МЕТОДИКА ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ИНЖЕКЦИОННЫХ ЛАЗЕРОВ

Близнюк В.В., Березовская Н.В., Брит М.А., Коваль О.И., Паршин В.А., Ржанов А.Г.*

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова, Москва , Россия

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия.

Квантовая оптика и фундаментальная спектроскопия, с зачтением

Рассмотрен метод определения режима генерации лазерного диода на фундаментальной моде по измерениям дальнего поля. Обсуждается реализация метода при измерениях угла расходимости излучения в дальней зоне в двух плоскостях с использованием координат характерных точек гауссовой функции.

Одним из основных признаков деградации инжекционных лазеров (ИЛ), является изменение со временем модовой структуры их излучения. Именно поэтому внимание уделяется исследованию диаграмм направленности (ДН) излучения ИЛ.

Анализ в дальней зоне нормированных угловых зависимостей интенсивности излучения ИЛ в плоскости, перпендикулярной p-n-переходу (далее – вертикальной плоскости), и в плоскости p-n-перехода (далее – горизонтальной плоскости), широко используется для определения режимов генерации[1–3]. Если при возрастании мощности излучении ИЛ нормированные угловые зависимости интенсивности излучения в вертикальной и горизонтальной плоскости не изменяются, и возможна хорошая аппроксимация этих зависимостей гауссовой функцией. Тогда принято считать, что имеет место генерация на основной моде[1–3]. Однако, использование такой методики позволяет лишь качественно оценивать модовую структуру излучения.

Строгое определение режима генерации ИЛ на основной моде осуществляется путем измерений коэффициента распространения пучка M^2 (ГОСТ Р ИСО 11146-1-2008). В случае сильно расходящегося излучения ИЛ параметр M^2 может определяться по методике, изложенной в работе[1]. Авторы используют факторизованное представление поперечного распределения интенсивности в лазерном пучке: $M^2 = M_x \cdot M_y$, где M_x и M_y – факторы для вертикальной и горизонтальной плоскостей соответственно, и полагают, что фактор M_x с хорошей точностью равен единице. В таком случае:

$$M^2 = (2\pi / \lambda)\sigma_y \sigma_\varphi \qquad (1)$$

где k и λ – волновое число и длина волны излучения в вакууме; σ_y и σ_φ – среднеквадратичные размеры пучка в ближней и дальней зонах соответственно:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\int F(\mathrm{y})\,\mathrm{y}^2\,dy}{\int F(\mathrm{y})dy}}\,;\ \sigma_\varphi = \sqrt{\frac{\int \mathrm{I}(\varphi)\sin^2\varphi\, d(\sin\varphi)}{\int \mathrm{I}(\varphi)\, d(\sin\varphi)}}\,. \qquad (2)$$

F(y) и I(φ) – распределения интенсивности излучения в ближней и дальней зонах в горизонтальной плоскости; y – координата точки на выходном зеркале ИЛ в горизонтальной плоскости; φ – угловая координата точки, расположенной в горизонтальной плоскости в дальней зоне.

Определение вида функции F(y) связано с использованием дорогостоящего оборудования и со сложной обработкой результатов измерений. В данной работе предлагается алгоритм количественного анализа ДН излучения ИЛ с расходимостью, определяемой дифракционным пределом. Известно, что ДН излучения с такой расходимостью формируется, когда распределение его

интенсивности в ближней зоне описывается гауссовой функцией[4]. Пятно излучения на выходном зеркале ИЛ имеет форму эллипса, и распределение интенсивности излучения в вертикальной и горизонтальной плоскостях имеют вид: $F(\mathrm{x}) = \exp(-\mathrm{a}^2 x^2)$ и $F(\mathrm{x}) = \exp(-b^2 y^2)$, соответственно.

Угловое распределение интенсивности излучения в указанных плоскостях определяется Фурье-разложением излучения в ближнем поле F(x) и F(y) и угловым фактором Гюйгенса[4,5] $G^2(\theta)$:

$$f(\theta) = \frac{G^2(\theta)\left|\int_0^{\infty} \exp(-\mathrm{a}^2\mathrm{x}^2)\exp(\mathrm{i}k_0 \mathrm{x}\sin(\theta))\,\mathrm{dx}\right|^2}{\left|\int_0^{\infty} \exp(-\mathrm{a}^2\mathrm{x}^2)\,\mathrm{dx}\right|^2} = G^2(\theta)\exp\left(\frac{\mathrm{k}_0^2\sin^2(\theta)}{2a^2}\right). \quad (3)$$

Угловой фактор Гюйгенса равен[6]:

$$G^2(\theta) = \frac{m^2 + \sqrt{n^2 - \sin^2(\theta)}}{m^2\cos(\theta) + \sqrt{n^2 - \sin^2(\theta)}}\cos^2(\theta), \quad (4)$$

где m = 1 для TE-мод или m = n для TM-мод, n – показатель преломления волновода.

Угловое распределение интенсивности излучения в горизонтальной плоскости определяется путем замены в (3) коэффициента a на коэффициент b. Для определения коэффициентов a и b необходимо измерить F(x) и F(y) в ближней зоне, что, как было отмечено выше, представляет собой достаточно сложную техническую задачу. Однако коэффициенты a и b можно найти и путем измерений углов расходимости излучения $\theta_{1/2}^{\perp}$ и $\theta_{1/2}^{\square}$ в вертикальной и горизонтальной плоскостях соответственно. При подстановке в (3) и (4) вместо переменной θ значений углов $\theta_{1/2}^{\perp}$ и $\theta_{1/2}^{\square}$ левая часть (3) равна 0,5, что позволяет определить коэффициенты a и b:

$$a = \frac{k_0\sin(\theta_{1/2}^{\perp})}{\sqrt{2\ln\left(2G^2(\theta_{1/2}^{\perp})\right)}};\ b = \frac{k_0\sin(\theta_{1/2}^{\square})}{\sqrt{2\ln\left(2G^2(\theta_{1/2}^{\square})\right)}}. \quad (5)$$

Зная коэффициенты a и b, можно определить не только аналитический вид функции ДН, но и вид экспоненциального сомножителя в (3). Это позволяет упростить анализ экспериментально полученных ДН для исследования модовой структуры ИЛ, используя характерные точки гауссовой кривой.

1. В.В. Поповичев, *Квантовая электроника*, **32**, №12, 1099-1103, (2002).
2. С.О. Слипченко, *ФТП*, **38**, №12. С. 1477-1483, (2004).
3. Е.И. Давыдова, *Квантовая электроника*, **39**, №1, 18-22. (2009).
4. Х. Кейси, М. Паниш, “Лазеры на гетероструктурах”, М.: Мир, (1981).
5. П.Г. Елисеев, “Введение в физику инжекционных лазеров”, М.: Наука, (1983).
6. G.H.B. Thompson, “Physics of semiconductor laser devices”, N.Y., J. Wiley and Sons, (1980).

THE METHOD OF INJECTION LASER RADIATION PATTERN EXPRESS ANALYSIS

Bliznyuk V.V., Berezovskaya N.V., Brit M.A., Koval O.I., Parshin V.A., Rzhanov A.G.*

National Research University «MPEI», Moscow, Russia

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

The method of determining the generation regime of the diode laser based the far field measurements at a fundamental mode considered.