

复合型多波段激光防护 PC 材料

黄 强¹, 蒋海滨², 李名琦², 王丽熙¹, 张其士¹

(1. 南京工业大学材料科学与工程学院, 江苏 南京 210009; 2. 航宇救生装备有限公司, 湖北 襄樊 441002)

摘 要:以聚碳酸酯(PC)为基体材料,加入自制的激光吸收剂 VI530 和 IR1060,并在基材表面镀上多层激光反射膜,制备出了能够同时对紫外光区、可见光区和红外光区的多个波长激光起到有效防护作用的激光防护 PC 材料。研究表明,在 PC 材料中加入质量分数为 0.01% 的 VI530 和 0.05% 的 IR1060,并在 PC 材料表面镀 23 层激光反射膜后,所制得的激光防护材料对多个波长的激光都具有很好的防护性能。在 355nm, 532nm, 1064nm 等多个波长处的透过率都低于 0.01% (光学密度 $D > 4$)。可见光区的白光平均透过率为 13.7%, 抗冲击强度为 53.3kJ/m², 抗弯强度为 118MPa。是一种高性能的激光防护材料。

关键词:激光防护; 多层反射膜; 透过率; 聚碳酸酯

中图分类号:TN249

文献标识码:A

Complex Multi-wavelength Laser Protective PC Material

HUANG Qiang¹, JIANG Hai-bin², LI Ming-qi², WANG Li-xi¹, ZHANG Qi-tu¹

(1. College of Materials Science and Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China;

2. Aerospace Life-support Industries Ltd, Xiangfan 441002, China)

Abstract: The laser protective material was prepared by using PC as substrate, laser absorption VI530 and IR1060 as function additives, plated multi-layer reflective coatings on its surface, which could protect effectively from multi-wavelength laser. As a result, after adding 0.01% (mass percent) VI530 and 0.05% (mass percent) IR1060 into PC, and plating 23-layer reflective coatings on the surface of PC, the laser protection ability of the laser protective material was very well. The transmittance of the laser protective PC material was lower than 0.01% at the wavelength of 355nm, 532nm, 1064nm and so on, the optical density $D > 4$. At the mean time, the average transmission ratio of visible light was 13.7%, the impact strength of the material was 53.3kJ/m², and the bending strength was 118MPa. All the results were attained that the material was a very well laser protective material.

Key words: laser protection; multi-layer reflect coating; transmittance; PC

1 引 言

由于激光具有单色性好、干涉性好、亮度和方向性高的特点,各种激光器在军事装备和各民用领域得到了广泛的应用和发展。军事上激光致盲武器的应用,对战场军事人员和光电传感器的威胁日益严重^[1-4]。激光是一种很强的光辐射,不同波长的激光会对人眼的不同部位有所损伤^[5-7]:近紫外激光透过角膜损伤晶状体,可见光区的激光会伤害视网膜,近红外激光引起眼底和眼介质的损伤,而远红外和远紫外激光会引起角膜的损伤。目前军事装备中

常用的激光器有 Nd:YAG 激光器(发射波长为 1064nm)、倍频的 Nd:YAG 激光器(发射波长为 532nm)甚至是三倍频 Nd:YAG 激光器(发射波长为 355nm)^[8-10]。因此,研制一种能有效防护多个波长激光的防护材料日益紧迫。本文以 PC 作为基体材料,同时结合吸收和反射的原理,研制出了一种能够

作者简介:黄 强(1982-),男,硕士研究生,现主要从事功能材料的研究。E-mail:johnson-1120@hotmail.com

收稿日期:2007-10-25

对紫外光-可见光-红外光区多个波长激光起到防护作用的复合型的激光防护材料。

2 实验

2.1 原材料及仪器设备

PC 材料:镜片级 3208 型,德国拜耳公司;

激光吸收剂:VI530、IR1060,自制;

注塑机:CJ80M3V 型,震德塑料机械厂有限公司;

镀膜机:ZSS-800 型,成都现代南光真空设备有限公司;

V 棱镜折射仪:MYV-V 型,上海光学仪器厂;

分光光度计:UN-3101PC 型,日本岛津公司;

CXZ 杂散光测试仪:JCY-3002 型,国家光学仪器质量监督检验中心;

简支梁冲击试验机:XJJ-50 型,承德市试验机厂;

电子万能材料试验机:CMT5254 型,深圳新三思公司。

2.2 激光防护 PC 材料的制备

将自制的激光吸收剂 VI530 和 IR1060 按一定比例添加到 PC 材料中,混合均匀后,在 120℃ 下干燥 8h,脱去 PC 料中所含的水分。采用注射成型的工艺方法制备激光防护 PC 材料。注射成型的温度控制在 270~280℃。然后根据设计,在所制得的镜片表面镀上特定结构的多层反射膜,制得多波段激光防护 PC 材料。

2.3 激光防护 PC 材料的性能测试

对所制得的多波段激光防护 PC 材料在 200~1400nm 的波长范围内的透过率进行测试,得到透射光谱。在 400~800nm 波长范围内的可见光白光透过率进行测量。抗冲击强度采用 GB/T1043-1993 作为测试标准,抗弯强度采用 GB1042-79 作为测试标准,试样尺寸均为 120mm×15mm×10mm。

3 结果和讨论

3.1 激光防护材料吸收剂的选择和含量的确定

PC 材料具有很好力学性能和较高的可见光透过率,并且对紫外光的透过率很低。因此选择 PC 作为基体材料。空白 PC 镜片的透射光谱如图 1 所示,在可见光区的透过率都高于 80%,最高透过率超过了 90%,但紫外光区的透过率很低,200~300nm 波长的紫外光几乎全部被吸收。VI530 和 IR1060 的透射光谱分别如图 2、3 所示,由图中可以看出,VI530 在 500~550nm 波长范围有一个吸收带,在可见光和红外光区有较高的透过率。IR1060

在 900~1200nm 波长范围有一个很宽的吸收带,同时,在 200~400nm 波长范围也有一个强吸收带,而波长在 400~800nm 的可见光范围内有一定的透过率。

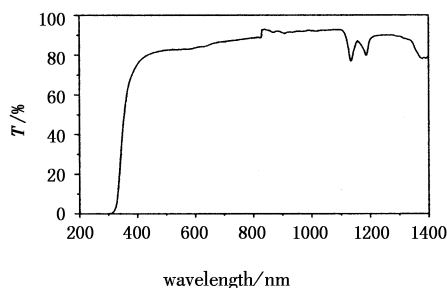


图1 空白 PC 镜片的透射光谱

Fig. 1 transmittance spectra of PC

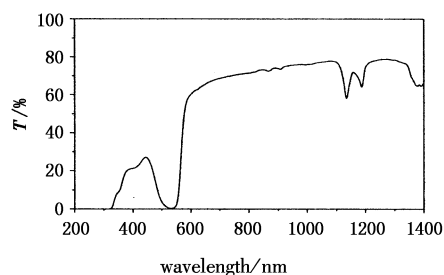


图2 VI530 的透射光谱

Fig. 2 transmittance spectra of VI530

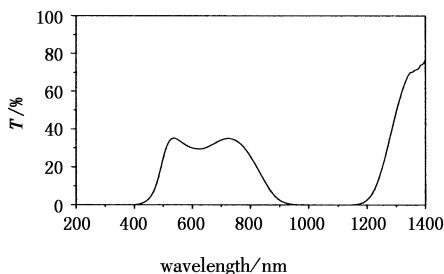


图3 IR1060 的透射光谱

Fig. 3 transmittance spectra of IR1060

根据添加了激光吸收剂 VI530 和 IR1060 后 PC 材料的吸收光谱曲线的测定分析,确定激光吸收剂在 PC 材料中的加入量。采用 VI530 的质量分数为 0.01%,IR1060 的质量分数为 0.05%。通过注射成型得到激光防护镜片,厚度为 2.5mm。其透射光谱如图 4 所示,在 200~450nm 和 900~1200nm 波长范围有两个强吸收带,同时在 532nm 处也有适当的吸收(由于随着 VI530 添加量的增加,吸收峰变宽,使镜片偏红,影响使用舒适度,因此未做大剂量的添加)。在紫外波段和红外波段存在两个很宽的吸收带。但对可见光段的 532nm 波长的透过率未达到要求,需要通过镀制激光防护多层反射膜,来起到防护作用。

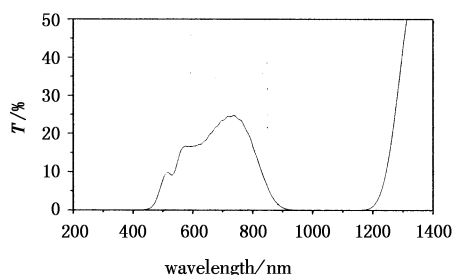


图4 吸收型激光防护材料的透射光谱

Fig.4 transmittance spectra of the absorbent laser material

3.2 激光防护多层反射膜的设计

由于高低折射率的差值越大,高反射带的宽度越宽,而在 532nm 附近反射带过宽会使过多的绿光反射,从而导致镜片颜色过红,影响观察效果。因此应所选取的膜层材料的折射率不应相差太大。本实验采用 ZrO_2 (折射率为 2.05) 和 SiO_2 (折射率为 1.46) 作为膜层材料,以镜片级 PC 材料(测定折射率为 1.59)为基体材料,设计了 23 层反射膜。根据设计,在空白的 PC 材料表面镀上反射膜,来研究多层反射膜的反射作用。图 5 是在空白 PC 材料表面镀上 23 层反射膜后的透射率光谱曲线。由图可见,在 532nm 波长处的透过率很低,此波长处有很强的反射效果,且反射带较窄。同时在 1064nm 波长附近也存在一定强度的反射带。说明可以通过在 PC 材料表面镀 23 层反射膜可以对 532nm 波长的激光起到防护作用,同时增强对 1064nm 波长激光的防护作用。

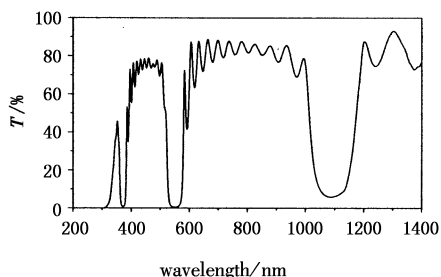


图5 镀膜后的空白 PC 材料透射率光谱图

Fig.5 transmittance spectra of the PC

3.3 多波段激光防护材料的光学性能

在镜片级 PC 中加入质量分数为 0.01% 的 VI530 和质量分数为 0.05% 的 IR1060,混合均匀后通过注射成型制备成吸收型激光防护 PC 材料,厚度为 2.5mm。再以 ZrO_2 和 SiO_2 作为膜层材料,在制得的吸收型激光防护 PC 材料表面镀上 23 层反射膜。制备出能够同时对多个波段激光起到防护作用的多波段激光防护 PC 材料。利用岛津(Shimadzu)UV-2101PC 型紫外可见近红外分光光度计对激光防护 PC 材料在 200~1400nm 的波长范围内进

行透射光谱测试,其透射光谱如图 6 所示。对不同激光的防护效果如表 1 所示,表中各激光波长处的光密度都大于 4,完全满足防护要求。同时利用国家光学仪器质量监督检验中心的 CXZ 杂散光测试仪(JCY-3002)对所制得的多波段激光防护 PC 材料在可见光区的白光透过率进行了测试,平均透过率达到了 13.7%,能够满足使用要求。

表 1 激光防护材料对各种激光的防护效果

Tab.1 the protective effect against different types of lasers

laser type	wavelength/nm	T/%	D
Far UV	200 ~ 300	< 0.01	> 4
XeCl	308	0.003	4.52
N ₂	337	0.002	4.70
Nd:YAG(triple frequency)	355	0.002	4.70
Ar	364	0.003	4.52
Krypton	416	0.005	4.30
Nd:YAG(double frequency)	532	0.007	4.15
InGaAs	980	0.002	4.70
Nd:YAG	1064	0.006	4.22
Nd:YAP	1080	0.006	4.22
Tm	1110	0.006	4.22

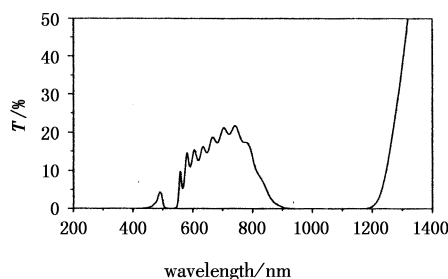


图6 激光防护 PC 材料透过率光谱图

Fig.6 transmittance spectra of the laser protective PC material

3.3 多波段激光防护材料的力学性能

用于军事人员激光防护装置主要是激光防护面罩和护目镜,因此对防护材料的力学性能也有较高的要求,主要是材料抗冲击性能和弯曲性能。本实验中的抗冲击性能采用 GB/T1043-1993 作为测试标准,PC 试样尺寸为 120mm×15mm×10mm,利用 XJJ-50 型简支梁冲击实验机进行试验,测试结果为 53.3kJ/m²。弯曲性能采用 GB1042-79 作为测试标准,PC 试样尺寸为 120mm×15mm×10mm,用 CMT5254 型电子万能材料试验机对材料进行测试,测试结果为 118MPa。结果表明,所制得的多波段激光防护材料有优良的力学性能,是一种高强度的防护材料。

(下转第 436 页)

4 结 论

采用自行研制的 VCSELs, 获得较高的峰值输出功率。口径为 $400\mu\text{m}$ VCSELs 在重复频率为 1kHz , 脉冲宽度为 60ns , 峰值驱动电流为 73.6A 时, 获得峰值光功率 15.5W , 光功率密度 $12.3\text{kW}/\text{cm}^2$; 口径为 $600\mu\text{m}$ VCSELs 在重复频率为 1kHz , 脉冲宽度为 60ns , 峰值驱动电流为 90A 时, 获得峰值光功率 27.2W , 光功率密度 $9.6\text{kW}/\text{cm}^2$ 。除了可以达到很高的峰值功率以外, $600\mu\text{m}$ VCSELs 的峰值波长为 976.6nm , 器件的光谱半高宽 (FWHM) 为 0.9nm 。同时, 相对连续工作时, 在纳秒脉冲下运行时, 器件的波长红移速率较缓, 内部温升较慢, 更容易加大注入电流, 有助于提高光输出功率。

参考文献:

- [1] 伊贺建一, 小山二山夫. 面发射激光器的基础与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2002, 7.
- [2] Sun Yanfang, Jin Zhenhua, et al. Fabrication and experi-

(上接第 423 页)

4 结 论

在聚碳酸酯 (PC) 基材中加入质量分数为 0.01% 的 VI530 和质量分数为 0.05% 的 IR1060, 通过注塑成型, 在制得的 PC 材料表面镀上 23 层激光反射膜, 制备出高性能的多波段激光防护 PC 材料。这种激光防护材料在紫外-可见-红外波段的多个激光波长处的光密度均大于 4, 能够同时对多个波长的激光起到有效地防护作用。同时, 这种激光防护材料具有很好地抗冲击强度和弯曲强度。完全可以满足作为激光防护材料的要求。

参考文献:

- [1] B Anderberg. Protection and countermeasures against laser weapons[J]. Military Technology, 1993, 5: 17-26.
- [2] 孟献丰, 陆春华, 张其土, 等. 激光防护材料的研究进展[J]. 激光与红外, 2005, 35(2): 71-73.
- [3] I L Bailey, M A Bullimore. A new test for evaluation of disability glare[J]. Option Vis. Sic., 1991, 68(12): 911-917.

mental characterization of high power bottom-emitting VCSELs[J]. Optics and Precision Engineering, 2004, 12(5): 449-453. (in Chinese)

- [3] L Arthur D' Asaro, Jean-Francois Seurin, James D Wynn. High-power, high-efficiency VCSELs pursue the goal[J]. Photonics Spectra, 2005, (2): 64-66.
- [4] Jean-Francois Seurin, L Arthur D' Asaro, Chuni Ghosh. A New Application for VCSELs: High-Power Pump Lasers[J]. Photonics Spectra, 2007, (7): 66-71.
- [5] Jon Geske, Michael MacDougall, Garrett Cole, et al. High power VCSELs for smart munitions[J]. Proc. SPIE, 2006, 6287, 628703.
- [6] Craig Angelos, Steven Hinckley, et al. Simulation of current spreading in bottom-emitting vertical cavity surface emitting lasers for high-power operation[J]. Proc. SPIE, 2005, 5277, 261-272.
- [7] Shigehisa ARAI, Yasuharu Suematsu. 1.11-1.67(100) GaInAsP/InP injection lasers prepared by liquid phase epitaxy[J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, 1980, 16(2): 197-205.
- [4] K L Hayes, R J Thomas, R E Pingry, Jr. Optimization of optical density requirements for multiwavelength laser safety[J]. Journal of Laser Applications, 2006, 18(3): 275-282.
- [5] Y Barkana, M Belkin. Laser Eye Injuries[J]. Survey of ophthalmology, 2000, 44(6): 459-478.
- [6] 付伟. 强激光致盲研究[J]. 应用光学, 2001, 22(6): 17-22.
- [7] 金清理, 柯见洪, 薛漫芝. He-Ne 激光对人体伤害的分析及防护措施[J]. 激光技术, 2003, 27(2): 153-157.
- [8] Kenichi Takahashi. Anti-reflection coating for an infrared transmitting material[P]. US, Patent, 4721657, 1998(4): 721-657.
- [9] 赵江, 徐世录. 激光武器的现状与发展趋势[J]. 激光与红外, 2005, 35(2): 67-70.
- [10] Chen Ming, Li Chunfei, Xu Mai, et al. Eye-protection glasses against YAG laser injury based on the band gap reflection of one-dimensional photonic crystal[J]. Optics and Laser Technology, 2007, 39(1): 214-218.