

Метод анализа диаграммы направленности лазерного диода, излучающего на фундаментальной моде

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

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.

PACS: 42.55.Px УДК: 621.373.

Ключевые слова: инжекционный лазер, дальнее поле, диаграмма направленности.

Среди лазерных диодов (ЛД), нашедших широкое применение в различных областях науки и техники, особое место занимают ЛД, работающие в одномодовом режиме генерации, под которым обычно подразумевают генерацию на фундаментальной моде. В этом случае в диаграмме направленности доминирует один лепесток, в котором сосредоточена практически вся энергия излучения. Одномодовые пучки можно с достаточной для многих практических приложений точностью рассматривать как гауссовы. Особенностью таких пучков является то, что распределение интенсивности излучения имеет гауссову форму как в ближней, так и в дальней зонах [1]. Так, если в ближней зоне нормированное распределение интенсивности в плоскости, перпендикулярной $p-n$ -переходу (далее — вертикальной плоскости), имеет вид

$$F^\perp(x) = \exp[-\alpha^2 x^2], \quad (1)$$

то в дальней зоне угловое распределение интенсивности излучения ЛД будет следующим:

$$f^\perp(\theta) = G^2(\theta^\perp) \exp\left(-\frac{k_0^2 \sin^2 \theta^\perp}{2\alpha^2}\right), \quad (2)$$

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

$$G^2(\theta^\perp) = \left(\frac{m^2 + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta^\perp}}{m^2 \cos \theta^\perp + \sqrt{n_2^2 - \sin^2 \theta^\perp}} \right) \cos^2 \theta^\perp. \quad (3)$$

Здесь $m = 1$ для ТЕ-мод или $m = n$ для ТМ-мод, где n — показатель преломления волновода ЛД. Введем параметр $\theta_{1/2}^\perp$ — аргумент выражения (2), при котором $f^\perp \theta = 0.5$. Параметр $\theta_{1/2}^\perp$ определяется экспериментально на полувысоте нормированной диаграммы

направленности излучения ЛД в вертикальной плоскости. Подставляя $\theta_{1/2}^\perp$ в (2) и используя условие $f^\perp \theta = 0.5$, находим формулу для расчета α . Определенный таким способом параметр в общем виде подставляем в (2) в виде удобного для анализа аналитического выражения:

$$f^\perp \theta = G^2(\theta^\perp) \exp\left(-\frac{\ln[2G^2(\theta^\perp)]}{\sin^2 \theta_{1/2}^\perp} \sin^2 \theta^\perp\right). \quad (4)$$

Введем обозначения:

$$A^2 = \frac{\ln[2G^2(\theta^\perp)]}{\sin^2 \theta_{1/2}^\perp}; z^2 = \sin^2 \theta^\perp. \quad (5)$$

Тогда (4) принимает следующий вид:

$$f^\perp(\theta) = G^2(\theta^\perp) \exp(-A^2 z^2). \quad (6)$$

Точки перегиба кривой, описывающей функцию $\exp(-A^2 z^2)$, имеют координаты $\pm 1/(A\sqrt{2})$, $1/\sqrt{e}$ [3]. Поэтому

$$f^\perp(\theta_n^\perp) = G^2(\theta_n^\perp) \exp(-1.2). \quad (7)$$

Используя условие $A^2 z_n^2 = 1/2$ и (5), можно выразить параметр θ_n^\perp через найденный экспериментально параметр $\theta_{1/2}^\perp$, и по формуле (4) рассчитать угловой фактор $= G^2(\theta_n^\perp)$. Если экспериментально найденное значение $f^\perp(\theta_n^\perp)$ равно правой части (7), то имеет место генерация ЛД на фундаментальной моде.

Еще двумя характерными точками декартовой системы координат, в которой построен график функции $\exp(-A^2 z^2)$, являются точки z_{1/e^2} с координатами $\pm 2z_n$, 0. Прямые, проходящие через эти точки и точки перегиба z_n кривой, описывающей функцию $\exp(-A^2 z^2)$, пересекаются в точке с координатами $0.2/\sqrt{e}$ [3]. Значение функции $\exp(-A^2 z^2)$ при $z = z_{1/e^2}$ равно $1/e^2$. Зная параметр z_{1/e^2} и используя (5), находим угол θ_{1/e^2}^\perp , при котором экспоненциальный сомножитель в (6) становится равным $1/e^2$. Далее, как и в случае с параметром θ_n^\perp , по формуле (3) рассчитываем угловой фактор $G^2(\theta_{1/e^2}^\perp)$.

*E-mail: 4059541@mail.ru

†E-mail: olgaivanovnaokoval@yandex.ru

‡E-mail: rjanov@mail.ru

Если экспериментально найденное значение $f^{bot}(\theta_{1/e^2}^\perp)$ равно произведению $G^2(\theta_{1/e^2}^\perp)\exp(-2)$, имеет место генерация ЛД на фундаментальной моде.

Следует заметить, что в этом случае только использование точной формулы (4) позволяет корректно определять режим генерации ЛД. Связано это с тем, что при углах θ_{1/e^2}^\perp анализируется форма «крыльев» диаграммы направленности излучения, то есть той ее части, где проявляется ранняя стадия нарушения одно-модового режима генерации. Нормированное распределение интенсивности в ближней зоне в плоскости, параллельной p - n -переходу (латеральной плоскости), ха-

рактеризуется коэффициентом b^2 , практически на два порядка большим коэффициента α^2 :

$$F(y) = \exp[-b^2 y^2]. \quad (8)$$

Согласно (2), это указывает на малую расходимость излучения в этой плоскости. Однако этот факт не исключает возможности использования в полном объеме изложенного выше метода количественного анализа диаграммы направленности излучения ЛД на фундаментальной моде и в латеральной плоскости.

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

- [3] Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1957.

Pattern analysis method for laser diode in fundamental mode

V. V. Bliznyuk^{1,a}, 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, ^bolgaivanovnaakoval@yandex.ru, ^crjanov@mail.ru

The method of determining the generation regime of the diode laser based the far field measurements at a fundamental mode considered. The implementation of the method for measurements of divergence angle in the two dimensional far field using the coordinates of the Gaussian function characteristic points discussed.

PACS: 42.55.Px

Keywords: injection laser, far field, radiation pattern.

Сведения об авторах

1. Близнюк Владимир Васильевич – канд. техн. наук, доцент; тел. (495) 362-77-55, e-mail: 4059541@mail.ru.
2. Березовская Наталия 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: olgaivanovnaakoval@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.