

材料、结构及工艺

808 nm 激光器端面镀膜技术

唐婷婷¹, 王锐¹, 刘刚明², 廖柯²

(1. 重庆邮电大学 光电工程学院, 重庆 400065; 2. 重庆光电技术研究所, 重庆 400060)

摘要: 通过对 AlGaAs/GaAs 808 nm 半导体激光器谐振腔的前后端面分别蒸镀 Ta₂O₅/SiO₂ 膜系高反膜和 Al₂O₃ 单层增透膜, 使得前后端面的反射率分别达到 11 % 和 98.42 %。器件在同一驱动电流下镀膜后的输出功率比镀膜前增加了一倍多, 同时镀膜还有效地保护了端面, 延长了器件工作寿命。

关键词: 高反膜; 增透膜; 反射率; 输出功率

中图分类号: TN248.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001 - 5868(2006)02 - 0167 - 03

Plating Film on Facets of 808 nm Semiconductor Laser

TANG Ting-ting¹, WANG Rui¹, LIU Gang-ming², LIAO Ke²

(1. College of Optoelectronic Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, CHN;

2. Chongqing Optoelectronics Research Institute, Chongqing 400060, CHN)

Abstract: Through evaporating Ta₂O₅/SiO₂ high reflecting film and Al₂O₃ anti-reflective coating on the front and back cavity surfaces of AlGaAs/GaAs 808 nm LD, the reflectivities of 11 % and 98.42 % are achieved respectively. The output power after plating the film could be two times more than before plating the film when it is working at the same driving current. At the same time the film makes the facets protected effectively and also the device lifetime enhanced.

Key words: high reflecting film; anti-reflecting film; reflectivity; output power

1 引言

808 nm 大功率半导体激光器是目前国际上商用蓝光激光器的主要泵浦源, 它在工业、激光医学、光存储、军事等方面有着广阔的应用前景。本实验研究的 808 nm AlGaAs/GaAs 大功率半导体激光器是 GaAs 晶体的 (110) 自然解理面作为谐振腔反射端面, 在不镀膜的情况下, 端面反射率约 32 % (透射率为 68 %), 即器件产生的激光约有三分之二因透射而在后腔面浪费掉。同时, 前端面 68 % 的透射率也不能满足我们对器件输出功率的要求。另一方面, 腔面有源区的 Al 极易被氧化, 在光能量密度很大时, 导致激光器输出功率下降^[1]。同时, 由于工作环境潮湿, 空气中的酸和碱使腔面受到侵蚀, 影响激光输出, 致使微分量子效率下降, 阈值电流密度增

大, 从而降低了激光器的使用寿命^[1]。为了降低阈值电流, 提高激光输出功率和工作寿命, 有效地保护器件端面, 有必要在激光器的前后端面分别镀上增透膜和高反膜。半导体激光器极小的出光面积 (单管只为十几平方微米), 极高的光功率密度 (一般为几兆瓦每平方厘米以上) 以及 GaAs 晶体的特性决定了这种激光器端面膜的特殊性与制备的难度。

2 理论分析

2.1 前端面增透膜理论分析

对于激光器谐振腔的前端面 (即激光出射端面), 采用单层膜就能达到要求。

由薄膜光学知, 要得到理想的单层增透膜 (即透射率为 100 %), 其条件有二: 一是膜层的光学厚度为四分之一波长, 二是其折射率为激光器有源区材料与空气折射率乘积的平方根。

收稿日期: 2005 - 07 - 01.

但是实验证明,对于激光器的前端面并不要求达到 100 % 的透射率。这是由于:

$$\frac{I_{th}}{WL} = \frac{d}{\beta L} \left\{ \alpha + \frac{\ln[1/(R_f R_r)]}{2L} \right\} + dJ_0 \quad (1)$$

式中: I_{th} 为阈值电流, α 为内损耗, L 为光限制因子, R_f 、 R_r 分别为前后腔面反射率, J_0 为透明阈值电流密度, W 为条宽, L 为腔长, d 为有源区厚度, β 为增益有关常数。从式中可以看出,如果前端面的透射率为 100 %,即 $R_f = 0$,激光器阈值电流就会是无限大,这显然不符合实际的设计和和生产。从实验得知,当 R_f 与 R_r 的乘积小于 0.1 的时候,阈值电流会迅速增大。这显然不符合我们对在尽量小的工作电流下得到尽量高的输出功率这一目标的追求。经过多次试验发现前腔面的反射率为 11 % 时,器件能够达到较理想的工作状态。

2.2 后端面高反膜的理论分析

由薄膜光学知,用高低折射率交替的多层介质膜(每层 $\lambda_0/4$ 厚)能够得到很高的反射率。这是因为从膜系所有界面上反射的光束,当他们回到前表面时具有相同的位相,从而产生相长干涉。这种膜系在理论上有望达到 100 % 的反射率。

设由折射率为 n_H (高折射率层)和 n_L (低折射率层)组成的全介质膜系,其每层厚度均为 $\lambda_0/4$,两边的最外层均为高折射率层。这样组合膜系的导纳为

$$Y = \left(\frac{n_H}{n_L} \right)^{2S} \frac{n_H^2}{n_g} \quad (2)$$

式中, n_g 是基片的折射率, $2S + 1$ 是多层膜的层数。当从空气中垂直入射时,中心波长的反射率

$$R = \left[\frac{1 - Y}{1 + Y} \right]^2 = \left[\frac{1 - (n_H/n_L)^{2S} (n_H^2/n_g)}{1 + (n_H/n_L)^{2S} (n_H^2/n_g)} \right]^2 \quad (3)$$

$\frac{n_H}{n_L}$ 比值越大,或层数越多,则反射率越高,所以应尽量选用折射率相差比较大的两种材料。

从理论上来说,激光器的后端面反射率越接近 100 % 越好,然而在实际工艺中却并非如此。这是因为:从公式(3)可以看出,反射率的提高需要膜层层数的增加,这就要求对膜层厚度更加精确控制,工艺要求会越来越来高;另一方面,膜层数增多,会降低反射膜系的可靠性,影响器件的批量生产。所以,综合理论和实践两方面的因素,在实际工艺中后端面反射率在 98 % 左右就能满足要求了。

3 实验及结果

3.1 器件结构

本实验采用折射率渐变分别限制异质结单量子阱结构 (GRIN-SCH-SQW) 激光器。如图 1 所示,采用 MBE,在 n^+ -GaAs 衬底上(掺 Si, $n = (1 \sim 3) \times 10^{18}/\text{cm}^3$),依次生长 0.5 μm n -GaAs 缓冲层(掺 Si, $n = 1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$),1 μm n -Al_{0.7}Ga_{0.3}As 下限制层(掺 Si, $n = 1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$),0.1 μm Al_xGa_{1-x}As 线性折射率渐变层(非掺, $x = 0.7 \sim 0.3$),单量子阱层,0.1 μm Al_xGa_{1-x}As 线性折射率渐变层(非掺, $x = 0.3 \sim 0.7$),1 μm p -Al_{0.7}Ga_{0.3}As 上限制层(掺 Be, $p = 1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$),0.2 μm p^+ -GaAs 层(掺 Be, $p = (1 \sim 4) \times 10^{19}/\text{cm}^3$)。为了抑制阵列器件中的侧向光振荡,采用标准光刻技术和湿法化学腐蚀方法在激光器激射单元条之间形成光隔离沟道,沟道内淀积介质膜并制备出电极条形窗口。 p 面和 n 面电极分别蒸镀 AuZn/Au 和 AuGeNi 合金后,将外延晶片沿条形垂直方向解理成 1 000 μm 腔长,宽 1 cm 的 Bar。

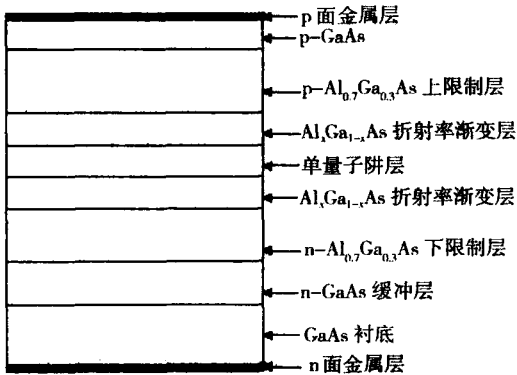


图 1 GRIN-SCH-SQW 激光器的外延结构

3.2 镀膜材料的选取

大功率半导体激光器高反射腔面膜通常采用 Ta₂O₅/SiO₂, Si/Al₂O₃^[2~4], HfO₂/SiO₂^[5] 等膜系以及 α SiH/Al₂O₃^[6] 膜系的所谓的无吸收腔面(相对于吸收比较大的 Si/Al₂O₃ 膜系而言),出光面一般采用 Al₂O₃, ZrO₂, HfO₂/SiO₂ 等单层膜或双层膜。本实验采用 Ta₂O₅/SiO₂ 膜系做器件的高反膜;选用 Al₂O₃ 做增透膜,单层就能达到要求。

选择这些材料的原因如下:SiO₂ 折射率约为 1.5,在工作波长上消光系数足够小,呈均匀的微粒生长,膜层结构为无定型态,具有较高的激光损伤阈值,被认为是一种比较理想的低折射率材料^[7]。

Ta₂O₅ 的折射率在 2.0~2.2,膜层致密度极高,填充密度趋于 1,激光破坏阈值略高于 TiO₂^[8]。同时,该膜系对 GaAs 材料的粘附性很好,并且在 808 nm 波段对光的吸收较 Si/Al₂O₃ 膜系小得多。而选用 Al₂O₃ 做增透膜是因为 Al₂O₃ 对 AlGaAs 的粘附性很好,并且它是一种非常稳定的材料。当它经历更多的设备集成过程时能够不受结构和成分变化的影响^[9]。同时其工艺相对简单,重复性好,并且能达到我们对透射率的要求。

3.3 实验数据

在 Bar 的前端面镀上单层 Al₂O₃,后端面镀上 Ta₂O₅/SiO₂ 膜系的高反膜。经过准确的测量,前端面的反射率在 808 nm 处为 R_f = 11%,后端面的反射率曲线如图 2 所示。从图中可以看到,在 808 nm 处,后端面的反射率达到了 R_r = 98.42%。如图 3 所示,OA、OB 分别表示单 Bar 镀膜前后的 P-I 曲线。在室温(约 25 °C),无致冷的条件下,镀膜前输入 80 A 电流时输出功率为 25 W,而镀膜后达到了 60 W,增加了一倍多。可见通过端面镀膜极大地提高了器件的输出功率和电光转换效率。

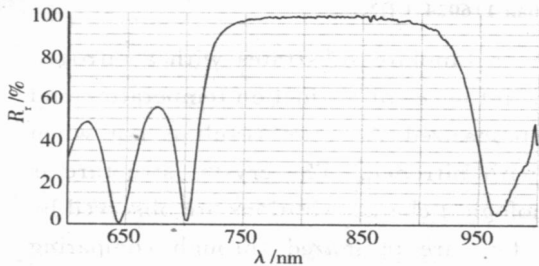


图 2 后端面镀 Ta₂O₅/SiO₂ 膜系后的反射率曲线

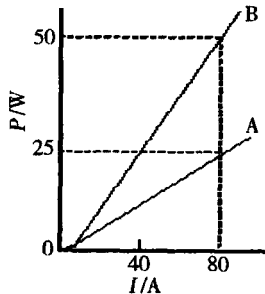


图 3 室温无致冷条件下测得器件的 P-I 曲线

4 结论

薄膜可以保护端面不与大气中的氧气和水蒸汽接触,以免遭受由它们引起的加快表面复合速率的损害。同时,薄膜可以减小已经存在的表面缺陷,并且降低表面复合速率。这样,薄膜就起到了钝化和

保护端面的双重作用^[10],从而延长了器件的寿命并且使它能够实现连续波和大功率的工作。另一方面,通过在前后端面镀膜,提高了光致灾变损伤(COD)阈值和量子效率,增强了器件的可靠性。并使器件在同一驱动电流下输出功率增加了一倍多。

本实验在理论分析和多次实验的基础上确定了后端面反射率为 98%左右,前腔面的反射率为 11%并选取了 Ta₂O₅/SiO₂ 膜系做器件的高反膜,单层 Al₂O₃ 做增透膜。镀膜后测出的数据也很好证明了理论分析的正确性。

参考文献:

[1] 廖柯. AlGaAs 可见光激光器的镜面保护[J]. 半导体光电, 1990, 11(2): 138-140.
[2] Ettenberg M. A new dielectric facet reflector for semiconductor lasers[J]. Appl. Phys. Lett., 1978, 32(11): 724-725.
[3] Ohtani M, Yoshida K. Optical coatings for high power laser produced by mixed films method[J]. Jpn. J. Appl. Phys., 1990, 59(7): 953-958.
[4] 谭满清, 茅冬生. ECR Plasma CVD 法沉积 808 nm 大功率半导体激光器光学膜工艺研究[J]. 半导体学报, 1999, 20(7): 589-592.
[5] 付雄鹰, 孔明东, 马平, 等. 等离子体辅助沉积 HfO₂/SiO₂ 减反、高反光学薄膜[J]. 光学技术, 1998, (3): 91-93.
[6] 李秉臣, 彭晔, 廖显伯. 808 nm 大功率量子阱激光器无吸收腔面膜的研究[J]. 半导体学报, 1999, 20(8): 698-701.
[7] 熊锋, 乔学亮, 陈建国, 等. 激光器谐振腔全介质高反膜的研究进展[J]. 激光杂志, 2002, 23(1): 2.
[8] 蒋向东, 张怀武, 黄祥成, 等. 激光高反射膜的研究[J]. 应用光学, 2003, 24(1): 25.
[9] Morton D E, Stevenson I, Garcia M. Design and development of optical coatings on laser bar facets[J]. Proc. SPIE, 2004, 5280: 414-416.
[10] Panchal C J, Mistry S N, Patel N K M, et al. Facet coating of diode laser for high power and high reliable operation[J]. Proc. SPIE, 2003, 4829: 18-19.

作者简介:

唐婷婷(1981 -),女,2003 年毕业于哈尔滨工业大学通信工程专业,获工学学士学位,现为微电子与固体电子学专业硕士研究生,主要研究方向为半导体激光器。

E-mail: tangtingting2003@sohu.com