

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОТЕРЬ УСИЛЕННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ЛИНЕЕК ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ ПРИ ПОРОГОВОМ ТОКЕ ГЕНЕРАЦИИ

А. Ю. Кобылинский, С. А. Назаров

ВВЕДЕНИЕ

Полупроводниковые лазеры находят все более широкое применение в промышленности в качестве самостоятельных источников излучения, устройств накачки твердотельных и волоконных лазеров. Причиной этого является их высокий КПД (около 50%), малые геометрические размеры и простота питания. Во всём мире производители стремятся повысить мощность излучения полупроводниковых лазеров. Один из способов – это увеличение размера контакта питания, однако он имеет границу применимости, так как при его увеличении с определённого момента резко увеличиваются потоки усиленной люминесценции (УЛ). В данной ситуации едва ли не единственным возможным способом повышения выходной мощности излучения является создание интегрального монолитного излучателя, который содержит 50-100 однополосковых структур. Далее данную структуру именуем как лазерную линейку диодов (ЛЛД).

В ЛЛД будут также развиваться потоки УЛ, которые влияют на мощностные и динамические параметры ЛЛД, приводят к росту порогового тока и снижению выходной мощности. Чтобы уменьшить негативное влияние УЛ, необходимо сначала найти методы ее описания. Усиленную люминесценцию можно анализировать путём введения коэффициента потерь усиленной люминесценции (α_{lum} или k_{yc}), из уравнения баланса испускания, усиления и поглощения спонтанного излучения:

$$W_l(\nu) + \int_V v_g k_{yc}(\nu) u_l(\nu) dV = k_n \int_V v_g u_l(\nu) dV, \quad (1)$$

где v_g – групповая скорость, $u_l(\nu)$ – плотность люминесценции.

Коэффициент потерь зависит от многих факторов, например от таких, как: состав активного слоя, геометрии ЛЛД, уровня возбуждения,

состояния поверхности граней структуры. Поиск его значений является трудоёмкой задачей. В данной работе мы опишем два существующих метода оценки коэффициента потерь усиленной люминесценции.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД

С большой степенью точности потоки УЛ можно разделить на два, распространяющиеся в двух перпендикулярных направлениях. Потоки УЛ находятся из уравнений переноса:

$$\frac{1}{b(x,y)} \frac{\partial S_{y,v}^{\pm}(x,y)}{\partial y} = [\Gamma g_v(x,y) - \rho] S_{y,v}^{\pm}(x,y) + a_L W_{sp,v}(x,y),$$

$$\frac{1}{b(x,y)} \frac{\partial S_{x,v}^{\pm}(x,y)}{\partial x} = [\Gamma g_v(x,y) - \rho] S_{x,v}^{\pm}(x,y) + a_L W_{sp,v}(x,y),$$
(2)

где $S_{y,v}^{\pm}(x,y)$ – спектральные плотности УЛ, $b(x,y)$ – параметр усреднения потоков УЛ, $g_v(x,y)$ – спектральный коэффициент усиления, $\rho = 1000 \text{ м}^{-1}$ – коэффициент внутренних оптических потерь для излучения в активном слое ЛДЛ, $W_{sp,v}(x,y)$ – объемная спектр. мощность спонтанного испускания.

Физический смысл которых заключается в том, что изменение потока УЛ равно алгебраической сумме (со своим знаком) усиления, потерь потока в активной области и вкладу спонтанного излучения, и граничных условий к ним:

$$\begin{cases} S_{y,v}^+(x,0) = R_1 S_{y,v}^-(x,0), \\ S_{y,v}^-(x,L) = R_2 S_{y,v}^+(x,L), \\ S_{x,v}^+(0,y) = R_3 S_{x,v}^-(0,y), \\ S_{x,v}^-(W_{LDA},y) = R_4 S_{x,v}^+(W_{LDA},y), \end{cases},$$
(3)

где $R_1 = 0,95$, $R_2 = 0,12$, $R_3 = R_4 = 0,35$ – коэффициенты отражения граней.

Уровень Ферми электронов F_e находился из решения уравнения для концентрации электронов:

$$\frac{m_e kT}{\pi \hbar^2 d} \sum_i \ln \left[1 + \exp \left(\frac{F_e - E_{ci}}{kT} \right) \right] = N(x,y),$$
(4)

где $N(x,y)$ – концентрация неравновесных носителей заряда в активном слое.

Уровень Ферми для дырок F_h определялся из уравнения электро-нейтральности:

$$m_h \sum_i \ln \left[1 + \exp \left(\frac{E_{hi} - F_h}{kT} \right) \right] = m_c \sum_i \ln \left[1 + \exp \left(\frac{F_e - E_{ci}}{kT} \right) \right], \quad (5)$$

Объемная спектральная мощность спонтанного испускания находится из следующего уравнения:

$$W_{sp,v} = \frac{n^2 (h\nu)^3}{\pi^2 c^2 \hbar^3} \left(1 - \exp \frac{h\nu - \Delta F}{kT} \right)^{-1} g_v(h\nu), \quad (6)$$

где ΔF – разность уровней Ферми.

Уравнения (2) решаются численными методами, например методом Рунге-Кутты 4-ого порядка. Полученные значения потока УЛ подставляются в уравнение:

$$S_{x(y),v} = \frac{W_{sp,v}}{\alpha_{lum}^{x(y)} - g_v}, \quad (7)$$

Из которого и находятся коэффициенты потерь усиленной люминесценции.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД

Все допущения и упрощения, которые использовались в теоретическом методе, используются в экспериментальном. Из формулы (6) находят значение объемной спектральной мощности спонтанного испускания.

Затем снимают спектр излучения ЛЛД в двух перпендикулярных направлениях (рис.1.).

Потом изменяют значение коэффициента потерь и для каждого значения строят аппроксимированный спектр до тех пор, пока его форма и пик не совпадут с экспериментальным спектром. Полученное таким образом значение коэффициента потерь усиленной люминесценции принимают за искомое.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе системы уравнений переноса излучения рассчитаны коэффициенты потерь для потоков усиленной люминесценции, распространяющихся вдоль и поперек оси резонатора в активном слое мощных лазерных диодных линеек. Полученные коэффициенты потерь позволяют

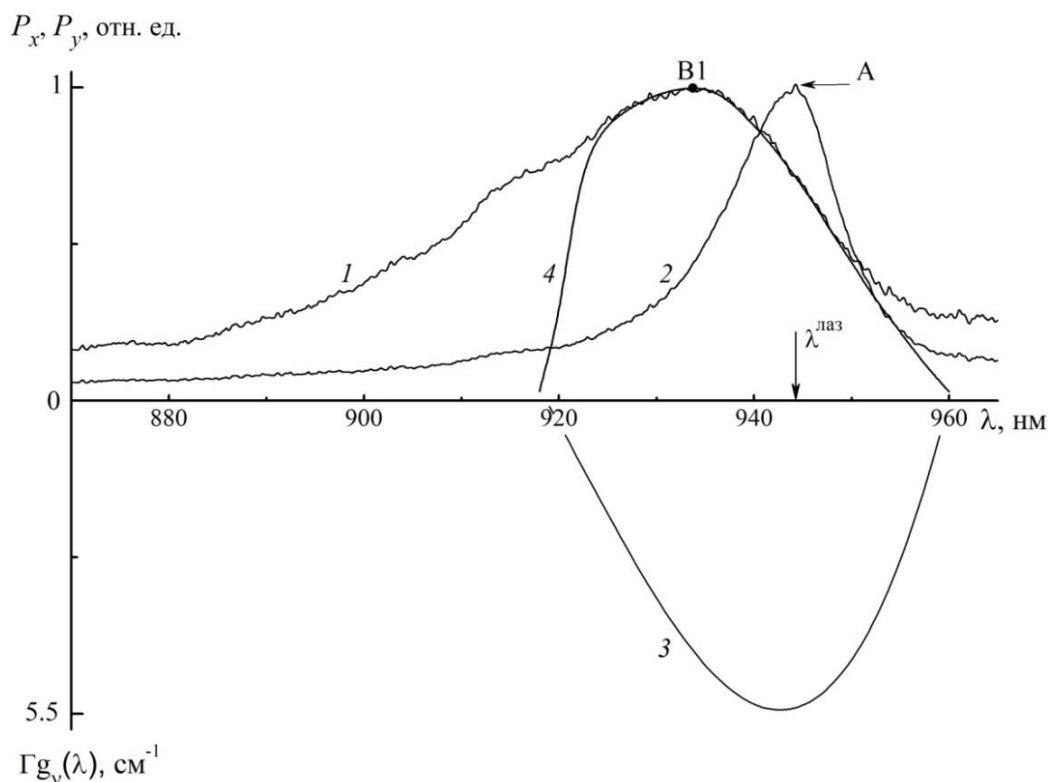


Рис. 1. Спектр излучения ЛЛД: 1 – спектр вдоль оси параллельной резонаторным граням, 2 – спектр вдоль оси перпендикулярной резонаторным граням, 3 – зависимость коэффициента усиления от длины волны, 4 – аппроксимированный спектр

значительно упростить определение величин потоков усиленной люминесценции в лазерных диодных линейках, а также оценить степень влияния усиленной люминесценции на мощностные и динамические характеристики лазерных диодных линеек. Существует зависимость коэффициента потерь от площади активного слоя:

$$\alpha_{lum}^{x,y} = \frac{\Delta}{\sqrt{L * w}}, \quad (8)$$

где Δ – коэффициент пропорциональности, L – длина резонатора, w – ширина ЛЛД.

Таким образом, вычислив коэффициент потерь усиленной люминесценции для одной ЛЛД и найдя коэффициент пропорциональности для другой линейки с такой же активной средой, но с отличной геометрией, коэффициент потерь можно вычислять с достаточно большой точностью по формуле (8). Это позволяет более просто и удобно оценивать потоки УЛ в ЛЛД.

Литература

1. Грибковский В.П. Полупроводниковые лазеры. Минск, 1988.
2. Рябцев Г.И. Мощные диодные лазеры // Наука и инновации. 2003. №7-8. С. 32-35.
3. Афоненко А.А., Кононенко В.К., Манак И.С. Теория полупроводниковых лазеров. Минск, 1995.