

半导体激光器输出光功率的最佳值

王德煌

徐万劲

(北京大学物理系) (北京有色金属与稀土应用研究所)

提要: 本文分析了半导体激光器输出光功率与镜面反射率的关系, 数值计算结果表明镀制介质腔控制正反镜面反射率可以得到最佳输出光功率。此外, 分析表明减少腔内损耗, 减薄有源层厚度和缩小条宽对输出功率都有显著的增加。

Optimum value of optical output power for semiconductor lasers

Wang Dehuang

(Department of Physics, Peking University, Beijing)

Xu Wanjin

(Institute of Nonferrous Metals and Rare Earths Applications, Beijing)

Abstract: The relation between the optical output power and the facet reflectivities for semiconductor lasers is analyzed. The results of numerical calculation show that the optimum optical output power can be obtained by controlling the reflectivities of the front and rear facets coated with dielectric films. In addition, the analyzed results show that the output power are greatly increased as cavity losses, stripe width and active region thickness are decreased.

一、引言

近几年来, 大容量、长距离光纤通讯、激光打印和音像光盘技术以及其它激光材料泵浦源都需要大功率半导体激光器(下略写LD)^[1,2], 利用镀制正反镜面介质膜技术控制其镜面反射率结合LD结构的改进能够提高LD输出功率^[3~5]。但是镜面反射率变化对LD输出功率的提高和限制没有进一步深入研究。本文详细分析LD输出光功率与镜面反射率的关系, 数值计算表明LD未镀膜时

输出功率不是最佳值, 用镀膜技术控制镜面反射率大小可以获得最大总输出功率和正面输出功率的最佳值, 但LD正面输出功率受总功率限制, 所以从根本上改进LD性能和结构, 例如减少腔内损耗、有源层厚度和条宽等对提高输出功率有显著作用。

二、LD输出光功率与镜面反射率的关系

设 R_1 和 R_2 分别是LD正反镜面反射

收稿日期: 1987年1月5日。

率, 给定工作电流时, LD 激射的总光功率为:

$$P - P_{th} = \frac{h\nu}{q} \eta_D (I - I_{th}) \quad (1)$$

式中 $h\nu$ 和 q 分别是 LD 激射的光子能量和电子电荷, 而微分量子效率 η_D 和阈值电流 I_{th} 分别为^[6,7]:

$$\eta_D = \eta_i \left[\frac{1}{2L} \ln \left(\frac{1}{R_1 R_2} \right) \right] / \times \left[\alpha_i + \frac{1}{2L} \ln \left(\frac{1}{R_1 R_2} \right) \right] \quad (2)$$

$$I_{th} = (W L d) \left\{ 4000 + \frac{28}{\Gamma} \times \left[\alpha_i + \frac{1}{2L} \ln \left(\frac{1}{R_1 R_2} \right) \right] \right\} \quad (3)$$

式中 η_i ——内量子效率, α_i ——腔内损耗, d ——有源层厚度, W ——条宽, L ——腔长, Γ ——光场限制因子。当 d 较小时, 它可用下式计算^[6]:

$$\Gamma = 2\pi^2 (n_2^2 - n_1^2) d^2 / \lambda^2 \quad (4)$$

式中 λ ——激光波长, n_2 ——有源层折射率, n_1 ——限制层折射率。综合 (2)、(3) 和 (1) 式, 略去 I_{th} 处的 LD 总输出功率 P_{th} (一般 $P \gg P_{th}$), 有

$$P = \frac{h\nu}{q} \eta_i \frac{\frac{1}{2L} \ln \left(\frac{1}{R_1 R_2} \right)}{\alpha_i + \ln \left(\frac{1}{R_1 R_2} \right)} \times \left\{ I - (W L d) \left(4000 + \frac{28}{\Gamma} \times \left[\alpha_i + \frac{1}{2L} \ln \left(\frac{1}{R_1 R_2} \right) \right] \right) \right\} \quad (5)$$

当 $dP/d(R_1 \cdot R_2) = 0$ 时, 即 $(R_1 \cdot R_2)$ 满足下式时, P 有极大值 P_{max} :

$$(R_1 R_2) \geq \exp \left\{ 2\alpha_i L \left[1 - \left(\frac{\Gamma}{28\alpha_i} \right)^{1/2} \times \left(\frac{I}{W L d} - 4000 \right)^{1/2} \right] \right\} \quad (6)$$

上式取等号有

$$P_{max} = \frac{h\nu}{q} \eta_i \left\{ \frac{\left(\frac{\Gamma}{28\alpha_i} \right)^{1/2} \left(\frac{I}{W L d} - 4000 \right)^{1/2} - 1}{\left(\frac{\Gamma}{28\alpha_i} \right)^{1/2} \left(\frac{I}{W L d} - 4000 \right)^{1/2}} \right\}$$

$$\times \left\{ I - (W L d) \left[4000 + \left(\frac{28\alpha_i}{\Gamma} \right)^{1/2} \times \left(\frac{I}{W L d} - 4000 \right)^{1/2} \right] \right\} \quad (7)$$

设 P_1 和 P_2 分别表示 LD 正反镜面两端输出光功率, 有^[9]:

$$(P_1/P_2) = \frac{(1-R_1)\sqrt{R_2}}{(1-R_2)\sqrt{R_1}} \quad (8)$$

利用 $P = P_1 + P_2$, 得到:

$$P_1 = \frac{(1-R_1)\sqrt{R_2}}{(1-R_1)\sqrt{R_2} + (1-R_2)\sqrt{R_1}} P \quad (9)$$

显然, 当给定 LD, 在一定工作电流下, 改变 R_1 和 R_2 大小, 满足 (6) 式, 可以得到 P_{max} 和最佳的 P_1 值。而镀制镜面介质膜是唯一能控制 R_1 和 R_2 变化的有效技术而且兼有保护 LD 镜面的作用。

三、数值结果与分析

取 GaAlAs ($\lambda = 0.85 \mu\text{m}$) 和 InGaAsP ($\lambda = 1.30 \mu\text{m}$) 两种典型的双异质结条形激光器 (略称 DHLD), 以及 GaAlAs ($\lambda = 0.89 \mu\text{m}$) 大光腔激光器 (略称 LOC) 的特征参数^[4,6,8,11,12] (如表 1 所列) 进行数值计算并分析其结果。表 1 中列出了几种典型值下的数值。图 1~3 分别表示三种典型 LD 的 P 和 P_1 随 R_1 和 R_2 变化而改变的关系曲线。显然镜面镀介质膜前的 P_0 不等于 P_{max} 值, 同时 P_1 也不是最佳值。如表 1 所示, 镀

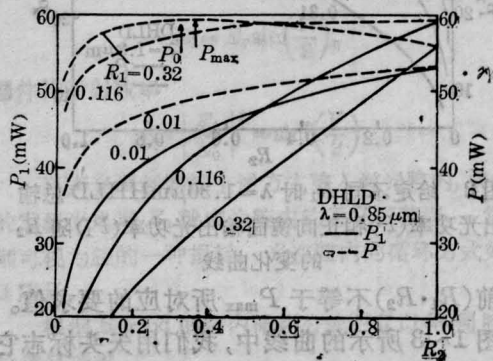


图 1 给定不同 R_1 时 $\lambda = 0.85 \mu\text{m}$ DHLD 总输出光功率 (P) 和正向镜面输出光功率 (P_1) 随 R_2 的变化曲线

表1 三种典型LD当 R_1 和 R_2 取不同大小时对应的 I_{th} 、 η_D 、 P 和 P_1 值

$\lambda(\mu\text{m})$	LD 参数	R_1	R_2	$R_1 \cdot R_2$	$I_{th}(\text{mA})$	$\eta_D(\%)$	$P(\text{mW})$	$P_1(\text{mW})$
0.85(DH)	$n_1=3.385$	0.32	0.32	0.102	26.4	55.3	59.32	29.66
	$n_2=3.600$	0.116	1.00	0.116	25.7	54.8	59.37	59.37
	$\alpha_i=10\text{cm}^{-1}$							
	$\eta_i=0.65$	0.32	0.99	0.317	20.3	48.2	56.04	55.57
	$d=0.1\mu\text{m}$	0.20	0.99	0.198	22.9	52.1	58.63	58.31
	$W=15\mu\text{m}$	0.116	0.99	0.116	25.8	54.8	59.37	59.14
	$L=200\mu\text{m}$							
$I=100\text{mA}$	0.01	0.99	0.0099	38.5	59.6	53.22	53.16	
1.30(DH)	$n_1=3.320$	0.31	0.31	0.096	16.0	55.5	44.48	22.24
	$n_2=3.520$	0.077	1.00	0.077	16.9	56.2	44.53	44.53
	$\alpha_i=10\text{cm}^{-1}$							
	$\eta_i=0.65$	0.31	0.99	0.307	10.9	48.6	41.24	40.90
	$d=0.1\mu\text{m}$	0.20	0.99	0.198	12.8	52.1	43.33	43.09
	$W=5\mu\text{m}$	0.077	0.99	0.076	17.1	56.3	44.53	44.32
	$L=200\mu\text{m}$							
$I=100\text{mA}$	0.01	0.99	0.0099	26.0	59.6	42.25	42.21	
0.89(LOC)	$n_1=3.560$	0.32	0.32	0.102	23.5	55.3	58.92	29.46
	$n_2=3.600$	0.047	1.00	0.047	25.7	57.5	59.51	59.51
	$\alpha_i=10\text{cm}^{-1}$							
	$\eta_i=0.56$	0.32	0.99	0.317	20.3	48.2	53.51	53.07
	$d=0.4\mu\text{m}$	0.20	0.99	0.198	21.7	52.1	56.89	56.57
	$W=5\mu\text{m}$	0.047	0.99	0.0465	25.7	57.5	59.51	59.37
	$L=200\mu\text{m}$							
$I=100\text{mA}$	0.01	0.99	0.0099	30.0	59.8	53.29	53.23	

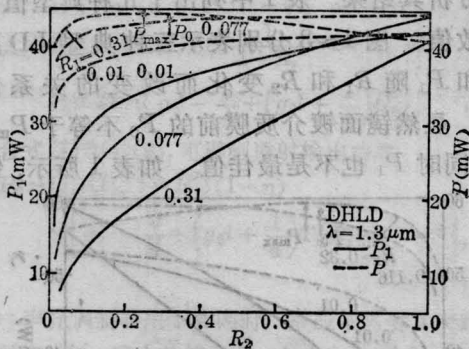


图2 给定不同 R_1 时 $\lambda=1.30\mu\text{m}$ HHLDD总输出光功率(P)和正向镜面输出光功率(P_1)随 R_2 的变化曲线

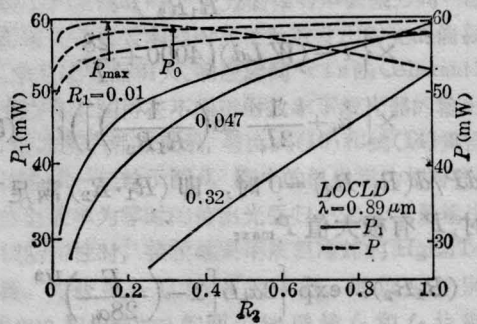


图3 给定不同 R_1 时 $\lambda=0.89\mu\text{m}$ LOCLD总输出光功率(P)和正面镜面输出光功率(P_1)随 R_2 的变化曲线

膜前($R_1 \cdot R_2$)不等于 P_{max} 所对应的要求值。在图1~3所示的曲线中,我们用箭头标志它们位置的差异。虽然镀膜前 $P=P_0$ 与 P_{max} 相差不大但是它们所对应的($R_1 \cdot R_2$)值差别还是明显的。从结果可见,镀膜改变 R_1 和

R_2 值进而使($R_1 \cdot R_2$)变化其效果是明显增加 P_1 值。而且只有 $P=P_{max}$ 值时 P_1 才是最佳的。但是,要获得 P_{max} 必须使($R_1 \cdot R_2$)满足(6)式。这就是说,正面镀增透膜,而反面镀增反膜,如果不能满足(6)式,则 $P <$

P_{\max} , P_1 也不是最佳值。表 1 所列 $R_1=0.01$ 和 $R_2=0.99$ 数值充分证明这一点。表 1 还列出 $(R_1 \cdot R_2)$ 为不同大小时对应的 I_{th} 和 η_D 数值。从 (2)、(3) 两式已知, $(R_1 \cdot R_2)$ 的增加将使 I_{th} 和 η_D 减小, 但对 I_{th} 值和 η_D 值的影响从 (2)、(3) 以及表 1 数值看, I_{th} 是主要的。

由于 P_{\max} 的存在, 限制了 P_1 的提高, 也就是正反镜面镀制介质膜对 LD 输出光功率提高是有限度的。为此, 提高 P 和 P_1 的根本出路是改进器件几何结构和提高外延生长 LD 芯片质量。我们分析和计算了腔内损耗 α_i 变化三倍时 P 和 P_1 随 $(R_1 \cdot R_2)$ 变化的关系 (如图 4 所示), 也分析了条宽变化三倍时的情形 (如图 5 所示)。结果证明 P 有明显增加, 此时, 用镀增透膜技术使 $R_1=0.01$, 则反面增反膜使 R_2 增加其作用是使 P_1 明显提高, 而对 P 影响不大。此外, 我们还对有源层厚度变化影响输出功率情形进行计算分析 (如图 6 所示), 这是一种 LOC 结构 (参数如表 1 所列, 光场限制因子 $\Gamma=1$)。结果表明 d 的减薄对提高 LOC LD 输出功率是有益的。必须指出, P 和 P_1 的大幅度增加, 镜面上光功率密度也增大, 有可能损坏镜面, 此外 R_1 和 R_2 的变化对 LD 模式和噪声都有影响, 这些都须加以注意, 对此我们正在研究。

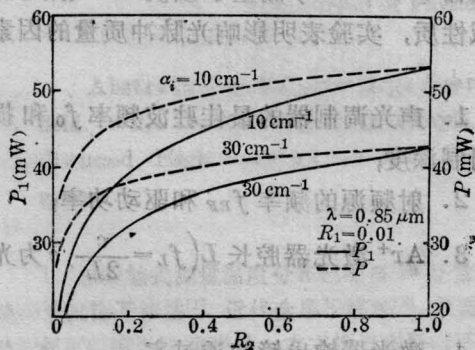


图 4 给定不同 α_i 时 $\lambda=0.85 \mu\text{m}$ DHLD 的 P 和 P_1 随 R_2 的变化曲线 ($R_1=0.01$)

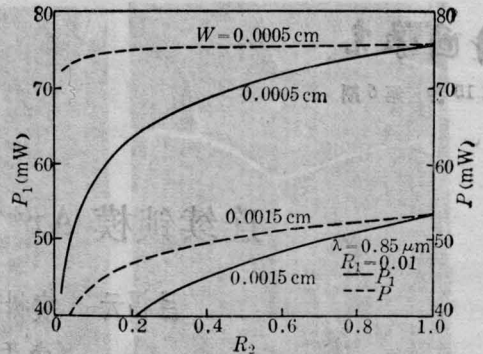


图 5 给定不同 W 时 $\lambda=0.85 \mu\text{m}$ DHLD 的 P 和 P_1 随 R_2 变化曲线 ($R_1=0.01$)

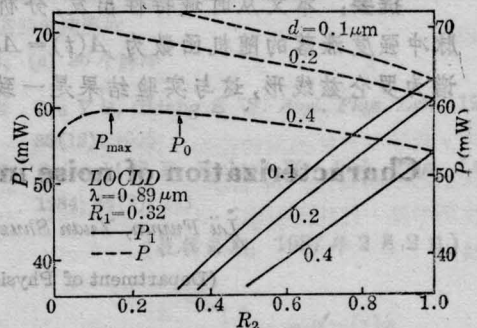


图 6 给定不同 d 时 $\lambda=0.89 \mu\text{m}$ LOC LD 的 P 和 P_1 随 R_2 变化曲线 ($R_1=0.32$)

参 考 文 献

- 1 Ungar J et al. *Electr. Lett.*, 1986; **22** (5): 279
- 2 Hamada K et al. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1985; **QE-21** (6): 623
- 3 Thornton R et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1986; **49** (3): 133
- 4 Fye D M. *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-17** (9): 1950
- 5 Kato D. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1978; **QE-14** (8): 563
- 6 Cassey HC, Panish M B. *Heterostructure Lasers*, New York: Academic, 1978; Part A, 56~90, 180~182
- 7 Thompson G H B et al. *J. Appl. Phys.*, 1976; **47** (4): 1501
- 8 [美] 亨利·克雷歇尔等著, 黄史坚译. 半导体激光器 and 异质结发光二极管, 国际工业出版社, 1983: 249~256
- 9 Ettenberg M et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1971; **18** (2): 571
- 10 Kaminow I P et al. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1983; **QE-19** (8): 1312
- 11 Panish M. *Proceeding of the IEEE*, 1976; **64** (10): 1512
- 12 Burkard H et al. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1985; **QE-21** (6): 650