

文章编号:1005-5630(2004)02-0198-06

激光器使用的光学薄膜*

洪冬梅, 朱 震, 刘国喜
(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘要:介绍了近年来研制的激光器用光学薄膜元器件, 内容涉及二极管泵浦激光器使用的光学薄膜、光参量振荡激光器使用的光学薄膜以及激光美容仪使用的光学薄膜。

关键词:光学薄膜; 匹配层; 二极管泵浦激光器; 光参量振荡激光器; 激光美容仪

中图分类号:O484

文献标识码:A

Optical thin films for lasers

HONG Dong-mei, ZHU Zhen, LIU Guo-xi

(North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China)

Abstract: This paper described kinds of optical thin films for lasers. Optical thin films for diode pumped laser (DPL) lasers, for optical parameter oscillator (OPO) laser, and for medical lasers are included here.

Key words: optical thin film; matching layer; DPL laser; OPO laser; medical laser

1 二极管泵浦固体激光器(DPL)使用的光学薄膜

DPL 及激光应用是近年来发展的最富成果的研究之一。由于 DPL 的泵浦波长和输出波长不同, 泵浦

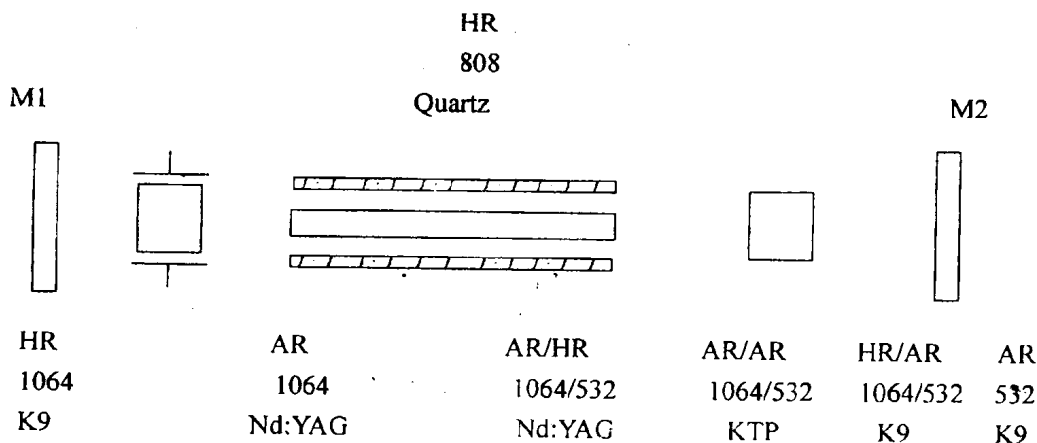


图 1 二极管泵浦倍频激光器使用的薄膜示意图

方式及使用的材料多种多样, 因此相应使用的薄膜多种多样。研究这方面薄膜工作将为 DPL 的发展提供

* 收稿日期: 2003-11-30

作者简介: 洪冬梅(1970-), 女, 湖北省襄樊市人, 高级工程师, 硕士, 主要从事光学薄膜工作。

强有力的保证。

图1是二极管侧面泵浦倍频激光器使用的薄膜示意图,该激光器是腔内倍频激光器,输出532nm的激光。

下面根据不同类型的膜系——单波长AR、双波长AR、短波通、长波通截止滤光片,分别进行讨论、设计和制备。

1.1 单波长增透膜

设计了在宽波长范围内剩余反射 $\leq 0.01\%$ 的增透膜。增透范围宽能避免基底材料带有一定曲率、测量误差等造成的测量光谱曲线与实际使用曲线不吻合的缺点,并提高制备重复性,设计曲线见图2。实际镀制剩余反射率 $R_{1.064\sim 1.1} \leq 0.04\%$ 。

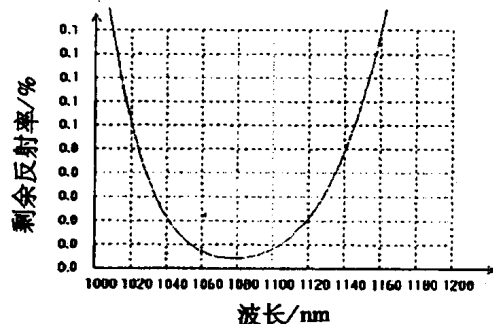


图2 镀于K9玻璃上的单点增透膜设计曲线

1.2 双波长增透膜

图3显示了镀于KTP晶体上的倍频增透膜设计曲线。由于 Al_2O_3 材料性能不稳定,选用 ZrO_2 、 SiO_2 作镀膜材料。设计膜系时考虑了由于两个使用波长相距较远带来的镀膜材料的色散问题。由曲线中可以看出在倍频波长处宽阔的增透带有利于该膜系的制备,解决了传统膜系中两增透波长处增透带窄而尖锐所带来的镀制重复性问题。实际镀制剩余反射率 $R_{1.064} \leq 0.2\%$, $R_{532} \leq 0.5\%$ 。

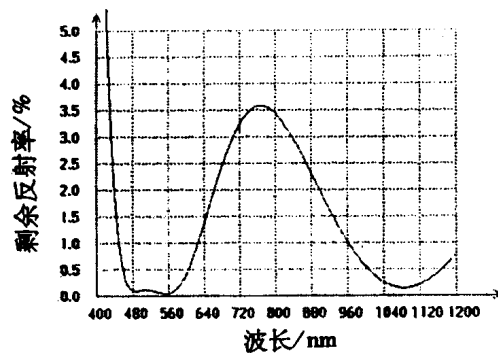


图3 镀于KTP晶体上的倍频增透膜设计曲线

1.3 截止滤光片

1.3.1 短波通截止滤光片

图4显示了镀于K9玻璃上的 $1.064\mu\text{mHR}$ 、 532nmAR 的设计曲线。利用有效的设计对称膜系匹配层的方法^[1~3],对于532nm设计了三层对称匹配膜层:

$$G/(0.5LH0.5L)^{15} (0.47L0.59H0.47L)/\text{Air}$$

仍旧采用 ZrO_2 、 SiO_2 作高低折射率材料。该膜系的制备难度在于半波孔效应,但由于在理论设计上并不存在这一效应,它是由于镀膜材料的折射率的非均匀性和色散及镀膜过程中膜厚控制误差积累造成的。镀制结果 $R_{1.064} \geq 99.5\%$ $R_{532} \leq 5\%$ 。

图5显示了镀于Nd:YAG上的 $1.064\mu\text{mHR}$ 、 808nmAR 的设计曲线。对于808nm在基本膜堆与基底之间设计添加了三层对称匹配膜层: $G/(0.4017L1.4762H0.4017L)(0.5LH0.5L)^{15}/\text{Air}$

镀制结果 $R_{1.064} \geq 99.5\%$ $R_{808} \leq 0.5\%$

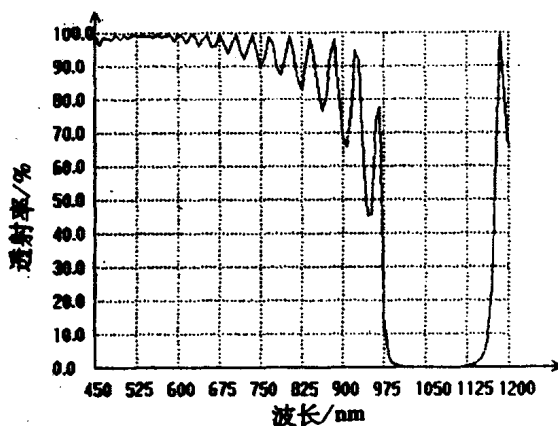


图 4 镀于 K9 玻璃上的 1.064μmHR、532nmAR 设计曲线

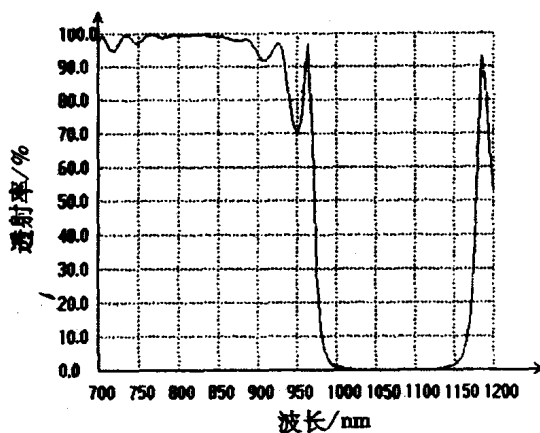


图 5 镀于 Nd:YAG 晶体上的 1.064μmHR、808nmAR 设计曲线

1.3.2 长波通截止滤光片

图 6 是镀于 Nd:YAG 上的 532nmHR、1.064μmAR 的设计曲线。对于 1064nm 在基本膜堆的两侧设计添加了匹配层,并用计算机对该初始结构进行优化。采用 ZrO_2 、 SiO_2 作高低折射率材料。镀制结果 $R_{1.064} \leq 0.5\%$ $R_{532} \geq 99.5\%$ 。

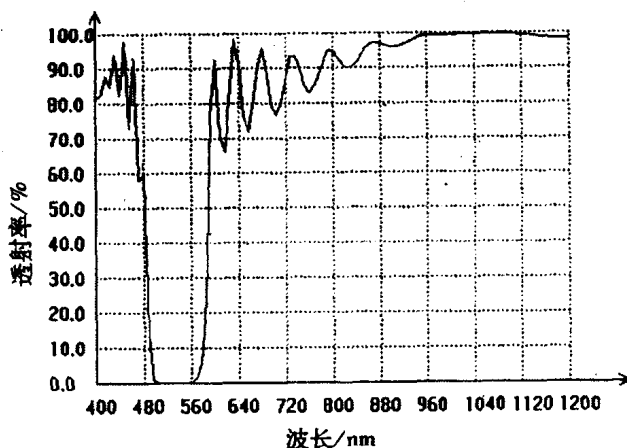


图 6 镀于 Nd:YAG 晶体上的 532nmHR、1.064μmAR 的设计曲线

2 DPL 激光器使用的特殊膜系

2.1 工作波长为 946nm 的 DPL 的薄膜

由于 946nm 的激光振荡难度比实现 1064nm 的激光振荡难度大,因此该种激光器中的谐振腔镜要求

薄膜同时对 808nm 的泵浦光和 1064nm 激光高透, 对 946nm 的激光高反。采用调谐比高的膜系结构实现上述要求。设计曲线见图 7。实际镀制结果: $R_{946} \geq 99.5\%$, $T_{808} \geq 90\%$, $T_{1064} \geq 80\%$ 。

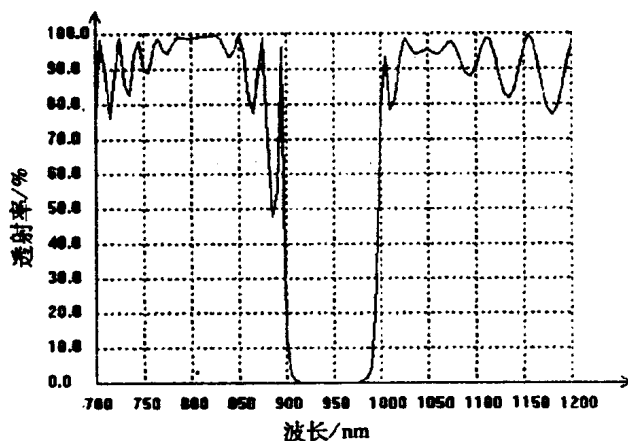


图7 工作波长为 946nm 的 DPL 的薄膜

2.2 单块非平面单向环形腔的薄膜

国际上单块非平面单向环形腔单频固体激光器最早由 KANE 等人提出, 并在 ND:YAG 单块晶体中实现了 1064nm 的单频激光振荡。由于 1319nm 谱线与 1064nm 谱线相比其发射截面小得多, 故实现 1319nm 的激光振荡难度比实现 1064nm 的激光振荡难度更大。为了获得 1319nm 的激光振荡, 必须抑制 ND:YAG 晶体中最强的 1064nm 谱线和 1319nm 附近的 1338nm 谱线的振荡。要求该薄膜对 808nm 的泵浦光和 1064nm 激光高透, 对 1319nm 的 s 光和 p 光的反射率分别为 98% 和 85%, 并使 1338nm 谱线的透射率比 1319nm 的透射率高, 以保证 1339nm 的激光振荡。设计曲线如图 8。镀制结果与要求吻合好, 使用了该薄膜的激光器获得了 1319nm 单频激光输出, 最大输出功率为 99MW, 激光器斜效率为 29%。

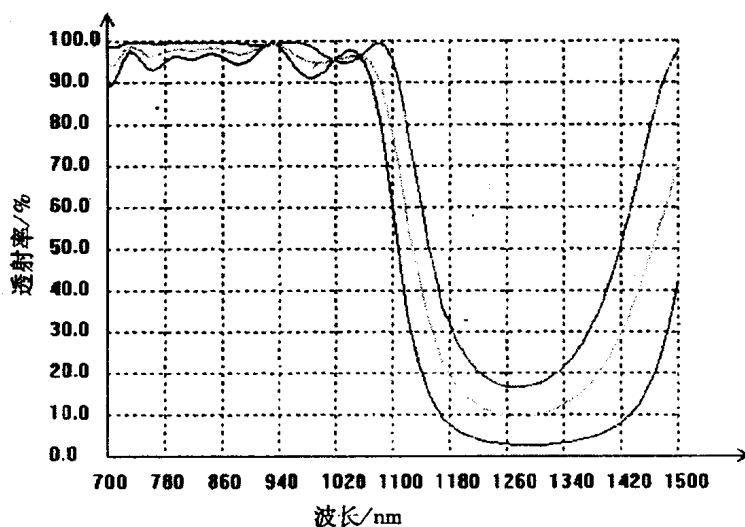


图8 单块非平面单向环形腔的薄膜设计曲线

3 1.57μm 光参量振荡激光器中的薄膜

目前技术上最成熟的是 Nd:YAG 的 1.06μm 激光技术, 但 1.06μm 波长对人眼极不安全。研究表明, 当激光波长大于 1.4μm 时, 对人眼是安全的。激光辐射处于 1.5μm~1.8μm 的大气窗口, 对烟雾的穿透能力强。1.6μm 的激光辐射也是在沿海环境下的最佳波长, 因此将有广泛的应用。

利用光参量振荡(OPO)可以通过非线性晶体的非线性效应, 用 1.06μm 的泵浦激光产生 1.57μm 的激光。OPO 具有可以高重复频率工作, 容易获得较大输出能量等优点。以下介绍 1.57μm 光参量振荡激光器中的典型薄膜。

3.1 输入镜(要求薄膜对 $1.57\mu\text{m}$ 高反射、 $1.06\mu\text{m}$ 高透射)

设计曲线见图 9。实际镀制结果: $R_{1.57} \geq 99.5\%$, $R_{1.06} \leq 0.5\%$

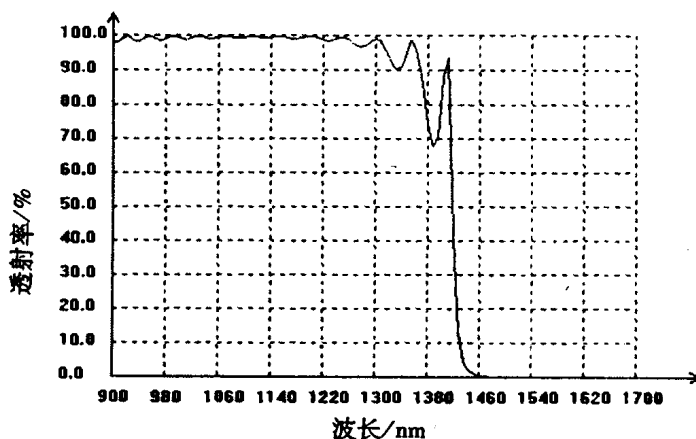


图 9 镀于 K9 玻璃上的 $1.57\mu\text{m}$ 高反射、 $1.06\mu\text{m}$ 高透膜

3.2 反射镜(要求薄膜对 $1.57\mu\text{m}$ 和 $1.06\mu\text{m}$ 高反射)

实际镀制结果: $R_{1.57} \geq 99.5\%$, $R_{1.06} \geq 99.5\%$

3.3 输出镜(要求薄膜对 $1.06\mu\text{m}$ 高反射, $1.57\mu\text{m}$ 部分透过)

设计曲线见图 10。实际镀制结果: $R_{1.06} \geq 99.5\%$, $T_{1.57} = 80\% \pm 2\%$

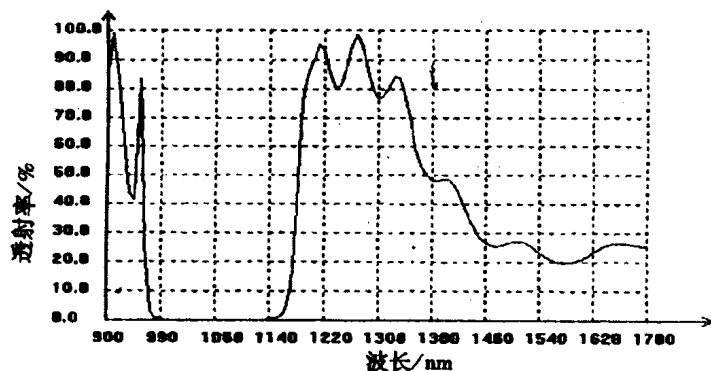


图 10 镀于 K9 玻璃上的输出镜

4 激光美容仪使用的薄膜

随着物质生活水平的提高,人们对美的追求日益强烈,激光美容仪得到广泛使用。目前生产了其使用的一种薄膜。设计曲线如图 11。实际镀制结果: $R_{<560} \geq 99.5\%$, $T_{570 \sim 1200} \geq 95\%$ 。

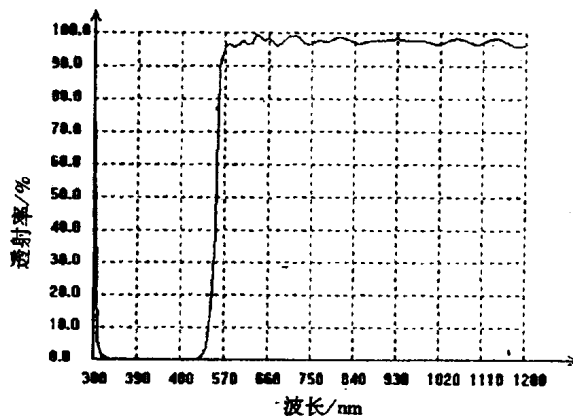


图 11 激光美容仪使用的薄膜

以上薄膜在具有冷凝泵系统和行星转动装置的美国 EDDY 设备上镀制的。采用电子枪蒸发材料。采取石英晶体膜厚控制仪 STC—200 控制蒸发速率和膜厚。 ZrO_2 蒸发速率为 0.4nm/s , SiO_2 为 0.8nm/s 。

5 高强度光学薄膜技术进展

高强度光学薄膜的主要特性是:(1)高的抗激光强度,即高抗激光损伤阈值;(2)低的光损耗,即 $1-R-T$ 非常小。采取了主要关键技术及技术途径如下:

(1) 采用超光滑表面磨抛技术,设计制作了一台浸液抛光装置,改善基底表面粗糙度。

(2) 利用离子源对基底表面进行离子清洗,有助于增加膜与基底的附着力,有助于去除基底表面的杂质。

(3) 在膜系设计中传统的分析方法基础上,利用计算机膜系设计优化软件,设计出损耗低、利于制备、激光损伤阈值(LDT)高的膜系。

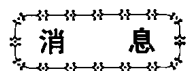
(4) 采用激光预处理技术,能够使薄膜元件的 LDT 值大幅度提高。

(5) 采用吸收测量方法,指导各项工艺研究。

薄膜抗激光损伤阈值 $\geq 1.5\text{GW/cm}^2$, (激光波长为 $1.064\mu\text{m}$, 激光脉宽 $\sim 10\text{ns}$, 1 对 1 测试)。

6 参考文献

- [1] Andreea D, Mihai E T, Voicu L. Dichroic mirror for diode pumped Nd:YAG laser[J]. SPIE, 1996, 2776: 262~270.
- [2] Niederwald H, Greve P, Eichinger R. Dielectric coatings for diode pumped solid state laser devices[J]. SPIE, 1989, 1125: 76~84.
- [3] 洪冬梅, 朱 震. 二极管泵浦固体激光器使用的光学薄膜[J]. 激光与红外. 1999, 29(6): 372~374.



超硬人造金刚石

美国华盛顿特区卡内基研究所的科学家不久前利用氢和甲烷气研制成功超硬人造金刚石,其硬度甚至超过天然金刚石。

该研究所的科学家是利用高生长率的化学气相沉积法来生长金刚石晶体。在一个小室中,用带电粒子或等离子体轰击氢气和甲烷,在 2000°C 和 5 万至 7 万倍每平面大气压条件下,经 10min 高温、高压处理,使其变得更硬。他们发现这种超硬人造金刚石至少比天然金刚石硬 50%。卡内基研究所的海姆利说:这是一种全新的生产金刚石晶体的方法,其用途十分广泛,比如可应用于下一代金刚石的电子学器件和切削工具等。

(摘自《科技日报》)