

多波段激光防护塑料的研究

段 潜 王立杰 邹 颖 张亦农

(长春光学精密机械学院材料系 长春 130022)

提要 研究了多波段激光防护塑料的组成、物性及制备技术,对其进行的防激光测试结果表明该激光防护塑料能见度高,对紫外、可见、红外波段的激光有较好的防护性能。

关键词 激光防护, 光学密度, 防护塑料

1 引 言

随着激光技术的发展和应用范围的扩大,激光防护日益受到重视^[1-6],其防护的主要对象是人眼和装备系统中的光电传感器这两个最易受激光伤害的部位。但目前的激光防护材料多为无机玻璃,可防波段窄,难以满足目前日益增多的激光谱线和宽波段连续可调谐激光的防护需求。为此,本工作制备了吸收型的多波段激光防护塑料,对多波段激光防护塑料的防激光性能、能见度、稳定性、物性等作了研究。

2 实 验

2.1 激光防护塑料的制备

激光防护塑料配方组成见表 1,其中 IR6 和 VI5 为自行设计合成的金属有机螯合物激光吸收剂,将在水浴 50℃ 预聚料浆置于涂有脱膜剂的光学模具中聚合,聚合温度为 60~ 100℃,退火温度为 80℃,脱膜后的样品表面涂敷一层特种有机硅,经热处理后,得到耐磨膜的多波段吸收型茶色激光防护塑料。

表 1 激光防护塑料组份(wt-%)

Table 1 Composition of laser protection plastics (wt-%)

methyl methacrylate (甲基丙烯酸甲酯)	styrene (苯乙烯)	methacrylic acid (α -甲基丙烯酸)	dibutyl phthalate (邻苯二甲酸二丁酯)	azo bis iso butyronitrile (偶氮二异丁腈)	IR6	VI5
90.85	0.5	2	2	0.15	3	1.5

2.2 激光防护塑料的激光防护生物效应实验

采用倍频单模脉冲 Nd:YAG 调 Q 激光器,输出 1060 nm 基频光,脉冲宽 5 ns,用 KDP 晶体倍频,输出 530 nm 绿光,用 KTP 和 BBO 晶体三倍频,产生 350 nm 波长紫外光;输出能量及透射能量由 LPE- π 型激光功率能量计测量,同时用碳斗能量计配以检流计进行监测对照。选

用青紫蓝灰色兔共 24 只, 体重为 2~ 3 kg, 将每只兔放于照射台的固定铁盒内, 以 He-Ne 激光瞄准, 然后分别在三种激光波长下作加防护塑料和不加防护塑料片的照射实验, 照射装置及光路见图 1; 照射后立即由眼科临床医生进行观察, 具体程序为: (1) 在宏观下作一般观察; (2) 在微观下用裂隙灯显微镜观察前眼部改变情况, 并作显微镜下拍照; (3) 眼底检查, 并作眼底拍照; (4) 照射后 6 h 取出兔眼球作病理检查。

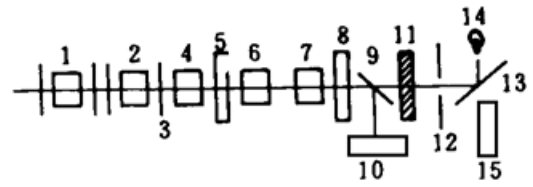


图 1 三倍频 Nd·YAG 激光照射兔眼光路

1: He-Ne 激光器; 2: Nd·YAG 激光器; 3: 1060 nm 介质膜; 4: KDP; 5: 1060 nm 衰减片; 6: KTP; 7: BBO; 8: 350 nm 滤光片; 9: 分光镜; 10: 激光功率计; 11: 样品; 12: 光阑; 13: 反射镜; 14: 兔眼; 15: 眼底照相机

Fig. 1 Experimental arrangement for study of rabbit's eyes under radiation from a frequency-tripled Nd·YAG laser

1: He-Ne laser; 2: Nd·YAG laser; 3: 1060 nm medium film; 4: KDP; 5: 1060 nm attenuator; 6: KTP; 7: BBO; 8: 350 nm filter; 9: spectroscopy; 10: laser powermeter; 11: sample; 12: diaphragm; 13: reflection mirror; 14: rabbit's eyes; 15: eyeground camera

3 性能测试及结果

3.1 光学密度

光学密度是激光防护材料激光防护性能的标志, 表示材料对特定波长激光能量的衰减程度, 用日立 UV-340 型分光光度计测量的结果如表 2 所示, 从表 2 可知研制的激光防护塑料对紫外、可见和近红外波段的激光具有较好的防护, 且可防激光波段光学密度均在 4 以上, 符合激光防护安全。

表 2 激光防护塑料的防护激光波段光学密度(样品厚: 3 mm)

Table 2 Summary of optical densities of the protective laser bands of the laser protection plastics (thickness of specimens: 3 mm)

type of lasers	wavelength (nm)	optical density (D_{λ})	type of lasers	wavelength (nm)	optical density (D_{λ})
ultraviolet waveband	200~ 300	> 4	Cd ²⁺	441	> 4
Ne-Cd	325	> 4	Ar ⁺	514, 488	> 4
Ne-N	332, 337	> 4	YAG (double frequency)	530	> 4
YAG (triple frequency)	350	> 4	YAG	1060	> 4
			Tm	1110	> 4

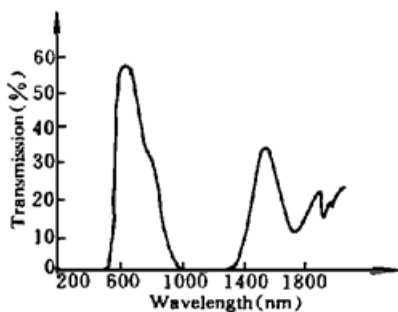


图 2 防护塑料可见-红外透射光谱

Fig. 2 Visible-infrared transmission spectrum of the protection plastics

3.2 可见光透过率

可见光透过率是激光防护材料能见度的标志, 对激光防护材料而言, 在满足激光防护性能的前提下, 要尽可能地提高能见度, 以便清楚地观察目标。但光学密度增大, 材料的可见光透过率要下降, 影响能见度。因此, 找出光学密度和可见光透过率同时有较高值的材料是关键所在。制得的激光防护塑料透过光谱曲线见图 2 所示, 从图 2 可见材料在 200~ 540 nm 和 980~ 1300 nm 波段有较强的吸收, 而在 540~ 780 nm 的可见波段透过率较高, 最高达 57%, 且透过波段较宽, 为较理想的激光防护材料。

3.3 激光光密度

用倍频单模脉冲 Nd:YAG 调 Q 激光器产生的 1060 nm, 530 nm, 350 nm 波长激光作光源, 照射样品, 其中输出的倍频和三倍频激光分别由 KDP 晶体、KTP 和 BBO 晶体产生。输出能量及透射能量由 LPE-型激光功率能量计测量, 同时用碳斗能量计配以检流计进行监测对照, 结果见表 3。

表 3 激光防护塑料的激光透过率测试数据(样品厚: 3 mm)

Table 3 Summary of laser transmission test data of the laser protection plastics (thickness of specimens: 3 mm)

No	wavelength (nm)	import energy (mJ)	export energy (μ J)	laser transmissions	laser density (D_{λ})
1 [#]	350	9.0	0.42	4.67×10^{-5}	4.33
	530	16	0.18	1.13×10^{-5}	4.88
	1060	204	3.00	1.47×10^{-5}	4.83
2 [#]	350	9.0	0.40	4.44×10^{-5}	4.35
	530	16	0.20	1.25×10^{-5}	4.90
	1060	204	3.30	1.62×10^{-5}	4.79
3 [#]	350	9.0	0.43	4.78×10^{-5}	4.32
	530	16	0.14	8.76×10^{-5}	5.05
	1060	204	3.50	1.72×10^{-5}	4.76

由激光测试结果, 研制的防激光塑料光密度在 4~5 之间, 对光密度大于 4 的防护材料, 参照激光安全标准^{7,8)}, 可推算出所研制防激光塑料对脉宽为 1~0.1 ns, 最大输出能量为 10^{-3} J (最大光束辐照量 2×10^{-3} J/cm²) 的 Q 开关激光器; 对脉宽为 0.4~10 ms、最大输出能量为 10^{-2} J (最大光束辐照量 2×10^{-2} J/cm²) 的非 Q 开关激光器; 对脉宽为 0.25~10 s、最大输出功率为 10 W (最大光束辐照度 20 W/cm²) 以及长时间凝视(>3 h), 最大输出功率 10^{-2} W (最大光束辐照度 2×10^{-2} W/cm²) 量级的连续激光器, 直接观察 200~1400 nm 有关波长激光均可达到安全使用效果。

表 4 激光防护生物效应实验

Table 4 Summary of livingthings effect test of laser protection

wavelength (nm)	condition	input energy density (J/cm ²)	output energy density (J/cm ²)	damage condition of rabbit's eyes
350	no protection plastics	7.62×10^{-3}	7.62×10^{-3}	dropsy and muddy arise in cornea and crystalline
	with protection plastics	7.62×10^{-3}	3.48×10^{-7}	as usual
530	no protection plastics	9.68×10^{-3}	9.68×10^{-3}	pale, dropsy and tissue soak arise in shone corneas of external eyes, heavier tissues are stripped, pigments of irises drop, veins are not clear, pupils become deformed, forehouse bleeds and seeps retinas of internal eyes show dropsy and seepage
	with protection plastics	9.68×10^{-3}	1.14×10^{-7}	as usual
1060	no protection plastics	0.68	0.68	corneas change obviously and arise oedema soak, moreover tissues drop, irises bleeding and seep unobviously but pupils become deformed, retinas on the eyeground seep a little
	with protection plastics	0.68	9.58×10^{-6}	as usual

3.4 生物效应实验结果

试验用三个样品在 350 nm, 530 nm, 1060 nm 三种波长激光, 样品处于 0°(垂直入射) 时进行生物损伤实验, 共照射 24 只兔计 48 只兔眼, 作了 1520 个样点, 最多一只兔眼照射 150 个样点, 最少照射 10 个样点, 同时每个波长激光都作了不加防护片的对照实验, 结果见表 4。

从表 4 可知, 该防护塑料在 0°位置用三种波长激光共照射 1520 个样点, 均未见兔眼损伤, 而在同样条件下未加防护片的对照实验, 兔眼都有程度不同的损伤: 用 350 nm 激光照射时, 在未加防护塑料情况下, 兔眼角膜和晶体状出现水肿和混浊; 用 530 nm 激光照射并未加防护塑料时, 外眼角膜呈灰的水肿, 且有组织浸润, 重者组织脱落, 虹膜色素脱落, 纹理不清, 瞳孔变形, 前房出血及渗出, 内眼可见视网膜水肿渗出。用 1060 nm 激光照射未加防护塑料的兔眼, 观察到角膜改变显著, 出现水肿、浸润及组织脱落, 虹膜有瞳孔变形, 无明显渗出及出血, 眼底见视网膜少许渗出。表明该防护塑料具有很好的激光防护作用。从使激光照射量衰减结果来看, 均在激光安全防护标准的辐照限值内。

3.5 抗激光损伤及稳定性

将 Nd·YAG 调 Q 激光器输出的脉冲宽 5 ns, 波长为 1060 nm 激光聚焦, 把样品置于焦面处, 能量在 109.8 mJ, 光束直径 $\phi=4$ mm 时, 连续打 100 次均未见激光防护塑料损伤, 采用放大镜将光斑聚焦为 $\phi=1$ mm 左右光斑, 此时激光功率密度变大, 改变入射能量, 在使用状态下, 对吸收激光防护塑料进行破坏实验, 结果在能量为 50 mJ 时激光防护塑料表面出现小损伤斑, 则可计算出该防护塑料损伤的阈值能量密度为 6.4 J/cm^2 , 峰值功率密度为 $12.7 \times 10^8 \text{ W/cm}^2$ 。

将制得的激光防护塑料进行室外曝晒耐候试验和用氙灯光源在 WEL-6XS-HC 型人工气候箱中进行加速曝晒试验, 试验后, 样品外观无裂纹、不褪色, 图 3~4 为其试验前后的光谱峰变化情况, 显示了防护塑料具有良好的稳定性。

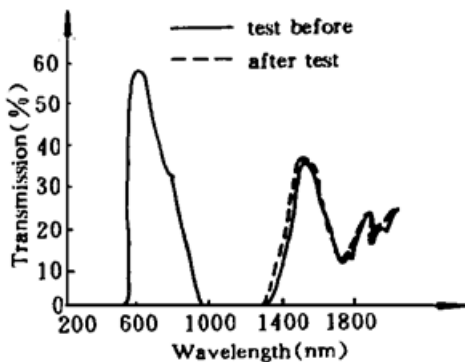


图 3 激光防护塑料的室外曝晒试验前后透过对照(一年)

Fig. 3 Comparison of transmission of the laser protection plastic before and after outdoor exposure test (one year)

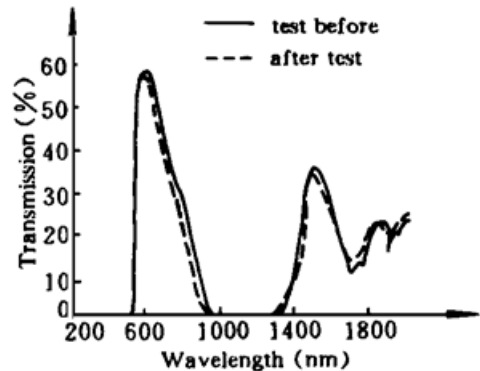


图 4 激光防护塑料的氙试验机曝晒试验前后透过对照(50°C, RH70%, 6000 W, 200 h)

Fig. 4 Comparison of transmission of the laser protection plastic before and after Xenon tester outdoor exposure test (50°C, RH70%, 6000 W, 200 h)

3.6 激光防护塑料物性

对激光防护塑料物性按有关国标方法进行测试, 结果见表 5 所示。

表 5 激光防护塑料的特性

Table 5 Property of laser protection plastics

property	test method	units	value
density	GB1033-70	g/cm ³	1.183
water absorption	GB1034-70	%	≤0.38
charpy impact strength (unnotch)	GB1034-79	kJ/m ²	16.2
Brinell hardness	GB3398-82	kg/mm ²	57
coefficient of linear thermal expansion	GB1036-70	1/°C	7×10 ⁻⁵
heat deflection temperature under load	GB1634-79	°C	102

参 考 文 献

- 1 W. Koechner, G. Falls. High intensity laser radiation protection. U. S. P, 4917481, 1990
- 2 D. J. Lund, P. Edsall. Another look at saturable absorbers for laser eye protection. *Proc. SPIE*, 1990, **1207**: 193~ 201
- 3 A. A. Robinson, W. J. Marshall, S. G. Dudevoir. Study of saturation in commercial laser goggles. *Proc. SPIE*, 1990, **1207**: 202~ 213
- 4 J. A. Brown. The year's progress in tristimulus laser goggles. *Proc. SPIE*, 1990, **1207**: 214~ 217
- 5 X. Ning, J. D. Masso. A collimating lens system for laser eye protection. *Proc. SPIE*, 1990, **1207**: 230 ~ 233
- 6 S. Spielberger, Stamford. Ballistic protective laser shield. U.S.P, 5005926, 1991
- 7 Environmental Health Criteria 23, Laser and Optical Radiation, WHO Geneva 1982
- 8 American National Standard for the Safe Use of Lasers, Z. 136. 1-1980

Study on Multiwavelength Laser Radiation Protection Plastics

Duan Qian Wang Lijie Zou Ying Zhang Yinong

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Changchun 130022)

Abstract In this paper, the composition, properties, and preparation techniques of multiwavelength laser protection plastics are studied. The test of laser protection indicates this kind of plastics have excellent visibility and can well protect radiation injury from lasers in UV, visible and infrared ranges.

Key words laser protection, optical density, protection plastics