

Анализ диаграммы направленности излучения диодного лазера по экспериментальным данным

В. В. Близнюк^{1,*}, Н. В. Березовская¹, М. А. Брит¹, О. И. Коваль^{1,†}, В. А. Паршин¹, А. Г. Ржанов^{2,‡}

¹Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
Институт радиотехники и электроники имени В. А. Котельникова, кафедра физики имени В. А. Фабриканта
Россия, 111250, Москва, Красноказарменная ул., д. 17

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
физический факультет
Россия, 199911, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

Показана возможность количественного анализа диаграммы направленности излучения диодного лазера без проведения трудоёмких и дорогостоящих измерений распределения его интенсивности в ближней зоне.

PACS: 42.55.Px УДК: 621.373.

Ключевые слова: инжекционный лазер, диаграмма направленности, деградация, спектры излучения, поляризация излучения, моделирование.

Одним из фундаментальных признаков деградации инжекционных лазерных диодов (ЛД), является изменение со временем модовой структуры их излучения. Именно поэтому большое внимание уделяется исследованиям диаграмм направленности излучения ЛД.

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

Строгое определение режима генерации ЛД на основной моде осуществляется путем измерений коэффициента распространения пучка M_2 . В случае сильно расходящегося излучения ЛД параметр M_2 определяется по методике, изложенной в [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 степенью точности всегда равен единице. В таком случае

$$M^2 = M_y = 2k\sigma_y\sigma_\varphi = (2\pi/\lambda)\sigma_y\sigma_\varphi, \quad (1)$$

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;

$$\sigma_y = \left[\frac{\int F(y)y^2 dy}{\int F(y) dy} \right]^{1/2}, \quad (2)$$

$$\sigma_\varphi = \left[\frac{\int I(\varphi)\sin^2\varphi d(\sin\varphi)}{\int I(\varphi)d(\sin\varphi)} \right]^{1/2}.$$

$F(y)$ и $I(\varphi)$ — распределения интенсивности в ближней и дальней зонах в горизонтальной плоскости; y — координата точки на выходном зеркале ЛД в горизонтальной плоскости; φ — угловая координата точки, расположенной в горизонтальной плоскости в дальней зоне.

Следует заметить, что определение вида функции $F(y)$ связано с использованием дорогостоящего оборудования и сложной обработкой результатов измерений.

В данной работе предлагается достаточно простой алгоритм количественного анализа диаграмм направленности излучения ЛД с расходимостью, определяемой дифракционным пределом. Известно, что диаграмма направленности излучения с такой расходимостью формируется, когда распределение его интенсивности в ближней зоне описывается гауссовой функцией [4]. Наибольший практический интерес представляют диаграммы направленности в дальней зоне в вертикальной и горизонтальной плоскости. Так как пятно излучения на выходном зеркале ЛД имеет форму эллипса, распределения интенсивности излучения в вертикальной и в горизонтальной плоскости имеют разный вид: $F(x) = \exp[-a^2x^2]$ и $F(y) = \exp[-b^2y^2]$ соответственно.

Угловое распределение интенсивности излучения в свободном пространстве в вертикальной (горизонтальной) плоскости зависит от Фурье-разложения координатного распределения интенсивности излучения $F(x)$ ($F(y)$) в ближней зоне и углового фактора Гюйгенса $G^2(\theta)$ [4, 5]. В результате ряда простых математических операций находим, что нормированное угло-

*E-mail: 4059541@mail.ru

†E-mail: olgaivanovna_koval@yandex.ru

‡E-mail: rjanov@mail.ru

вое распределение интенсивности излучения в вертикальной плоскости в дальней зоне

$$f(\theta) = \frac{G^2(\theta) \left| \int_0^\infty \exp(-a^2 x^2) \exp(ik_0 \sin\theta x) dx \right|^2}{G^2(\theta) \left| \int_0^\infty \exp(-a^2 x^2) dx \right|^2} = G^2(\theta) \exp\left(-\frac{k_0^2 \sin^2\theta}{2a^2}\right), \quad (3)$$

где $G^2(\theta)$ — угловой фактор Гюйгенса [6]:

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

где $m = 1$ для ТЕ-мод или $m = n$ для ТМ-мод, а 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 $\theta_{1/2}^\parallel$ в вертикальной и горизонтальной плоскости соответственно. При подстановке в (3) и (4) вместо переменной значений углов $\theta_{1/2}^\perp$ и $\theta_{1/2}^\parallel$ левая часть (3) равна 0.5, что позволяет достаточно просто определить коэффициенты a и b по формулам:

$$a = \frac{k_0 \sin\theta_{1/2}^\perp}{\sqrt{2 \ln [2G^2(\theta_{1/2}^\perp)]}}, \quad b = \frac{k_0 \sin\theta_{1/2}^\parallel}{\sqrt{2 \ln [2G^2(\theta_{1/2}^\parallel)]}}. \quad (5)$$

Зная коэффициенты a и b , можно определить не только вид функции, описывающей в аналитическом виде диаграмму направленности излучения ЛД, но и вид экспоненциального множителя в (3). Это позволяет значительно упростить анализ найденных экспериментально диаграмм направленности излучения на предмет исследования его модовой структуры, используя характерные точки гауссовой кривой.

- [1] Поповичев В. В. Квантовая электроника. **32**, №12. С. 1099. (2002).
 [2] Слипченко С. О. ФТП. **38**, вып. 12. С. 1477. (2004).
 [3] Давыдова Е. И. Квантовая электроника. **39**, №1. С. 18. (2009).
 [4] Кейси Х., Паниш М. Лазеры на гетероструктурах. М.:

Мир, 1981.

- [5] Елисеев П. Г. Введение в физику инжекционных лазеров. М.: Наука, 1983.
 [6] Thompson G. H. B. Physics of semiconductor laser devices. N.Y.: J. Wiley and Sons, 1980.

The laser diode radiation pattern experimental data analysis

V. V. Bliznyuk^{1,a}, N. V. Berezovskaya¹, M. A. Brit¹, O. I. Koval^{1,b}, V. A. Parshin¹, A. G. Rzhanov^{2,c}

¹Department of Physics, Institute of Radio Engineering and Electronics, National Research University «MPEI»
 Krasnokazarmennaya st., 17, Moscow 111250, Russia

²Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University
 Leninskie Gory 1, b.2, Moscow 119991, Russia

E-mail: ^a40595141@mail.ru, ^bolgaivanovnaKoval@yandex.ru, ^crjanov@mail.ru

The possibility of the diode laser far field radiation diagram quantitative analysis without carrying out time-consuming and expensive measurements of the intensity distribution in the near zone is shown.

PACS: 42.55.Px

Keywords: injection laser, far field diagram, degradation, emission spectra, polarization of radiation, modeling.

Сведения об авторах

1. Близнюк Владимир Васильевич — канд. техн. наук, доцент; тел. (495) 362-77-55, e-mail: 4059541@mail.ru.
2. Бerezovskaya Наталья Витальевна — аспирант; e-mail: natalia.berezovskaya@inbox.ru.
3. Брит Мария Анатольевна — студент; тел. (495) 362-77-55, e-mail: lanabrit@rambler.ru.
4. Коваль Ольга Ивановна — канд. физ.-мат. наук, доцент; тел. (495) 362-77-55, e-mail: olgaivanovnaKoval@yandex.ru.
5. Паршин Василий Алексеевич — студент; тел. (495) 362-77-55, e-mail: parshinvasa@gmail.com.
6. Ржанов Алексей Георгиевич — канд. физ.-мат. наук, ст. преподаватель; тел. (495) 939-46-97, e-mail: rjanov@mail.ru.