

增视器材的激光防护膜^{*}

叶天水 王任贵

(华侨大学电气技术系, 泉州 362011)

摘要 介绍一种性能优良的1.06 μm 和0.53 μm 双波段防激光高反射膜的膜系设计. 讨论其色度特性, 探讨稳定工艺参数的制备要点. 最后给出实验结果及稳定性和耐久性试验结果.
关键词 光学薄膜, 激光防护, 增视器材
分类号 O 484.41

有时激光的功率(或能量)还不足以使裸眼致盲,但由于增视器材的放大作用(辐照度是其放大倍数的平方倍),可能对使用增视器材的人员眼睛安全构成威胁. 本文讨论激光为Nd:YAG倍频激光,其波长为1060 nm+530 nm. 因此有必要研制一种1060 nm+530 nm波长的激光防护膜,该膜系既要能绝对可靠保证人眼安全,又要使增视器材的观测性能不受太大影响.

1 膜系设计

高反膜常采用(LHL)ⁿ的结构, n 为层数,可为1,2,3....但这种结构易在反射带两侧产生很多次峰.为了消除这些次峰,必须在膜系两侧加上匹配层,使可见光区的通带区域的光学导纳和基板很好匹配.我们设计了59层的膜系结构,其入射介质为空气,膜系的视场角为7°;基片为K₉(表1).表1中 m 为层序, n 为折射率, δ 为厚度.

表1 膜系结构

m	n	δ/nm	m	n	δ/nm
1	1.460 0	143.80	12	1.975 0	173.30
2	1.975 0	282.60	13	1.460 0	356.30
3	1.460 0	324.50	14	1.975 0	178.00
4	1.975 0	222.50	15	1.460 0	356.00
5	1.460 0	300.40	16	1.975 0	178.00
6	1.975 0	203.10	17	1.460 0	356.00
7	1.460 0	329.40	18	1.975 0	178.00
8	1.975 0	197.20	19	1.460 0	356.00
9	1.460 0	337.10	20	1.975 0	178.00
10	1.975 0	177.00	21	1.460 0	356.00
11	1.460 0	354.10	22	1.975 0	178.00

^{*} 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net
* 本文1997-03-10收到;中国人民解放军总参兵种部科研基金资助项目

续表1

<i>m</i>	<i>n</i>	δ/nm	<i>m</i>	<i>n</i>	δ/nm
23	1.460 0	356.00	42	1.975 0	178.00
24	1.975 0	178.00	43	1.460 0	346.00
25	1.460 0	356.00	44	1.975 0	174.70
26	1.975 0	178.00	45	1.460 0	358.00
27	1.460 0	356.00	46	1.975 0	173.50
28	1.975 0	178.00	47	1.460 0	359.20
29	1.460 0	356.00	48	1.975 0	174.80
30	1.975 0	178.00	49	1.460 0	360.30
31	1.460 0	356.00	50	1.975 0	175.10
32	1.975 0	178.00	51	1.460 0	357.80
33	1.460 0	356.00	52	1.975 0	173.80
34	1.975 0	178.00	53	1.460 0	353.80
35	1.460 0	356.00	54	1.975 0	174.70
36	1.975 0	178.00	55	1.460 0	344.00
37	1.460 0	356.00	56	1.975 0	190.80
38	1.975 0	178.00	57	1.460 0	329.00
39	1.460 0	356.00	58	1.975 0	203.60
40	1.975 0	178.00	59	1.460 0	360.50
41	1.460 0	356.00			

采用上述设计能得到非常优良的光谱反射率. 在入射角为10°的情况下, 透射率小于 10^{-6} 的反射带宽于 $\lambda=532\text{ nm}$ 处大于10 nm, 而在 $\lambda=1\,064\text{ nm}$ 处则大于60 nm. 同时, 透射带的次峰抑制得很好, 结果如表2所示.

表2 光谱反射率 ρ (入射角10°)

λ/nm	ρ	λ/nm	ρ
400.0	0.090 910	560.0	0.282 207
410.0	0.053 750	570.0	0.140 950
420.0	0.008 402	580.0	0.028 176
430.0	0.006 072	590.0	0.060 207
440.0	0.013 980	600.0	0.078 380
450.0	0.004 692	610.0	0.048 221
460.0	0.007 385	620.0	0.024 058
470.0	0.000 394	630.0	0.021 279
480.0	0.032 063	640.0	0.011 211
490.0	0.023 807	650.0	0.024 145
500.0	0.401 322	660.0	0.016 664
510.0	0.557 962	670.0	0.013 029
520.0	0.999 983	680.0	0.019 665
530.0	0.999 998	690.0	0.013 288
540.0	0.999 993	700.0	0.049 534
550.0	0.999 542	710.0	0.002 229

续表2

λ/nm	ρ	λ/nm	ρ
750.0	0.004 424	1 050.0	0.999 999
790.0	0.002 466	1 070.0	0.999 999
830.0	0.033 764	1 090.0	0.999 998
870.0	0.282 016	1 100.0	0.999 992
910.0	0.003 422	1 130.0	0.999 929
950.0	0.096 004	1 150.0	0.996 651
990.0	0.999 991	1 170.0	0.704 974
1 030.0	0.999 998	1 190.0	0.416 148

2 色度特性

由于这种反射膜反射掉波长 $\lambda=532\text{ nm}$ 附近的可见光部分, 因而使得增视器材的观察对象带上色彩. 经色度计算表明, 视场中心的视感透过率为57%, 色坐标为 $x=0.311, y=0.238$, 在孟塞尔新标系统(Munsel Renotion System), 查出颜色样品为2.5RP 8/14^[1]. 这是一种明度值为8, 饱和度为14的紫红色, 且紫多红少. 计算表明, 20°视场的色坐标为 $x=0.321, y=0.21$, 这说明边缘视场偏紫. 在增视器材的全视场内色度比较均匀一致, 这对于望远系统视场为20°已属很大.

对于反射光, 视感反射率为43%, 色坐标为 $x=0.168\ 8, y=0.655$, 在孟塞尔新标系统中相当于2.5G 7/26的样品. 它即明度值为7, 饱和度为26的纯绿色. 因此, 它容易在激光侦察中暴露目标, 所以这种防护镜在军事上使用时必须进行隐蔽性设计^[1].

3 镀膜工艺

我们选用 ZrO_2 和 SiO_2 这两种膜料. 一般说来, 59层的 $\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2$ 薄膜是比较难镀的. 通常镀到30层左右时, 就会因应力太大而产生不同程序的裂纹^[1]. 如果采用等离子体辅助镀(Plasma-AD), 就可消除应力影响并提高折射率及稳定性. 我们采用下列四种办法.

- (1) 基片温度控制在300~350 °C范围, 以便获得较高的迁移率和较高的填充密度.
- (2) 蒸发速率控制在 $\text{ZrO}_2=0.5\sim0.7\text{ nm s}^{-1}$, $\text{SiO}_2=0.8\sim1.0\text{ nm s}^{-1}$.
- (3) 真空度控制在 $5\times10^{-2}\sim8\times10^{-2}\text{ Pa}$, 并采用液氮冷阱.
- (4) 用BAK 600全自动真空镀膜机编程自动沉积, 并设置真空冷却程序; 1h后冷却到50 °C, 充氮取件.

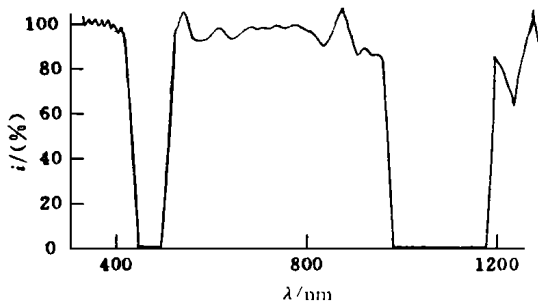
4 试验结果与讨论

用日产 UV 360分光光度计测量透过率如附图所示. 测量时入射角为0°
用加视感滤光片校正的硒光电池接受的积分球测量视感透过率, 测得视感透射率大于53%. 最高达57%.

用自制的激光光密度仪测量激光光密度值, 测得 $\lambda=532\text{ nm}$ 的光密度值 $D(\lambda)$ 为 $5\pm0.1, \lambda$

= 1 060 nm 的光密度值为 5.5 ± 0.1 。该光密度仪经中国计量科学院鉴定过, 其测量范围当 $\lambda = 530 \text{ nm}$ 为 $0 \sim 5$, 1 060 nm 时为 $0 \sim 7$; 测量精度优于 10%, 线性度优于 10%, 重复性优于 10%。

按 MIL-48497 标准对薄膜进行高温、低温等温度冲击, 以及湿热、化学溶液、摩擦、胶带纸撕拉等方面试验, 证实膜层都经得住全部试验。



附图 透射光谱

参 考 文 献

- 1 荆其诚, 焦出兰, 喻柏林等. 色度学. 北京: 科学出版社, 1979. 68 ~ 130
- 2 孙万林. 战场激光的威胁与防护. 现代军事(试刊), 1990, (4): 42 ~ 44
- 3 林永昌, 卢维强. 光学薄膜原理. 北京: 国防工业出版社, 1990. 262 ~ 266

Laser Protective Film for the Use of Optical Magnifier

Ye Tianshui Wang Rengui

(Dept. of Electric Technique, Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract In relation to the structural design of a $1.06 \mu\text{m} + 0.53 \mu\text{m}$ double-band laser protective film, the authors discuss its chrominance characteristic and main points of preparing stable technological parameters. The experimental results and results of stability test and endurance test are given at last.

Keywords optical film, laser protection, optical magnifier