

# 980 nm 半导体激光器腔面膜与腔面光学灾变的改善

芦 鹏 刘国军 薄报学 王玉霞 王崇阳

(长春理工大学理学院高功率半导体激光国家重点实验室, 吉林 长春 130022)

**摘要** 腔面光学灾变(COD)是影响半导体激光器高功率输出和可靠性的重要问题。不同腔面膜的器件,其腔面光学灾变阈值差别很大。使用离子辅助沉积(IBAD)的工艺可以使基片表面更清洁,膜层更为牢固致密,同时可以改善由吸收、散射等损耗带来的激光输出功率下降。采取  $N_2$  氛围中在激光器的腔面上涂镀不同的增透膜与介质高反膜来提高腔面光学灾变阈值。以 980 nm 半导体激光器为例,进行对比实验,从老化结果中可以看到不同工艺与不同材料选择下腔面膜的腔面光学灾变的明显改善。

**关键词** 薄膜; 半导体激光器; 腔面膜; 离子辅助沉积; 腔面光学灾变

**中图分类号** P248.4 **文献标识码** A

## Improvement of Cavity Films and Catastrophic Optical Damage on 980 nm Semiconductor Laser

Lu Peng Liu Guojun Bo Baoxue Wang yuxia Wang chongyang

(State Key Laboratory on High Power Semiconductor Lasers, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jiling 130022, China)

**Abstract** One serious problem impairing semiconductor laser quality is the catastrophic optical damage (COD), and different cavity film have different devices COD. Ion beam assisted deposition (IBAD) can make the surface of substrate more cleanly, make the film more firmly and compactly, then decrease the loss of absorption and scatter. And making cavity films in a  $N_2$  atmosphere can improve the threshold of COD. Using the 980 nm semiconductor, we found a improving COD from aging test in different technologies and different materials.

**Key words** thin film; semiconductor laser; cavity film; ion beam assisted deposition; catastrophic optical damage

## 1 引 言

一般引起退化的半导体激光器腔面是指谐振腔面的解理面,是激光器的重要组成部分。腔面的损伤退化可分为灾变性腔面损伤退化和腔面的化学腐蚀损伤退化。腔面光学灾变(COD)是影响半导体激光器高功率输出和可靠性的重要问题。在实验中发现,不同腔面镀膜情况的器件,其腔面光学灾变差别很大。新的材料以及新的工艺手段的使用将起到至关重要的作用。

## 2 原 理

含 Al 的 GaAs/GaAlAs 材料半导体激光器<sup>[1]</sup>, Al 元素吸附水气和氧使端面氧化形成局部缺陷,影响表面对光的吸收,导致局部大量发热,使激光器性

能退化甚至失效。

半导体激光器的腔面镀膜可以有效提高器件的微量子效率。但又因输出损耗的增加而使器件的阈值电流升高。并且因为半导体激光器烧结的不对称性造成散热的不对称性,前腔面的结温要比后腔面高得多,这也造成前腔面光学灾变烧毁是限制高功率输出的关键问题。<sup>[2]</sup>

材料的选择首先需要考虑镀层材料的长期稳定性,能够防止环境气氛扩散进入器件的发光区,同时需要易于蒸镀,不会对激光器的自然解理面产生破坏,并具有较好的附着性。

根据光学薄膜设计的有关理论,设空气为出射介质(折射率为 1),当  $n = \sqrt{n_0}$  时,反射率  $R = 0$ ,即完全透射。对于 980 nm InGaAs/GaAs/GaAlAs 量

**作者简介:** 芦 鹏(1977—),男,吉林人,助研,博士研究生,主要从事半导体器件工艺方面的研究。

E-mail: 963112lp@126.com

**导师简介:** 刘国军(1964—),男,吉林人,研究员,博士生导师,主要从事半导体激光器物理与技术等方面的研究。

E-mail: gjliu626@126.com

子阱激光器  $n_0$  一般取 3.4~3.6。对于半导体激光器的折射率均方根最佳值  $n = 1.875$  来说, 选取  $\text{Al}_2\text{O}_3$  与  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  的混合材料更为理想<sup>[3]</sup>。并且以一定的工艺控制其混合折射率在 1.9 左右。即可达到最佳效果。如图 1(a) 显示单层  $n=1.9$  时, 在 980 nm 处的透射率数值无限趋近于极大值 1, 而图 1(b) 显示的是同样折射率的单层膜在 K9 玻片上的理论曲线, 用于与实际测试曲线对比使用。

较高的后腔面反射率可由高、低折射率两种材料的交替介质膜组成<sup>[4]</sup>, 可用  $G/\text{HLHLHL}/A = G/3(\text{HL})/A$  表示, 其中 G 和 A 代表入射介质和出射介质(空气), H 和 L 代表光学厚度为  $\lambda/4$  的高和

低折射率膜层, 3 为膜层对数。

计算表明, 两种材料的折射率差别越大, 层数越多, 则膜系的反射率越高, 而且反射谱宽度随两种材料折射率的差别增大而加宽。从表 1 与图 2 中可看出, 仅三对材料即可获得 97% 以上的高反射率。图 2 中, 同样在 GaAs 衬底上, 设基底  $N_c = 3.6$ , 图 2(a) 的膜系结构为  $G/3(\text{LH})$ ,  $R_{980} = 99.507\%$ ; 图 2(b) 的膜系结构为  $G/\text{MHLHLH}$ ,  $R_{980} = 99.371\%$ ; 图 2(c) 的膜系结构为  $G/3(\text{MH})$ ,  $R_{980} = 98.975\%$ , 均为实验中常采取的膜系。一般半导体激光器的高反面反射率大于 90% 即可达到明显降低阈值的要求<sup>[5]</sup>。

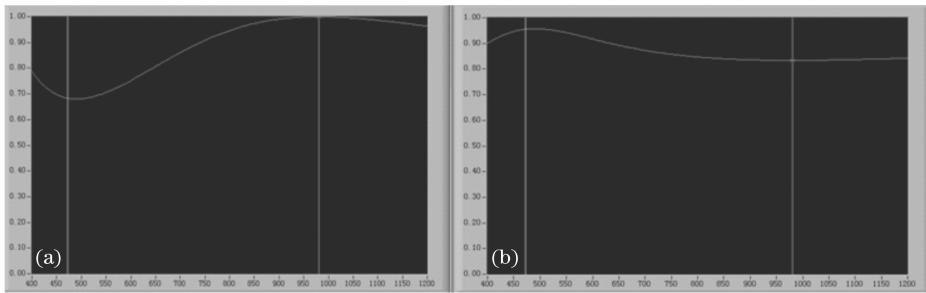


图 1 激光器前腔面镀制单层  $n=1.9$  计算的透射曲线(a)K9 玻片上的透射曲线(b)

Fig. 1 Design curve (a), curve on K9 base (b) on front face of SL cavity when one layer  $n=1.9$

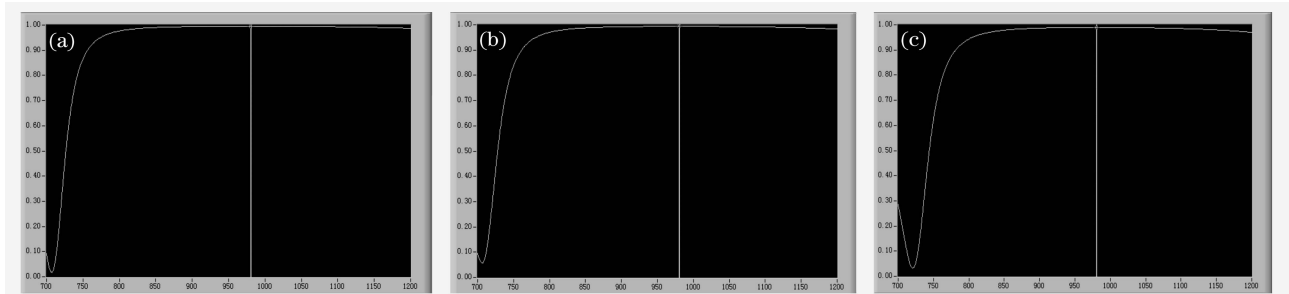


图 2 计算的不同材料以及不同设计方案下多层高反膜反射率曲线。(a)  $G/3(\text{LH})$ , (b)  $G/\text{MHLHLH}$ , (c)  $G/3(\text{MH})$

Fig. 2 Reflection curves of multilayer films of different materials and designs. (a)  $G/3(\text{LH})$ , (b)  $G/\text{MHLHLH}$ , (c)  $G/3(\text{MH})$

表 1 选用材料的光学折射率

Table 1 Material and index

Material	H=Si	L=SiO <sub>2</sub>	M=Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Index	3.5	1.46	1.65

### 3 实验和讨论

离子源 CC105 将气态原子转变成具有 300 eV 能量的离子。一般地, 典型的工作状态下为 50~200 eV (大约为驱动电压的 55%) (如图 3), 在距离中心 0~25 cm (大约 0°~32°) 的范围内, 离子源具有较好的均匀性及较高的能量。将对薄膜提高其牢固性、抗潮性与稳定性起到重要的作用。

离子束辅助沉积 (IBAD) 的工艺可以在低温下

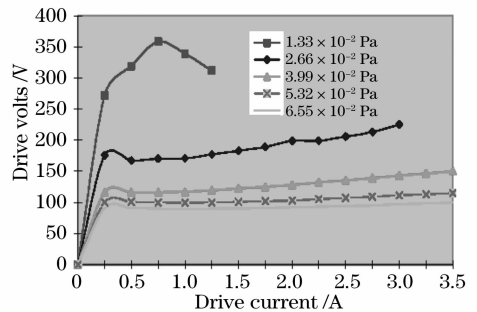


图 3 CC105 在不同压强下的工作图

Fig. 3 Operating line in different pressure of CC105

得到优秀光学性质的腔面膜, 而且工艺中  $\text{N}_2$  起到了腔面钝化的作用<sup>[6]</sup>。除去 GaAs 表面自然氧化层, 有效地抑制 GaAs 表面活性, 减少表面态密度,

避免光学灾变的发生。如图 4 所示,离子束辅助沉积获得了折射率非常理想的混合材料折射率,可以制备出优秀的增透膜。

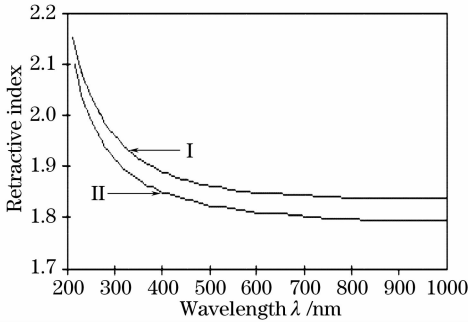


图 4 离子束辅助沉积 I,常规 II 工艺下的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 与 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 混合材料折射率曲线

Fig. 4 Mixed material index of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, line I is IBAD method, II is normal

### 4 实验结果

选取工作电压 250 V,工作电流 2.5 A,工作压强  $2.7 \times 10^{-2}$  Pa。图 5 是测得的光学曲线。反射膜采用 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Si/SiO<sub>2</sub>/Si/SiO<sub>2</sub>/Si,由曲线可以看出反射率

与设计曲线略有相差,但是也完全符合半导体激光器后腔反射镜的要求。在 980 nm 点的反射率达到 97.38%。曲线虽然是在 K9 玻片上测得的,但是由计算可知在实际激光器上反射率的数值应该要更优于它。对于 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 与 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的混合单层增透膜采取间接测量的方法,对于 980 nm 单点进行反向计算,计算将新材料( $n=1.9$ )镀制在 K9 玻璃上的测量曲线,然后将其与实验的测量数据进行比较。实验中得到的 980 nm 处透射率为 84.24 % (此种材料几乎无吸收),反向计算得到的  $n=1.87 \sim 1.88$ ,也非常符合设计思想<sup>[7,8]</sup>。制出了合格光学性能的激光器腔面膜。

选择 980 nm 1 W 激光器两组进行对比实验,编号 980-4# (前腔面使用 SiO<sub>2</sub> 作腔面膜并且未使用钝化工艺)、980-5# (采用前文中的新工艺制作)先进行初测,初测按两种情况:连续(CW)电流测试和 2% 占空比测试,再用 1300 mA 电流将两只器件进行 96 h 老化(见图 6~图 9)。

老化后 980-4# 无论单管器件还是厘米条器件均失效。并且 980-4# 其前腔面有明显的腔面光学灾变损坏现象(图 10)。

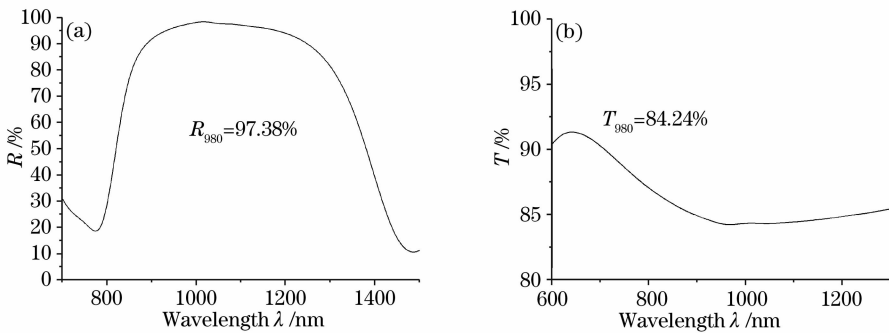


图 5 在 K9 玻片上测得的反射率曲线(a)透射率曲线(b)

Fig. 5 Measuring reflection curve (a) measuring transmission (b) curve on K9 base

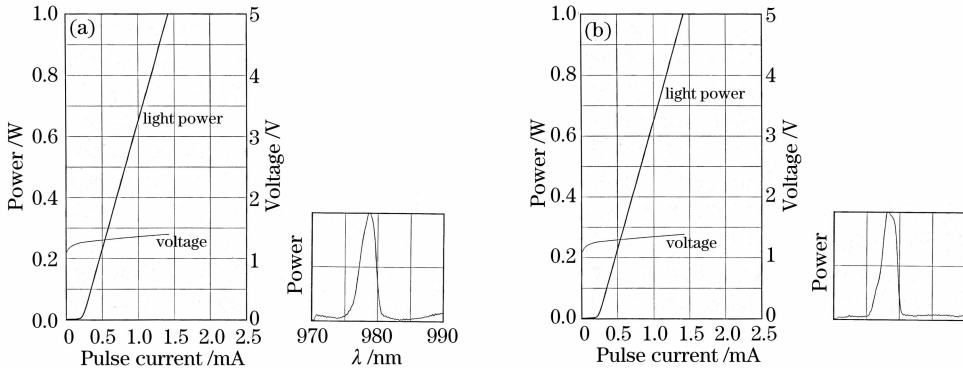


图 6 980-4# (a) 980-5# (b) 占空比初测

Fig. 6 Duty ratio 2% in first test of 980-4# (a) 980-5# (b)

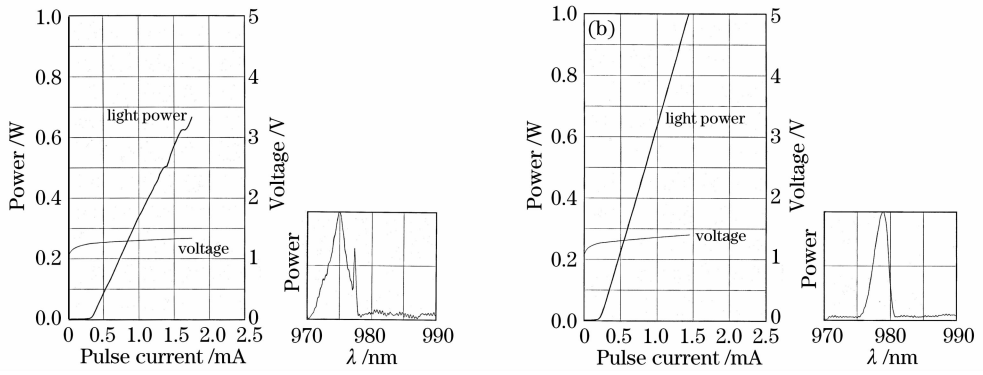


图 7 980-4<sup>#</sup> (a) 980-5<sup>#</sup> (b) 2% 占空比 96 h 老化后测试

Fig. 7 Duty ratio 2% in 96 h aging test of 980-4<sup>#</sup> (a) 980-5<sup>#</sup> (b)

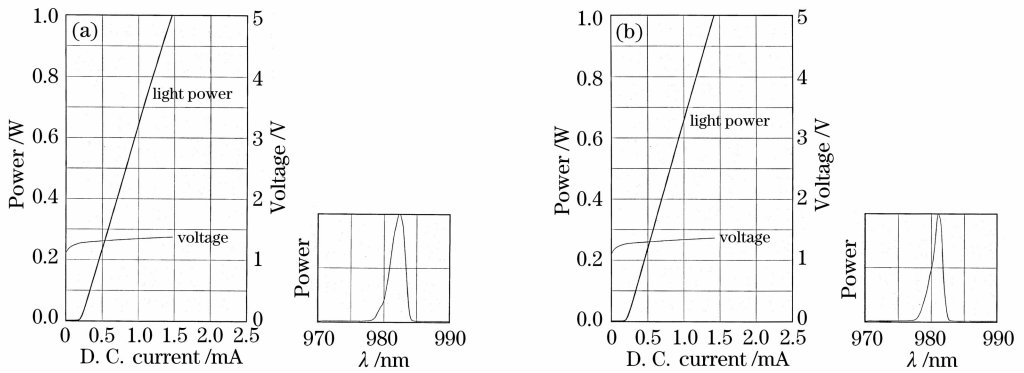


图 8 980-4<sup>#</sup> (a) 980-5<sup>#</sup> (b) 厘米条初测

Fig. 8 CM bar first test of 980-4<sup>#</sup> (a) 980-5<sup>#</sup> (b)

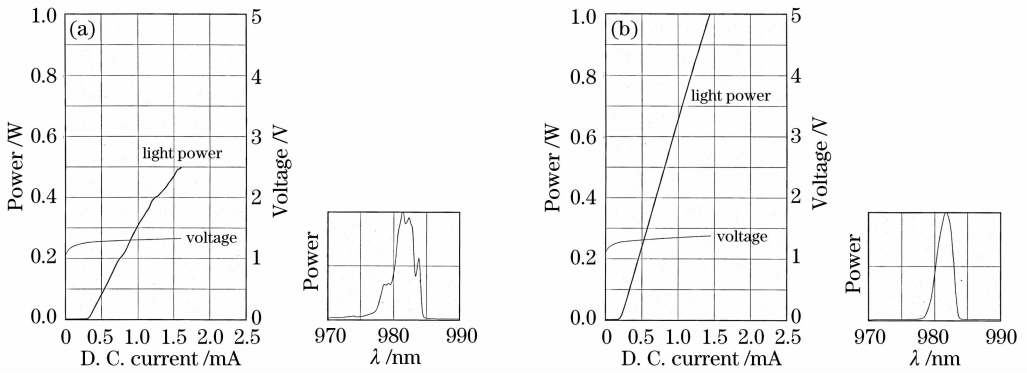


图 9 980-4<sup>#</sup> (a) 980-5<sup>#</sup> (b) 厘米条 96 h 老化后测试

Fig. 9 CM bar in 96 hours aging test of 980-4<sup>#</sup> (a) 980-5<sup>#</sup> (b)

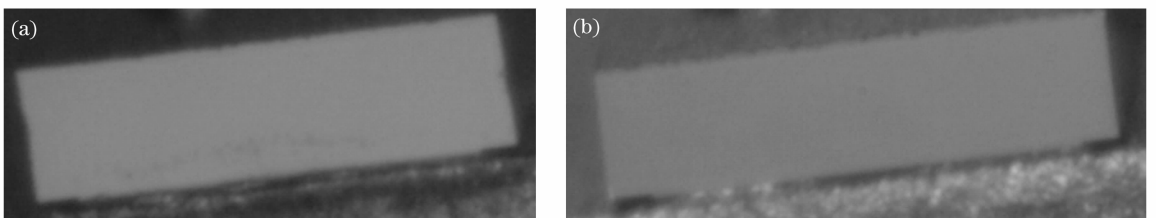


图 10 980-4<sup>#</sup> (a) 980-5<sup>#</sup> (b) 前腔面

Fig. 10 Front face of 980-4<sup>#</sup> (a) 980-5<sup>#</sup> (b) cavity

## 4 结 论

为实现 GaAs/AlGaAs 材料 980 nm 半导体激光器的高功率输出并且获得长期的稳定性,解决含 Al 激光器 Al 影响激光器的性质和使用寿命的问题,除去需要解决多次外延等材料生长技术及洁净的解理技术以外,端面镀膜技术的选材以及工艺创新也至为关键。实验表明,选取折射率在 1.9 左右的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  与  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  的混合材料作为增透膜,再加上离子束辅助沉积工艺制备  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{SiO}_2)/\text{Si}$  的高反膜系中  $\text{N}_2$  的钝化作用,将大大提高器件的腔面光学灾变阈值,提高器件的寿命及可靠性。

## 参 考 文 献

- 1 Li Jianjun, Han Jun, Deng Jun *et al.*. InAlGaAs quantum well 808 nm laser diode with low threshold current and high efficiency [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(9): 1159~1162  
李建军,韩 军,邓 军等. 低阈值高效率 InAlGaAs 量子阱 808 nm 激光器[J]. *中国激光*, 2006, **33**(9): 1159~1162
- 2 Kong Weijin, Liu Shijie, Shen Zicai *et al.*. Laser induced damage thresholds of multi-layer dielectric gratings and multi-layer dielectric mirrors[J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(4): 552~556  
孔伟金,刘世杰,沈自才等. 多层介质膜光栅和介质膜反射镜抗激光损伤阈值研究[J]. *中国激光*, 2006, **33**(4): 552~556
- 3 Zhong Disheng. Selection and Application of Optical Material [M]. Shenyang: Press of Liaoning University, 2001  
钟迪生. 光学材料的选择与应用[M]. 沈阳: 辽宁大学出版社, 2001
- 4 Kong Weijin, Shao Jianda, Zhang Weili *et al.*. Design and character analysis of multi-layer dielectric gratings [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(5): 701~706  
孔伟金,邵建达,张伟丽等. 脉宽压缩光栅用的多层膜设计和性能分析[J]. *光学学报*, 2005, **25**(5): 701~706
- 5 B. C. Stuart, M. D. Feit, S. Herman *et al.*. Ultrashort-pulse optical damage[C]. *SPIE*, 2004, **5273**: 1~7
- 6 Geng Xinhua, Yu Zhenrui, Sun Zhonglin *et al.*. Post-hydrogenation of poly-Si thin films [J]. *Optoelectronic Technology*, 1995, **15**(2): 155~159  
耿新华,于振瑞,孙钟林等. 多晶硅薄膜后氢化的研究[J]. *光电子技术*, 1995, **15**(2): 155~159
- 7 Shao Shuying, Tian Guanglei, Fan Zhengxiu *et al.*. Influences of the deposition parameters and aging time on the residual stress of  $\text{SiO}_2$  films[J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(1): 126~130  
邵淑英,田光磊,范正修等. 沉积参量及时效时间对  $\text{SiO}_2$  薄膜残余应力的影响[J]. *光学学报*, 2005, **25**(1): 126~130
- 8 Li Chengren, Song Shide, Zhou Songqiang *et al.*. Investigation of laser annealing on Yb-Er Co-doped  $\text{Al}_2\text{O}_3$  films[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(7): 1322~1326  
李成仁,宋世德,周松强等. 镱铒共掺  $\text{Al}_2\text{O}_3$  薄膜激光退火研究[J]. *光学学报*, 2007, **27**(7): 1322~1326