

半导体激光器光束远场特性研究*

曾小东 穆美丽

(西安电子科技大学技术物理系, 西安 710071)

摘 要 精确测量了半导体激光器远场分布并与新的远场理论模型作了细致的比较。结果表明新模型在很大的角度范围内与测量数据准确地符合。

关键词 半导体激光器, 远场分布, 光传播。

1 引 言

近年来半导体激光器(LD)的研制取得了长足进步, 应用领域日趋扩大。对于大多数应用, 如光纤通信、光学传感、泵浦固体激光器等, 半导体激光器的光束都需要利用透镜系统准直、聚焦或整形。为了合理地设计光学系统, 必须准确地了解半导体激光器的远场光分布, 特别是对于干涉型应用的场合。以往关于半导体激光器远场的讨论都是基于傍轴近似^[1~4], 比较典型的是 Casey^[1]给出的极复杂的结果。由于半导体激光器具有很大发散角, 典型值约 $10^\circ \times 30^\circ$, 傍轴理论已不能用于定量计算。本文作者之一基于亥姆霍兹(Helmholtz)方程的严格远场解, 给出了新的半导体激光器远场模型^[5], Nemoto 对新模型与实际器件和符合程度作了实验研究^[6], 但并未定量说明在一定误差标准下, 新模型与实际器件的符合程度。本文将给出两种实际器件的远场精确测量结果, 并与新模型作了比较, 给出满足一定误差条件下新模型的适用范围, 以期说明新模型用于实际工作的可靠程度, 同时也指出远场测量时常被忽视的两个问题。

2 半导体激光器远场分布

设半导体激光器芯片前表面位于直角坐标系的原点且与 $x-y$ 平面重合, $x-z$ 平面与半导体激光器的结平面垂直。对于单横模工作的半导体激光器可假设其表面附近场分布为^[1]

$$u(x, y) = u_0 \exp \{-p|x| - qy^2\} \quad (1)$$

式中 p, q 是与波导结构有关的常数。当远场观测点至原点的距离远大于波长及源尺寸(这对大多数应用场合是合理的)时, 远场光强度可表为^[5]

$$I(x, y, z) = |A|^2 \frac{z^2}{r^4} \left[\frac{\Gamma^2}{\Gamma^2 + x^2} \right] \exp \left[-\frac{2y^2}{\Omega^2} \right] \quad (2)$$

* 国家自然科学基金及国家教委优秀青年教师基金资助项目。

收稿日期: 1996年6月17日; 收到修改稿日期: 1996年11月11日

$$A = (u_0 2i/\lambda p) \sqrt{\pi/q}, \quad \Gamma^2 = p^2 r^2/k^2, \quad \Omega^2 = 4qr^2/k^2,$$

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2, \quad k = 2\pi/\lambda$$

(2) 式与傍轴光学的结果是不同的, 半导体激光器的远场已不再能表为可分离变量的形式, 尽管源分布(1)式是可分离变量的。

3 实验结果

实验装置中有一固定半导体激光器的支架使半导体激光器的光轴沿水平方向, 在垂直于光轴的方向上用精密丝杠(由迈克尔逊干涉仪改装)固定光电探测器, 这样光电探测器就可在垂直于光轴的方向上移动, 探测器前面加一片金属箔, 上开 $\Phi 0.3 \text{ mm}$ 小孔以使光通过。对于确定的 z , 本文要精确地测量结平面方向、垂直于结平面方向以及与这两者成 45° 角方向(称为 $s-z$) 的远场分布。需要指出的是, 在半导体激光器远场测量时常有两个因素被忽视。1) 探测器饱和问题, 必须加适当衰减片使光电探测器远离饱和区; 2) 半导体激光器有很大的发散角, 在大角度情况下, 光束在探测器表面的反射损耗已不容忽视。所以在整个测量过程中, 必须始终保持探测器表面与探测器-半导体激光器连线垂直, 这样每个测量数据不论大角度还是小角度, 均在垂直入射条件下完成。本实验装置通过一精密连动机构来现实这种垂直条件。本文选择两种半导体激光器进行了测量。LD₁ 为 HL6720G 型, 波长 670 nm, 输出功率 5 mW; LD₂ 为 LTO21MD 型, 波长 780 nm, 输出功率 10 mW。每一方向测量数据均由往返三次取平均值。这里给出的结果是对应 $z = 50 \text{ mm}$ 测量的远场数据。图 1、图 2、图 3 是 LD₁ 的实验数据与理论值的比较结果。在相对误差小于 5% 的前提下, 理论模型在 $x-z$, $y-z$, $s-z$ 平面的适用角度(与 z 轴的夹角) 范围分别为 30° 、 5° 和 7° ; 若相对误差小于 10% 的条件下, 相应的适用范围分别可达 43° 、 6° 、 7° ; 而 LD₁ 的这种单边半功率发散角只有 $\theta_{\perp}/2 = 15.5^\circ$ 和 $\theta_{\parallel}/2 = 3.5^\circ$ 。图 4、图 5、图 6 是 LD₂ 的实验数据与理论值的比较结果。在相对误差小于 5% 的前提下, 理论模型在 $x-z$, $y-z$, $s-z$ 平面的适用角度范围分别为 23° 、 9° 和 13° ; 若相对误差为 10%, 相应的范围分别可达 25° 、 12° 、 14° 。而 LD₂ 的单边半功率发散角只有 $\theta_{\perp}/2 = 13^\circ$ 和 $\theta_{\parallel}/2 = 5^\circ$ 。

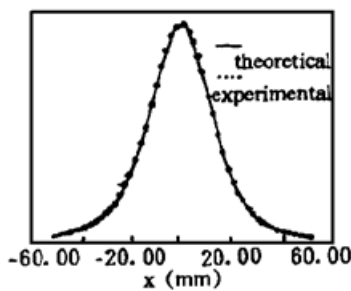


Fig. 1 The far-field intensity in $x-z$ plane for LD₁

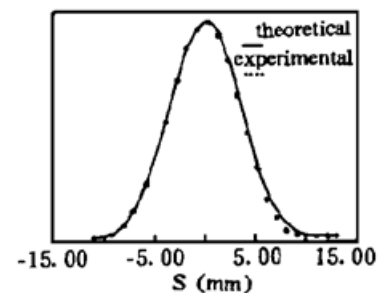


Fig. 2 The far-field intensity in $s-z$ plane for LD₁

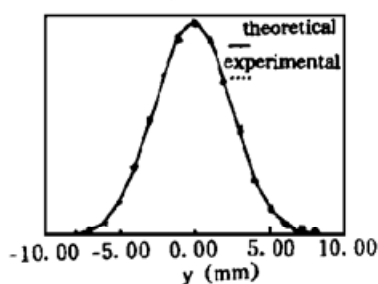


Fig. 3 The far-field intensity in $y-z$ plane for LD₁

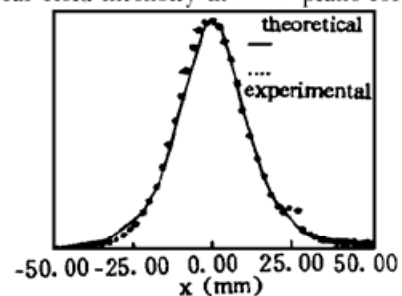
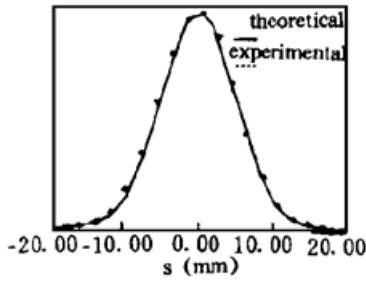
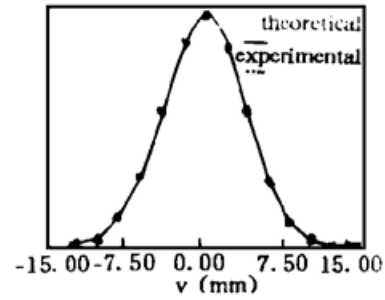


Fig. 4 The far-field intensity in $x-z$ plane for LD₂

Fig. 5 The far-field intensity in $s - z$ plane for LD₂Fig. 6 The far-field intensity in $y - z$ plane for LD₂

这些结果与 Nemoto 的实验结果有较大出入^[6], 特别是在平行于结平面的方向上。Nemoto 的文章指出在这个方向实验值与理论值差异较大, 并认为这是由于使用了过分简单的高斯函数作源函数所致。而从本文的两种半导体激光器测量结果来看, 与理论值符合得十分好, 即使是在大角度区域。这表明在平行于结平面的方向上用高斯函数表示源分布有足够的精度。上述结果还表明, 不同的器件符合程度略有差异, 当然由于制造缺陷产生的偶然误差(如图 4 右侧的小峰)不应算在内。显然, 新模型对于定量描述实际器件的远场分布有很高的精度。

结 论 新的理论模型在很大范围内与实际器件准确符合, 出现差异的区域光强已下降至最大光强的 10% 以下, 这对绝大多数远场应用场合已无影响, 因为这部分能量只占光束总能量的极小部分, 可忽略。由于新模型具有较简单的解析表达式, 这对于分析光束传输特性和设计光学矫正系统是十分有利的。

参 考 文 献

- [1] H. C. Casey, *Heterostructure Lasers*, New York, Academic, 1978
- [2] H. Kressel, J. K. Butler, *Semiconductor Lasers and heterojunction LEDs*. New York, Academic, 1977
- [3] J. C. Dymont, T. H. Zachos, Injection-laser far-field pattern with gaussian profiles in the junction plane. *J. Appl. Phys.*, 1968, **39**(10) : 2923~ 2926
- [4] W. P. Dumke, The angular beam divergence in double-heterostructure lasers with very thin active region. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1975, **11**(7) : 400~ 402
- [5] X. Zeng, A. Neqwi, Far-field distribution of double-heterostructure diode laser beams. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(24) : 4491~ 4494
- [6] S. Nemoto, Experimental evaluation of a new expression for the far-field of a diode laser beam. *Appl. Opt.*, 1994, **33**(27) : 6387~ 6392

Far-Field properties of Diode Laser Beams

Zeng Xiaodong Mu Meili

(Department of Technical Physics, Xidian University, Xi'an 710071)

(Received 17 June 1996; revised 11 November 1996)

Abstract The far-field distribution of two practical diode lasers are measured accurately, and the comparison of the measured data with the calculated results is made based on a new far-field model of diode lasers. It is shown that the new model agrees quite well with the practical devices.

Key words diode lasers, far-field, light propagation.