

06:07

Фазовые эффекты в полупроводниковом лазере с дифракционным выводом излучения

© М.А. Калитеевский, Е.Л. Портной, Г.С. Соколовский

Физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 25 апреля 1997 г.

Работа посвящена точному количественному учету фазовых эффектов, возникающих в полупроводниковом лазере с дифракционным выводом излучения и распределенным брэгговским отражателем со стороны подложки, и анализу возможности их использования при конструировании лазеров. Показано, что рассмотренные фазовые эффекты могут быть использованы для существенного повышения эффективности лазера.

Полупроводниковые инжекционные лазеры с дифракционным поверхностным выводом излучения обладают рядом преимуществ по сравнению с лазерами, в которых вывод излучения осуществляется через торцы [1,2]. Одними из основных преимуществ являются большая поверхность вывода излучения и связанная с ней высокая выходная апертура, что приводит не только к малой расходимости лазерного излучения [2], но и к снятию фундаментального ограничения излучательной мощности лазера, обусловленного "катастрофической" деградацией выводящих излучение зеркал [3]. Использование дифракционных решеток для вывода излучения и для создания обратной связи позволяет получить одномодовое излучение и сузить ширину линии генерации [4].

Вместе с тем эти лазеры обладают некоторыми недостатками, к числу которых в первую очередь можно отнести потери излучения, дифрагированного в сторону подложки [3]. Следует отметить, что в ряде случаев по технологическим соображениям для создания обратной связи используются решетки, работающие во втором порядке дифракции. При этом эффективность прибора снижают также потери излучения в первом порядке дифракции [5,6]. Обе эти проблемы можно решить, если под волноводным слоем поместить многослойное брэгговское зеркало. При этом, несмотря на кажущуюся простоту предлагаемого решения,

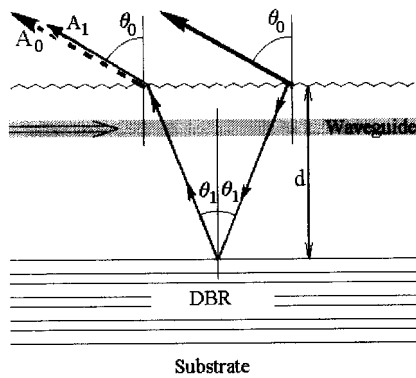


Рис. 1. К расчету фазовых соотношений в системе волновод–поверхностная решетка–многослойное брэгговское зеркало.

исследователи [7–10] пренебрегают необходимостью точного учета фазовых соотношений между волнами, дифрагированными в воздухе, и в сторону многослойного брэгговского зеркала, и переотраженными им. Настоящая работа посвящена точному количественному учету вышеперечисленных соотношений и анализу возможности использования обнаруженных эффектов при конструировании лазеров.

Рассмотрим дифракцию волноводной моды на поверхностной решетке. Волна, дифрагированная в воздух под углом θ_0 , есть результат суперпозиции двух волн (рис. 1): волны, дифрагированной в воздух под углом θ_0 (амплитуда волны A_0), и волны, дифрагированной в сторону подложки под углом θ_1 , и переотраженной брэгговским отражателем (амплитуда волны A_1). Мы будем рассматривать углы дифракции, не меньшие $\pi/2$.

Разность фаз между этими двумя волнами $\Delta\varphi_{01}$ есть (рис. 1)

$$\Delta\varphi_{01} = 2dN_m K_0 \sin \theta_1 + 2d\bar{n}K_0 \frac{1}{\cos \theta_1} + \Delta\varphi_b(\theta_1), \quad (1)$$

где N_m — эффективный показатель преломления волноводной моды, \bar{n} — ”усредненный” показатель преломления волновода и ограничивающих его слоев, d — расстояние от дифракционной решетки до многослойного брэгговского отражателя, K_0 — волновой вектор света в вакууме, $\Delta\varphi_b(\theta_1)$ — фаза коэффициента отражения от брэгговского отражателя.

При нормальном падении света разность фаз

$$\Delta\varphi_{\perp} = 2d\bar{n}K_0 + \Delta\varphi_b(0). \quad (2)$$

Фаза $\Delta\varphi_b(\theta_1)$ вблизи частоты брэгговской интерференции брэгговского отражателя слабо зависит от угла падения света θ_1 [11], а на частоте брэгговской интерференции при нормальном падении света в зависимости от порядка чередования слоев в брэгговском отражателе равна 0 либо π [11].

Результирующая интенсивность $I = |A_0 + A_1|^2$ зависит от разности фаз волн A_0 и A_1 , т. е. брэгговский отражатель может как увеличивать, так и подавлять дифракционный вывод излучения [10].

Следует отметить, что отраженная от брэгговского отражателя волна частично выходит "наружу", частично зеркально отражается и частично дифрагируется в волноводную моду, распространяющуюся в направлении, совпадающем с направлением исходной волноводной моды.

Естественной выглядит идея использовать монокристаллическую структуру с многослойным брэгговским отражателем для создания лазера с дифракционным поверхностным выводом излучения, в котором для реализации одночастотного режима генерации обратная связь осуществляется с помощью дифракционной решетки, работающей во втором порядке дифракции, а для подавления потерь излучения в первый порядок используется многослойное брэгговское зеркало, с помощью которого также достигается увеличение дифракционного вывода излучения (рис. 2). Шаг a дифракционной решетки, с помощью которой осуществляется обратная связь, определяется соотношением

$$a_1 = \frac{2 \cdot \pi}{N_m \cdot K_0}, \quad (3)$$

а шаг дифракционной решетки, через которую осуществляется вывод излучения, подчиняется условию

$$\frac{\pi}{N_m \cdot K_0} < a_2 < \frac{2 \cdot \pi}{N_m \cdot K_0}. \quad (4)$$

Для подавления потерь излучения в первом порядке дифракции на решетке, с помощью которой осуществляется обратная связь, и одновременного увеличения эффективности вывода излучения в предлагаемой структуре необходимо, чтобы набор фазы волной, дифрагированной под

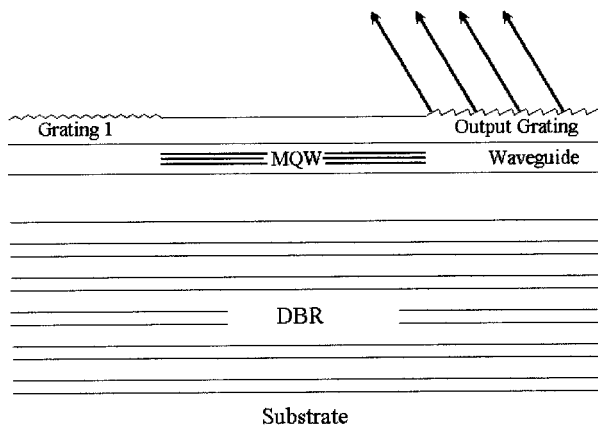


Рис. 2. Принципиальная конструкция лазера.

прямым углом, отличался от набора фазы волной, дифрагированной под углом θ_1 на $(2m + 1)\pi$, где m — целое число. Это условие, используя (1) и (2), можно записать следующим образом:

$$2dN_mK_0 \sin \theta_1 + 2d\bar{n}K_0 \left(\frac{1}{\cos \theta_1} - 1 \right) + \Delta\varphi_b(\theta_1) - \Delta\varphi_b(0) = (2m + 1)\pi. \quad (5)$$

При малых углах θ_1 в этой формуле заметно отлично от 0 только первое слагаемое и формула (5) в случае $\Delta\varphi = \pi$, $N_m \approx \bar{n}$ преобразуется к виду:

$$d \approx \frac{\lambda}{4 \cdot \sin \theta_1}, \quad (6)$$

где λ — длина волны света в веществе.

Итак, для угла $\theta_1 = 5^\circ$ толщина волновода d должна составлять порядка 2.5 длин волн света в веществе. Для лазера, выполненного в системе GaAs/AlGaAs ($\lambda = 0.9 \mu\text{m}$, $N_m \approx \bar{n} \approx 3.5$) при угле вывода излучения $\theta_0 \approx 20^\circ$ угол дифракции в сторону подложки $\theta_1 \approx 5^\circ$. В этом случае условие (5) выполняется при $d \approx 0.6 \mu\text{m}$.

Авторы благодарят за поддержку Российский фонд фундаментальных исследований (грант № 96-02-17836-а).

Список литературы

- [1] Авт. свид. СССР № 392875 по заявке № 1677436 с приоритетом от 19 июля 1971 г. Авторы: Ж.И. Алферов, В.М. Андреев, Р.Ф. Казаринов, Е.П. Портной и Р.А. Сурис // БИ. 1977. № 1. С. 259.
- [2] Алферов Ж.И., Гуревич С.А., Казаринов Р.Ф., Мизеров М.Н., Портной Е.Л., Сейсян Р.П., Сурис Р.А. // ФТП. 1974. Т. 8. № 4. С. 832–833.
- [3] Карпов С.Ю., Кучинский В.И., Портной Е.Л. // Письма в ЖТФ. 1980. Т. 6. В. 3. С. 361–365.
- [4] Алферов Ж.И., Власов А.Д., Кучинский В.И., Мизеров М.Н., Портной Е.Л., Уваров А.И. // Письма в ЖТФ. 1977. Т. 3. В. 19. С. 987–990.
- [5] Карпов С.Ю. // ЖТФ. 1978. Т. 48. С. 1774.
- [6] Карпов С.Ю., Кучинский В.И., Портной Е.Л., Смирницкий В.Б. // ЖТФ. 1978. Т. 48. С. 362.
- [7] Kazarinov R.F., Henry C.H. // IEEE J. Quantum Electronics. 1985. QE-21. P. 144–150.
- [8] Henry C.H., Kazarinov R.F., Logan R.A., Yen R. // IEEE J. Quantum Electronics. 1985. QE-21. P. 151–154.
- [9] Hardy A., Welch D., Streifer W. // IEEE J. of Quantum Electronics. 1989. V. 25. N 10. P. 2096–2105.
- [10] Mehuys D., Parke R., Waarts R.G., Welch D.F., Hardy A., Streifer W., Scifres D.R. // IEEE J. Quantum Electronics. 1991. V. 27. P. 1574–1581.
- [11] Ivchenko E.L., Kaliteevski M.A., Kavokin A.V., Nesvizhski A.I. // J. Opt. Soc. Am. B. 1996. V. 13. N 5.