

文章编号: 0253-2239(2005)12-1639-5

# 全内腔绿光 He-Ne 激光器

龙兴武 杨开勇 黄云 袁杰 赵洪常 王飞

(国防科技大学光电科学与工程学院光电工程系, 长沙 410073)

**摘要:** 采用 Needle 法, 对全内腔绿光 He-Ne 激光器膜系进行设计, 并给出了所设计膜系的光谱性能。利用离子溅射镀膜技术镀制了所设计的膜片并且给出了测量结果。制备了多种规格的全内腔绿光 He-Ne 激光器并且讨论了相关工艺。其中腔长 420 mm 的全内腔绿光 He-Ne 激光器的典型输出光功率为 3 mW(单模), 腔长 360 mm 的典型输出光功率为 2 mW(单模), 腔长 240 mm 的典型输出光功率为 1 mW(单模), 腔长 100 mm 的小短管子也能有 0.1 mW 的输出光功率。

**关键词:** 激光器; He-Ne 激光器; 绿光; 全内腔; 膜系设计; 离子溅射镀膜

中图分类号: TN248 文献标识码: A

## Green He-Ne Laser with Internal Cavity

Long Xingwu Yang Kaiyong Huang Yun Yuan Jie Zhao Hongchang Wang Fei

(Department of Optoelectronic Engineering, College of Optoelectronic Science & Engineering,  
National University of Defence Technology, Changsha 410073)

**Abstract:** By making use of the needle method, the coating design of green He-Ne laser with internal cavity and the spectrum performance of the designed coating are introduced. The newly designed films of green He-Ne laser have been coated by making use of ion beam sputtering deposition, and the measured results have been given out. Many types of green He-Ne laser with internal cavity have been fabricated and the related techniques have been discussed. In these green He-Ne lasers, the lasers with cavity length of 420 mm have typical output power of 3 mW (single mode), the lasers of 360 mm have typical output power of 2 mW (single mode), the lasers of 240 mm have typical output power of 1 mW (single mode), and the small and short lasers with cavity length of 100 mm have also typical output power of 0.1 mW.

**Key words:** lasers; He-Ne laser; green light; internal cavity; coating design; ion beam sputtering deposition

## 1 引 言

全内腔绿光 He-Ne 激光器在很多方面都有着广泛的应用, 但由于绿光在 He-Ne 的八条可见光谱线中增益最低, 对镀膜技术要求很高, 因此研制难度很大。1994 年我们在继美国和德国之后成功研制了全内腔绿光 He-Ne 激光器, 但当时利用的是电子蒸发镀膜技术, 因此鉴定时输出功率较小<sup>[1]</sup>, 在一定程度上限制了某些方面的应用。本文采用 Needle 法对全内腔绿光 He-Ne 激光器膜系进行了重新设计, 利用离子溅射镀膜技术镀制了所设计的膜并且制备了多种规格的全内腔绿光 He-Ne 激光器。

## 2 膜系设计

采用 Needle 法进行膜系设计, 详情可参见文献

[2,3]。传统的膜系设计方法如最速下降法的优化过程可以描述为: 设计的和期望的膜系光谱参量的差别用评价函数来度量。评价函数越小, 表明实际设计的与期望的膜系光谱参量越接近。当评价函数对每一层膜的厚度的梯度等于 0 或接近于 0 也就是当调整任意一层膜的厚度评价函数不再减小时, 优化停止。但这时, 如果假设某一层膜中间的某个地方存在着一层折射率为给定值而厚度为 0 的膜层, 评价函数对该层膜的厚度的梯度很可能小于 0 甚至远小于 0, 因此增加该层膜的厚度的话, 评价函数可进一步减小, 这就是 Needle 法进行膜系设计的基本思想。

在进行全内腔绿光 He-Ne 激光器的膜系设计时, 综合考虑了绿光高反片和输出片的设计和镀膜难度, 决定高反片不仅要实现对绿光波长 ( $\lambda =$

543.3 nm)的极高反射率,而且还要抑制除黄光( $\lambda=593.9\text{ nm}$ )以外的其他谱线。由于 $\lambda=3390\text{ nm}$ 的谱线增益极强(约为 $632.8\text{ nm}$ 谱线的 $10^3\sim 10^4$ 倍),因此输出片也要对它进行抑制。当然,输出片还要实现绿光波长一定输出功率要求下的透射率以及对黄光的抑制。整个膜系设计成败的关键就是看能否成功抑制除绿光以外的其他各条谱线,特别是 $\lambda=3390\text{ nm}$ 处的谱线。由于实际镀膜过程中不可能保证光谱曲线波形没有偏移,因此设计时在所关注的谱线波长处都应该给出一定的许可偏差量。下面分别给出绿光高反片和输出片的膜系设计结果和相应膜系的光谱性能。

### 2.1 绿光高反片

绿光高反片的设计目标为:入射角为 $0^\circ$ ,在 $\lambda=543.3\pm 20\text{ nm}$ 的波长范围内反射率 $R>99.99\%$ ;在 $\lambda=611.8\pm 10\text{ nm}$ 的波长范围内透射率 $T>10\%$ ;在 $\lambda=632.8\pm 10\text{ nm}$ 的波长范围内透射率 $T>40\%$ ;在 $\lambda=1150\pm 20\text{ nm}$ 的波长范围内透射率 $T>70\%$ ;在 $\lambda=3390\pm 60\text{ nm}$ 的波长范围内反射率 $R<1\%$ 。

设计得到的绿光高反片在 $400\sim 800\text{ nm}$ 波长范围内的光谱曲线如图1所示。

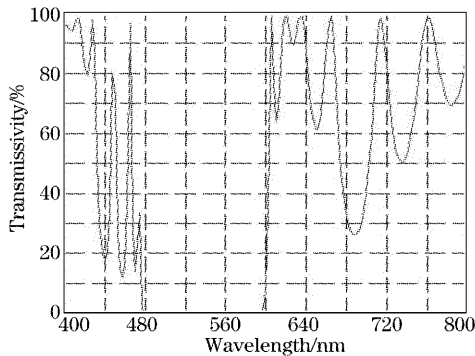


图1 400~800 nm范围内设计的反射片的光谱曲线  
Fig. 1 The spectrum curve of the designed reflector between 400~800 nm

膜系结构如下:

S/57.7H/114.2L/54.9H/85.2L/61.3H/70.2L/74.5H/64L/78.5H/89.5L/61.8H/102.7L/53.5H/115.3L/43.6H/100L/63.8H/79.7L/71.9H/70.5L/79.8H/78L/62.8H/100.6L/52.6H/109.6L/40.6H/111.5L/60H/85.4L/72.3H/80.4L/79.6H/72.1L/68.3H/97.3L/43.9H/100.2L/43.3H/115.3L/57.5H/A

膜系结构中:S表示基底, $n_s=1.457$ ,H表示高折射率, $n_H=2.125$ ,L表示低折射率, $n_L=1.46$ ,A为入射介质,数字表示膜层的几何厚度,单位为nm。

为了更加清楚地显示在各个关键谱线处的情形,下面将更加清晰地分别给出几个关键波长处的光谱曲线。

- 1)  $\lambda=543.3\pm 20\text{ nm}$ 的光谱曲线如图2所示;
- 2)  $\lambda=611.8\pm 10\text{ nm}$ 的光谱曲线如图3所示;
- 3)  $\lambda=632.8\pm 10\text{ nm}$ 的光谱曲线如图4所示;

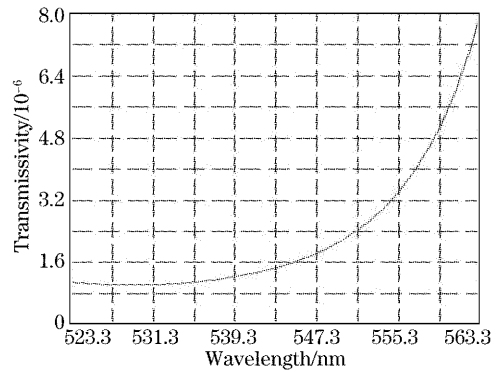


图2 523.3~563.3 nm区设计的反射片的光谱曲线  
Fig. 2 The spectrum curve of the designed reflector between 523.3~563.3 nm

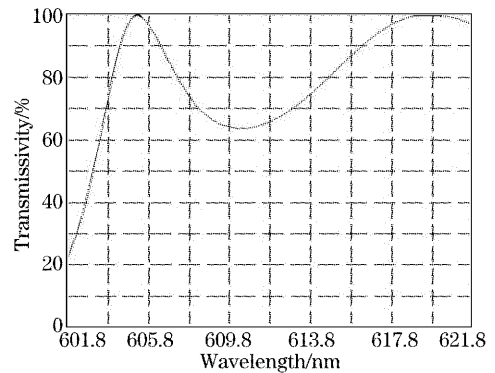


图3 601.8~621.8 nm区设计的反射片的光谱曲线  
Fig. 3 The spectrum curve of the designed reflector between 601.8~621.8 nm

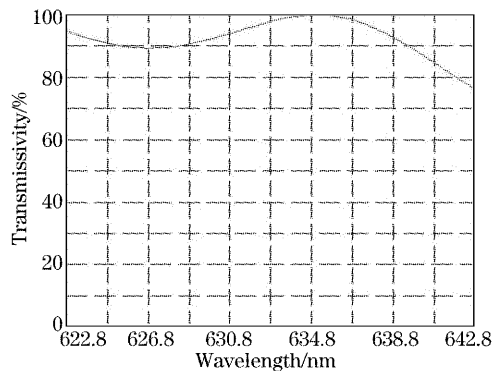


图4 622.8~642.8 nm区设计的反射片的光谱曲线  
Fig. 4 The spectrum curve of the designed reflector between 622.8~642.8 nm

- 4)  $\lambda=1150\pm 40$  nm 的光谱曲线如图 5 所示；
- 5)  $\lambda=3390\pm 60$  nm 的光谱曲线如图 6 所示。

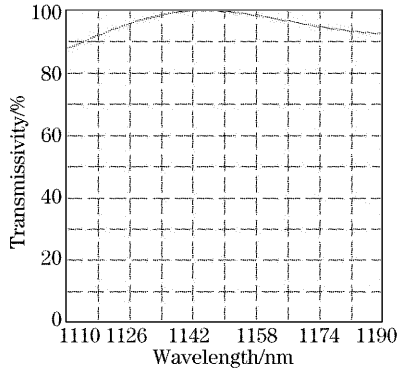


图 5 1110~1190 nm 区设计的反射片的光谱曲线  
Fig. 5 The spectrum curve of the designed reflector between 1110~1190 nm

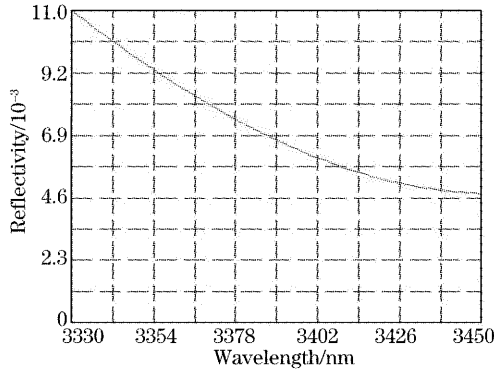


图 6 3330~3450 nm 区设计的反射片的光谱曲线  
Fig. 6 The spectrum curve of the designed reflector between 3330~3450 nm

### 2.2 绿光输出片

绿光输出片的设计目标为：入射角为  $0^\circ$ ，在  $\lambda=543.3\pm 5$  nm 的波长范围内透射率  $T=(0.13\pm 0.02)\%$ ；在  $\lambda=593.9\pm 10$  nm 的波长范围内透射率  $T>2\%$ ；在  $\lambda=3390\pm 60$  nm 的波长范围内反射率  $R<1\%$ 。

设计得到的绿光输出片在 400~800nm 波长范围内的光谱曲线如图 7 所示。

膜系结构如下：

S/63.2H/99.2L/74.4H/83.9L/80.3H/84.6L/73.7H/102.8L/56.9H/123.1L/41H/239.8L/74H/71.4L/85H/76.3L/77.6H/97L/62.3H/115.7L/55.4H/115.8L/62.6H/A

膜系结构中：S 表示基底， $n_s=1.457$ ，H 表示高折射率， $n_H=2.125$ ，L 表示低折射率， $n_L=1.46$ ，A 为入射介质，数字表示膜层的几何厚度，单位为 nm。

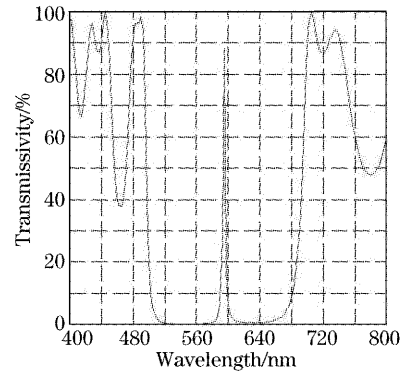


图 7 400~800 nm 区设计的输出片的光谱曲线  
Fig. 7 The spectrum curve of the designed output mirror between 400~800 nm

下面将更加清晰地分别给出几个关键波长处的光谱曲线。

- 1)  $\lambda=543.3\pm 20$  nm 的光谱曲线如图 8 所示；
- 2)  $\lambda=593.9\pm 10$  nm 的光谱曲线如图 9 所示；
- 3)  $\lambda=3390\pm 60$  nm 的光谱曲线如图 10 所示。

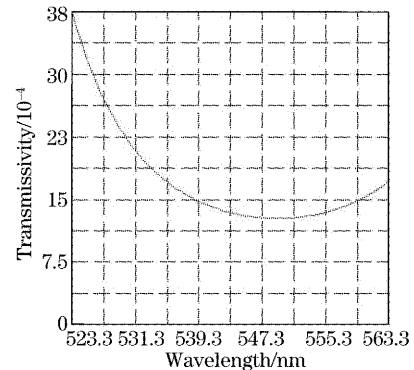


图 8 523.3~563.3 nm 区设计的输出片的光谱曲线  
Fig. 8 The spectrum curve of the designed output mirror between 523.3~563.3 nm

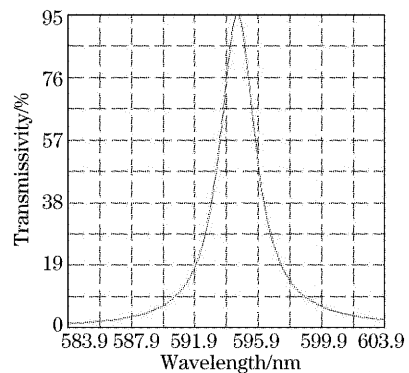


图 9 583.9~603.9 nm 区设计的输出片的光谱曲线  
Fig. 9 The spectrum curve of the designed output mirror between 583.9~603.9 nm

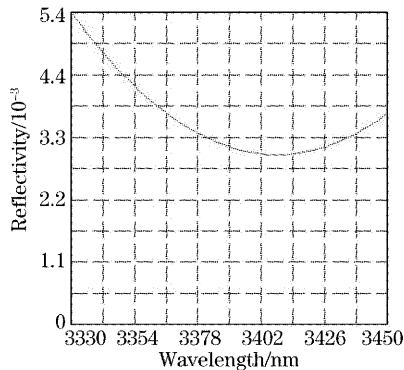


图 10 3330~3450 nm 区设计的输出片的光谱曲线  
Fig. 10 The spectrum curve of the designed output mirror between 3330~3450 nm

### 3 镀 膜

采用英国牛津仪器公司生产的 Ionfab 500 离子溅射镀膜机镀制了以上设计的绿光高反片和输出片,膜厚监控采用的是美国 Inficon 公司生产 XTC/C 晶振膜厚控制仪。绿光高反片和输出片的基片采用的是超光滑抛光的石英基片,用美国 DI 公司 Demension 3100SPM 原子力显微镜测量基片表面粗糙度(rms)均优于 0.1 nm。镀制过程中,为了增加膜片的均匀性,采用了自转加公转的行星转盘。膜片与基片的表面质量用暗场象衬显微镜检验。

根据上述膜系结构的设计参量,镀制了绿光高反膜和输出膜,并且用 UV-2101PC 型分光光度计在 400~800nm 波长范围内测量了膜片的光谱曲线,如图 11 和图 12 所示。由图可见,实际镀制的膜片光谱曲线与理论设计的光谱曲线吻合得相当好。

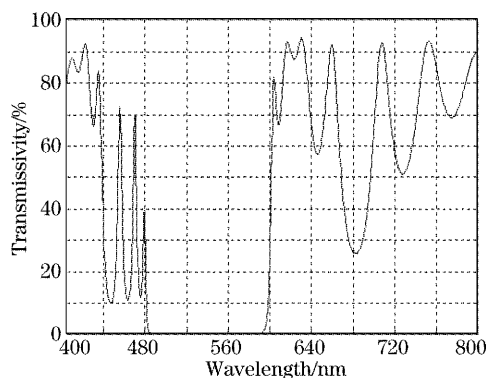


图 11 400~800 nm 区镀制的反射片的光谱曲线  
Fig. 11 The spectrum curve of the coated reflector between 400~800 nm

对于绿光高反片(见图 11),测量得到几个关注的波长点的透射率分别为: $\lambda=611.8$  nm 时,透射率  $T\approx 71\%$ ;  $\lambda=632.8$  nm 时,透射率  $T\approx 87\%$ ;从图

11 和图 1 的比较大致可以推断在  $\lambda=1150$  nm 和 3390 nm 都能满足设计要求。对于绿光输出片(见图 12),测量得到几个关注的波长点的透射率分别为: $\lambda=543.3$  nm 时,透射率  $T\approx 1.4\times 10^{-3}$ ;  $\lambda=593.9$  nm 时,透射率  $T\approx 37\%$ (从图 7 和图 12 可以看到,  $\lambda=593.9$  nm 正好位于尖峰的半腰上,这对于抑制黄光是非常有益的)。以上说明实际镀制的绿光高反片和输出片在所关注的波长点的光谱特性都能很好地满足设计要求。

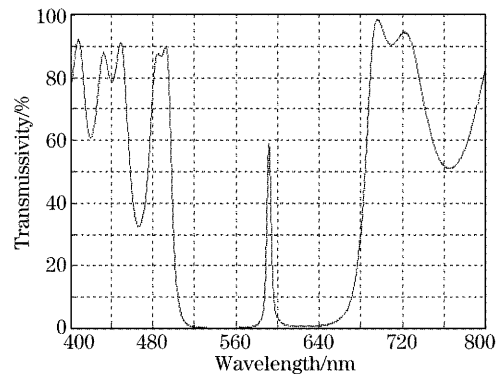


图 12 400~800 nm 区镀制的输出片的光谱曲线  
Fig. 12 The spectrum curve of the coated output mirror between 400~800 nm

### 4 制管与测量结果

谐振腔采用平凹腔,腔长 200 mm 以下的管子球面镜的曲率半径取 500 mm,腔长 240~420 mm 的管子球面镜的曲率半径取 1000 mm。管子经严格的化学超声清洗后,用独特的钢封技术封接。钢封具有简单、易调、污染少、应力小等诸多优点,并且在管子下台后还能做腔精度的微调。毛细管直径的选取要比衍射损耗决定的理论值稍大。管子充  $\text{He}^3:\text{Ne}^{20}=7:1$  气压比的混合气体,总气压随腔长的增加略微降低,一般取 240 Pa。最佳工作电流为 5~6 mA。具体工艺参量与管子输出光功率的测量结果见表 1。

表 1 测量的激光功率与工艺参数的关系

Table 1 Measured laser power versus technical parameters

Cavity length /mm	Capillary diameter /mm	Typical laser power /mW
420	2.3	3.0
360	2.1	2.0
240	1.6	1.0
100	1.2	0.1

## 5 结 论

采用 Needle 法对全内腔绿光 He-Ne 激光器膜系进行了重新设计,给出了各相关波长处的光谱曲线和高反输出的膜系结构。利用离子溅射镀膜技术镀制了所设计的绿光高反膜和输出膜,在 400~800 nm 波长范围内测量了膜片的光谱曲线。制备了多种规格的全内腔绿光 He-Ne 激光器,腔长 420 mm 的典型输出光功率为 3 mW(单模),腔长 360 mm 的典型输出光功率为 2 mW(单模),腔长 240 mm 的典型输出光功率为 1 mW(单模),腔长 100 mm 的小短管子也能有 0.1 mW 的出光功率。

## 参 考 文 献

- 1 Gao Bolong, Ding Jinxing, Long Xingwu *et al.*. Green (yellow, orange) He-Ne laser with internal cavity[J]. *Acta Optica Sinica*, 1995, **15**(12): 1617~1621 (in Chinese)  
高伯龙,丁金星,龙兴武等. 全内腔绿(黄、橙)光 He-Ne 激光器[J]. 光学学报, 1995, **15**(12): 1617~1621
- 2 Yang Kaiyong, Long Xingwu. Design of high-precision, large-angle, nonpolarization anti-reflection coatings [J]. *Chin. J. Lasers*, 2002, **A29**(8): 703~706 (in Chinese)  
杨开勇,龙兴武. 非偏振大角度高精度减反膜的设计[J]. 中国激光, 2002, **A29**(8): 703~706
- 3 Sh. A. Furman, A. V. Tikhonravov. *Basics of Optics of Multilayer Systems* [M]. Gif-sur-Yvette Cedex: Editions Frontières, 1992. 123~140