

半导体激光器腔面全介质涂层的研究

杨晓妍

(长春光学精密机械学院现代光学研究室, 长春 130022)

摘要 通过对 GaAs/GaAlAs 激光器谐振腔前、后腔面蒸镀 ZrO_2 和 ZrO_2 、 MgF_2 的工艺过程, 从理论和实验上分析涂层特性, 透射率、反射率分别由无膜时的 68%、32%, 镀膜后提高到 94%、95.0% 以上, 提高了激光输出功率和工作寿命, 保护了器件端面。

关键词: GaAs/AaAlAs 激光器; 谐振腔; 减反射膜; 高反射膜

1 前言

半导体激光器因其自身解理面形成谐振腔, 以其体积小, 重量轻, 携带方便, 使用简单而倍受青睐。我室研制的 GaAs/AaAlAs 半导体激光器以其功率高、寿命长而广泛用于医疗(穴位治疗仪), 军事(空军、海军模拟打靶、武警手枪模拟打靶)、汽车防撞、光控玩具等。为了提高激光输出功率, 把从激光器后腔面射出、损失掉的光利用起来, 采取镀制高反射膜的措施。本实验对 GaAs/AaAlAs 激光器前、后腔面用电子束蒸镀 ZrO_2 和 ZrO_2 、 MgF_2 介质膜, 提高了前腔面的透射率, 后腔面的反射率, 外微分量子效率, 光输出功率, 改善了激光器性能。

2 原理

当光线从折射率 n_0 介质垂直射入折射率 n_i 的另一介质时, 而在介质界面上产生反射, 反射率: $R = (\frac{n_0 - n_i}{n_0 + n_i})^2$, 透射率为: $T = 1 - R$, 其中 $n_0 = 1$ 为空气折射率, $n_i = 3.6$ 为 GaAs 折射率, 因此 GaAs/AaAlAs 激光器在中心波长 9100 \AA 处的反射率 $R_{\text{中心}}$, 及透射率 $T_{\text{中心}}$ 分别为 $R_{\text{中心}} = (\frac{n_0 - n_i}{n_0 + n_i})^2$ 约为 32%, $T_{\text{中心}} = 1 - R_{\text{中心}}$ 约为 68%。

当激光正入射到蒸镀 k 层膜厚均为 $\frac{\lambda}{4}$ 的 GaAs 激光器腔面时, 其反射率 $R_k^{[1]}$, 当 k 为奇数时,

$$R_k = \left[\frac{n_1^2 n_3^2 \cdots n_k^2 - n_2^2 n_4^2 \cdots n_{k-1}^2 n_0 n_i}{n_1^2 n_3^2 \cdots n_k^2 + n_2^2 n_4^2 \cdots n_{k-1}^2 n_0 n_i} \right]^2 \quad (1)$$

当 k 为偶数时:

$$R_k = \left[\frac{n_1^2 n_3^2 \cdots n_{k-1}^2 - n_1 n_2^2 n_4^2 \cdots n_k^2 n_0}{n_1^2 n_3^2 \cdots n_{k-1}^2 n_i + n_2^2 n_4^2 \cdots n_k^2 n_0} \right]^2 \quad (2)$$

其中膜层的次序从空气一边算起, n_1 到 n_k 为第 1 层到第 k 层膜的折射率, 为得到最大透过率, 即 $T_{\max} = 1$, 令 $R_k = 0$, 则满足下列条件: 当 k 为奇数时:

$$n_1^2 n_3^2 \cdots n_k^2 = n_2^2 n_4^2 \cdots n_{k-1}^2 n_0 n_i \quad (3)$$

当 k 为偶数时:

$$n_1^2 n_3^2 \cdots n_{k-1}^2 - n_i = n_2^2 n_4^2 \cdots n_k^2 n_0 \quad (4)$$

取 $k=1$ (单层增透膜) 时, (3) 式变成:

$$n_1^2 = n_0 n_i \quad (5)$$

因此, 对 GaAs/AaAlAs 激光器前腔面镀膜单层增透膜时, 由 (5) 式得 $n_1 = 1.898$. 为此选 ZrO_2 为蒸镀材料, 取 $n_{ZrO_2} = 1.8$. 在 150°C 时电子束蒸发。

$$R_{\text{膜}} = \left[\frac{n_1^2 - n_0 n_i}{n_1^2 + n_0 n_i} \right]^2 \quad (6)$$

$T_{\text{膜}} = 1 - R_{\text{膜}}$, 使得 $T_{\text{膜}}$ 可达 94% 以上。(6) 式中 $R_{\text{膜}}$ 、 $T_{\text{膜}}$ 分别为镀膜后的反射率和透射率。

由 (1) 式可计算出后腔面蒸镀膜系为: GHLHL...LHA 高反射膜的反射率, 式中 G 为衬底, H 为高折射率 (n_H) 的 ZrO_2 薄膜, L 为低折射率 (n_L) MgF_2 薄膜, 膜厚均为 $\frac{\lambda}{4}$, A 为空气, $n_H = 1.8$, $n_L = 1.38$, 各层反射率如表 1:

表 1

层数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
材料	ZrO ₂	MgF ₂	ZrO ₂	MgF ₂	ZrO ₂	MgF ₂	ZrO ₂	MgF ₂	ZrO ₂	MgF ₂	ZrO ₂	MgF ₂	ZrO ₂	MgF ₂	ZrO ₂
$R_{10^{-3}}$	2.77×10^{-3}	0.52	0.044	0.68	0.198	0.80	0.399	0.87	0.587	0.926	0.73	0.95	0.833	0.97	0.94

3 实验与结果

3.1 工 艺

把新解理的管芯, 经测试激光阈值电流 $I_{th}(A)$, 激光输出功率 $P(W)$ 和与之对应电流 $I(A)$ 值后, 装进夹具, 放入 DMD 450 型镀膜机中, 电子束蒸镀, 真空度为 $1.3 \times 10^{-3} pa$, 加温到 150°C 用极值法使用 MKY-1A 型光学膜厚控制仪精确控制膜层厚度均为 $\frac{\lambda}{4}$ 。

3.2 测 试

(1) 把镀膜的管芯与镀前的管芯比较如 (单层增透) 表 2 所示, 管芯 M_1, M_2, M_3 , 在镀膜前后阈值电流分别为 I_{th}, I_{th}' , 工作电流 $I_{\text{工作}}(A), I_{\text{工作}}'(A)$, 在此电流下激光输出功率 $P_{\text{工作}}(W), P_{\text{工作}}'(W)$, $\Delta I_{th}, \Delta P_{\text{工作}}, \eta_0$ 分别表示管芯的阈值电流的上升, 输出功率的提高, 和外微分量子效率。

表 2

管 芯 号		M ₁		M ₂		M ₃		平均值
		电 流 功 率		电 流 功 率		电 流 功 率		
镀 前	I _{th} (A)	7		11.5		5		
	I _{工作} (A)	34	18.5	34	26.25	34	16	
	P _{工作} (W)	10	5	6.5	5	9	5	
镀 后	I' _{th} (A)	9.5		13.5		6		
	I' _{工作} (A)	34	17.5	34	25.5	34	15	
	P' _{工作} (W)	12.5	5	8	5	10.5	5	
ΔI _{th}		35%		17.4%		20%		24.1%
ΔP _{工作}		25%		23%		22%		23.3%
η ₀		32.2%	45.4%	20%	35.3%	22%	29%	

(2)表 3 管芯 M₄,M₅,前腔面涂单层增透膜,后腔面镀高反射膜。

表 3

电 流 功 率		管 芯 号	
		M ₄	M ₅
镀 前	I _{th} (A)	10	6.5
	P _{工作} (W)	7.5	6
镀 前 表面	I' _{th} (A)	8.75	5.5
	P _{工作'} (W)	10.5	10
后 后 表面	I'' _{th} (A)	不受激(荧光)	萤 光
	P' _{工作} (W)	0	0
ΔI _{th}		12.5%	15%
ΔP(W)		40%	66.6%

4 讨 论

(1)众所周知,近红外和可见激光器一般都是用掺 Al 量来调节激光器波长。在光能量密度很大时,腔面有源区的 Al 极易被氧化,导致激光输出功率下降^[2]。另外,由于工作环境潮湿,空气中的碱、酸使腔面受到侵蚀,影响激光输出,致使微分量子效率下降,阈值电流密度增大^[3],降低激光器使用寿命。前后腔面镀膜,保护腔面,延长工作寿命,提高光输出功率。

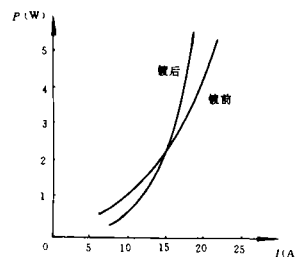


图 1 蒸镀 ZrO₂ 膜前、后外微分量子效率曲线

(2) GaAs 衬底加温到 200℃ 以上, 真空度 3×10^{-3} Pa 时, 自身功率明显下降。本实验衬底加温 150℃, ZrO_2 的折射率取 $n=1.8$ 。

(3) 为提高外微分量子效率, 即降低图 1 中两曲线交点 A 的位置, 这要求我们做进一步实验, 找到合适的衬底温度、真空度、束流电流、膜厚控制精度等。

(4) 高反射膜反射率还没达到最佳值, 还需进一步摸清条件。

5 结 论

(1) 蒸镀 ZrO_2 、 MgF_2 硬膜与器件有较好的结合、好的化学稳定性、牢固性、抗潮湿及耐高温性, 保护腔面, 使其有较长的工作寿命。

(2) 前腔面增透膜阈值电流平均升高 19%, 外微分量子效率平均提高 49%。

后腔面高反射膜阈值电流降低 13.5%, 后腔面端面只有萤光输出。

(3) 镀后光功率明显提高, 镀单层增透时, 光输出功率提高, $\Delta P_{\text{平均}} = 24\%$, 前后腔面镀全介质膜时, 光功率提高 66.6%。

参 考 文 献

- [1] A. Vasicek, Optics of thin films. North-Holland publishing company, Amsterdam, 1960, 187
[2]、[3] 廖柯, 半导体光电. 1990, 11(2):138-141

Study on Dielectric Coatings on Semiconductor Laser cavity surface

Yang Xiaoyan

(Modern-Optics LAB, Changchun Institute of Optics and
Fine Mechanics, Changchun 130022)

Abstract

We have studied theoretically and experimentally the coating characteristics via the technology process of ZrO_2 and ZrO_2 、 MgF_2 evaporation plating on the front and back cavity Surfaces of GaAs/GaAlAs Laser. The transmission coefficient and reflective coefficient have been changed respectively from 68% and 32%, in the case without coatings, to above 94% and 95%. By this, the device cavity Surfaces have been protected, the out put power increased, and lifetime extended.

Key ward: GaAs/AaAlAs lasers, Resonant cavities, Anti-reflective Coatings, high reflecting Coatings