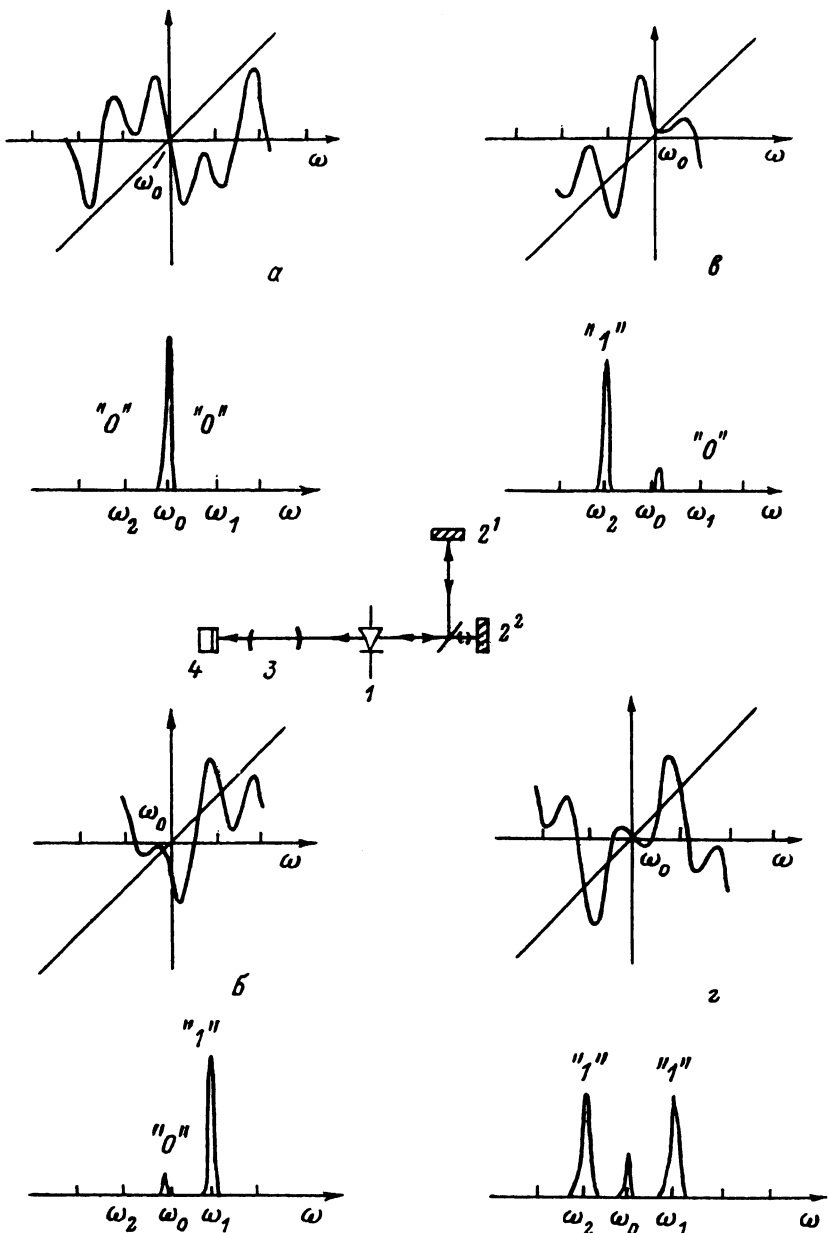


Рис. 1. Графические решения уравнения (2) для возможных частот генерации и спектры излучения ПЛ с двухзеркальным внешним резонатором, соответствующие двухразрядным двоичным числам. а — 00, б — 01, в — 10, г — 11. На вставке — схема экспериментальной установки. 1 — полупроводниковый лазер, 2¹ и 2² — внешние зеркала, 3 — интерферометр Фабри-Перо, 4 — лавинный фотодиод.

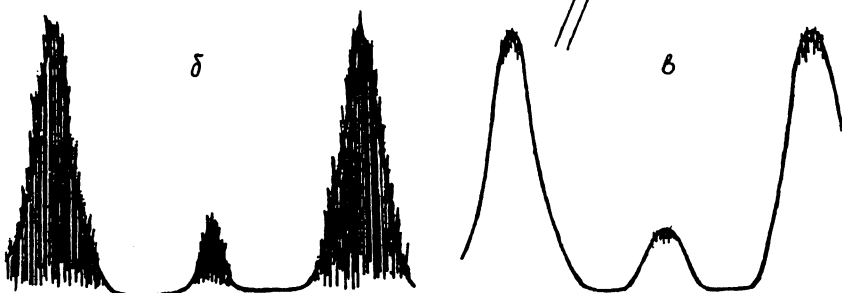
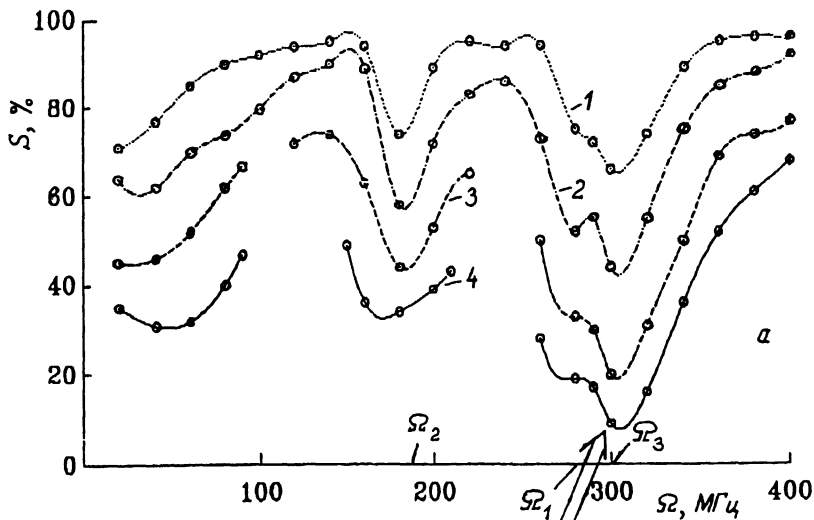


Рис. 2. а — спектр излучения, соответствующий двухразрядному числу 11 без модуляции тока питания; б — зависимость отношения интенсивности шума к полной интенсивности моды от частоты модуляции при различных амплитудах; 1 — 0.4, 2 — 0.8, 3 — 1.2, 4 — 1.5 мА; в — спектр излучения, соответствующий двухразрядному двоичному числу 11 при модуляции тока питания с частотой 300 МГц и амплитудой 1.5 мА.

линии одномодовой генерации на частоте изолированного лазера, что соответствовало $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = 0$ (рис. 1, а). Затем к напряжению на пьезокерамическом кольце В32 добавлялись напряжения $\pm U_{\pi/4}$, $4U_{\pi/4}$, где $U_{\pi/4} \approx 40 \pm 5$ В — четвертьволновое напряжение колец. Полученные спектры хорошо соответствовали рассчитанным теоретически.

Исследование флуктуаций интенсивности излучения в отдельных модах, проведенное с помощью лавинного фотодиода с полосой 0.1–200 МГц, установленного за ИФП в несканирующем режиме, показало наличие сильного шума (≈ 100 %) в случае генерации двух мод (см. рис. 2, а). Это

явление, известное как шум скачков мод (mode hopping noise), не может быть описано в приближении стационарной генерации. Для его объяснения применяется так называемая потенциальная модель [3], учитывающая влияние спонтанного излучения.

Как показано в [4], модуляция тока питания снижает шум полной интенсивности излучения ПЛ с ВЗ, обусловленный скачками мод. В настоящей работе обнаружено, что модуляция тока питания слабым гармоническим сигналом снижает также шум интенсивности в отдельной моде. График зависимости отношения S интенсивности шума, измеренной в полосе 0.1–10 МГц, к полной интенсивности моды от частоты модуляции, представлен на рис. 2, б. Наблюдаются, по крайней мере, три минимума шума на частотах модуляции $\Omega_1 = 280$, $\Omega_2 = 180$ и $\Omega_3 = 300$ МГц. Теоретически и экспериментально было показано, что эти частоты соответствуют межмодовому интервалу лазера, связанного соответственно с В31, В32 и составным двухзеркальным резонатором.

Максимальное отношение сигнал/шум, равное 10 Б, получено при модуляции с частотой $\Omega_3 = 300$ МГц и амплитудой 1.5 мА ($\approx 0.05I_{th}$). На рис. 2, в представлен спектр излучения, соответствующий рис. 1, г при модуляции тока питания. Достигнутое отношение сигнал/шум, по-видимому, достаточно для параллельной передачи двоичной информации с удовлетворительным для приложений в области оптической связи значением частоты ошибок.

В заключение авторы выражают благодарность проф. Р.А.Сурису и К.Б.Дедушенко за полезные обсуждения.

Список литературы

- [1] Tromborg B., Osmundsen J.H., Olesen H. // IEEE J. of Quantum Electron. 1984. V. 20. P. 1023–1032.
- [2] Lenstra D., Van Vaalen M., Jaskorzynska B. // Physica. 1984. V. 125C. P. 255.
- [3] Mork J., Semkow M., Tromborg B. // Electron. Lett. 1990. V. 26. N 9. P. 609–610.
- [4] Stubkjaer K.E., Small M.B. // IEEE J. of Quantum Electron. 1984. V. 20. P. 472–477.

Институт радиотехники и электроники
Москва

Поступило в Редакцию
13 марта 1994 г.