

多波段激光防护塑料夹层玻璃窗口材料的研究

段 潜 刘大军 何兴权 王立杰 邹 颖
(长春光学精密机械学院材料系, 长春, 130022)

摘要: 研究了多波段激光防护塑料夹层玻璃的制备工艺, 对其性能进行了测试, 结果表明, 该激光防护材料对紫外、可见、红外波段的多种激光防护效果显著, 能见度高, 抗激光破坏能力强, 稳定性好。

关键词: 激光防护 塑料夹层玻璃 多波段

Study on multi-wavelength laser radiation protection plastic sandwich glass window material

Duan Qian, Liu Dajun, He Xingquan, Wang Lijie, Zou Ying
(Changchun Institute of Optics and Fechanics, Changchun, 130022)

Abstract: The preparing techniques of multi-wavelength laser protection plastic sandwich glass are introduced in the paper. Its properties have been tested. The results indicate that this type of protection material can obviously protect radiation from laser in UV, visible and infrared range with high visibility, high stability and high anti-laser ability.

Key words: laser protection plastic sandwich glass multi-wavelength

引 言

激光技术的迅猛发展, 使其在军事领域中的应用甚为广泛, 激光致盲和强激光武器的出现, 给人眼和各种光电传感器造成了极大的威胁, 如何对其实施行之有效的激光防护, 是世界各国热点的研究课题^[1~3]。在以往的激光防护材料中, 多采用单一的有机材料和无机材料, 这两类材料在综合性能上各有利弊, 而塑料夹层玻璃材料与它们相比, 具有抗激光破坏能力强、多光谱特性易实现、能避免因材料破裂所造成对人眼和光电传感器的二次伤害(较玻璃类材料而言)等优点, 可克服单一激光防护材料的不足之处, 提高激光防护材料的整体性能。我们充分利用无机和有机二种材料特有的光谱性质和物理化学性质, 采用玻璃与塑料两种不同性质激光防护材料相复合的办法, 制备新型吸收式高透明度、高光学密度多波段激光防护塑料夹层玻璃窗口材料, 以满足激光防护材料日益增长的需要, 适应未来现代战争的需求。

为了讨论方便, 我们采用了一些经验公式及对部分公式做了简化, 不会影响结论的正确性。

参 考 文 献

- 1 陈达庆. GJB349. 12~ 88. 北京: 国防科工委军标出版发行部, 1988: 7
- 2 魏光辉, 杨培根. 激光技术在兵器工业中的应用. 北京: 兵器工业出版社, 1995: 3
- 3 光电对抗系统手册. 成都: 兵器工业第 209 所编著译, 1999: 25

作者简介: 赵 威, 男, 1972 年 5 月出生。工程师。主要从事光电对抗研究。

1 实验

1.1 激光防护塑料夹层玻璃窗口材料制备

防护塑料的组成见表1,其中,WC3和MAT分别为自行合成的复合型窄带激光吸收剂和交联剂;玻璃采用掺 Fe^{2+} 的磷酸盐基质玻璃,其在起到夹板作用的同时,又可利用 Fe^{2+} 来增强对近红外波段光的吸收能力。制备过程为:在两块一定尺寸的防护玻璃板间加长方形聚氯乙烯垫条,合拢并用螺旋弹簧夹固定,用注射器将事先预聚好的防护塑料料浆灌入,进行聚合,聚合温度为 $45^{\circ}C \sim 120^{\circ}C$,退火温度 $85^{\circ}C$,制得多波段激光防护塑料夹层玻璃。

Table 1 Composition of laser protection plastics

methyl methacrylate	methacrylic acid	styrene	azobis isobutyronitrile	tributyl phosphate	WC3	MAT
92.3	1.5	0.5	0.10	2.0	2.0	1.6

1.2 激光防护塑料夹层玻璃的激光防护生物效应实验

Nd:YAG调Q激光器输出1060nm基频光,脉冲宽度15ns,KDP晶体倍频,输出530nm绿光,用KTP和BBO晶体三倍频,产生350nm波长紫外光;输出能量及透射能量由LPE-iv型激光功率能量计测量,并用碳斗能量计配以检流计进行监测。实验选用青紫兰灰兔15只,在Nd:YAG激光器输出的3种波长下,作加防护片和不加防护片的照射兔眼实验,照射前和照射后,都由眼科临床医生对兔眼作病理检查。

Table 2 Summary of optical densities of the absorptive light bands of the laser protection plastic sandwich glass (thickness of specimens: 4.0mm)

2 性能测试及结果

2.1 光学密度

光学密度是描述激光防护材料防护某一波长激光的能力,为激光防护材料的特征参数之一,用日立UV-340型分光光度计和PE-683型红外分光光度计测试样品的结果见表2,由表可知,该窗口材料对200~540nm,780~1500nm,5300

applicable laser type	wavelength (nm)	absorption light wavelength (nm)	optical density (D_{λ})
excimer	200~400		
YAG (triple frequency)	350		
He-Cd	325, 442	200~540	> 5
Ar ⁺	488, 514		
YAG (double frequency)	530		
semiconductor	780, 830		
YAG	1060	780~1500	> 5
Tm	1110		
CO ₂	10600	5300~20000	> 5

~20000nm有关波段的光其光学密度均在5以上,吸收强且吸收谱带宽,具有较好的防护效果,达到激光防护的安全标准^[4]。

2.2 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,为激光防护材料的另一重要特征参数之一,激光防护材料在能够有效的防护激光的同时,应具有尽可能高的可见光透过率,以便观察、探测等。对可见光波段的激光防护而言,防护波

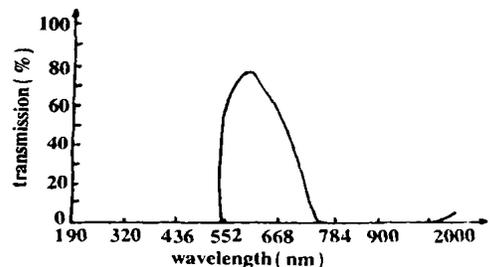


Fig. 1 UV-visible near infrared transmission spectrum of the laser protection plastic sandwich glass

段光学密度的增大,防护效果增强,同时,也造成可见光透过率的下降,透明度降低,这样,研制同时具有高光学密度和高可见光透过率的材料是关键所在,制得的样品用日立 UV-340 型分光光度计测定了光谱,结果如图 1 所示,由图可见,防护材料在 200~ 540nm, 780~ 1500nm 波段均有较强的吸收,呈截止状态;而在 540~ 780nm 可见光波段具有较高的透过率,最高达 78%,透过波段较宽,呈现较高的透明度。

2.3 激光光密度

以 Nd YAG 调 Q 激光器产生 1060nm, 530nm, 350nm 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, KTP 和 BBO 晶体产生。输出能量及透射能量由 LPE-iv 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。结果见表 3 所示,由激光测试结果可知,研制的防激光塑料夹层玻璃光密度均在 5 以上,对于光密度大于 5 的防护材料,根据激光防护安全标准^[4,5]可知,该种激光防护窗口材料对下列 4 种类型不同激光参数的激光器输出的 200~ 1400nm 有关波长激光均可达到安全防护效果。这 4 种不同激光参数的激光器为:

(1) Q 开关激光器,脉冲宽度 1ns ~ 0.1ms,最大输出能量 10^{-2} J,最大光束辐照量 2×10^{-2} J/cm²; (2) 非 Q 开关激光器,脉冲宽度 0.4ms ~ 10ms,最大输出能量 10^{-1} J,最大光束辐照量 2×10^{-1} J/cm²; (3) 连续激光器,脉冲宽度 0.25s ~ 10s,最大输出功率 100W,最大光束辐照度 200W/cm²; (4) 连续激光器,脉冲宽度 > 3h,最大输出功率 10^{-1} W,最大光束辐照度 2×10^{-1} W/cm²。另外,对 5300~ 20000nm 红外波段有关激光也达到同样的防护作用。

2.4 生物效应实验结果

试验用 3 个样品在 350nm, 530nm, 1060nm 3 种波长激光下,激光束 θ 入射时进行生物损伤实验,照射 15 只兔计 30 只兔眼,每一波长用 3 只兔眼进行测试,每眼在激光重复频率 1Hz 情况下,打 50 个样点,少数兔眼照 100 个样点,个别兔眼照 15~ 20 个样点,共照射 2020 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 所示。从表可知,该激光防护塑料夹层玻璃在 θ 位置用 3 种波长激光共照射 2020 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 350nm 激光照射时,兔眼角膜和晶体出现水肿和浑浊;用 530nm 激光照射时,兔眼角膜呈现水肿,虹膜色素脱落,纹理不清,瞳孔变形,视网膜水肿出血;用 1060nm 激光照射时,兔眼角膜出现浸润及组织脱落,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。表明该激光防护窗口材料具有很好的激光防护作用。

Table 3 Summary of laser transmission test data of the laser protection plastic sandwich glass (thickness of specimens: 4.0mm)

No.	wavelength (nm)	import energy (mJ)	export energy (μ J)	laser transmissions ($\times 10^{-6}$)	laser density (D_{λ})
1 [#]	350	11.20	0.10	8.93	5.05
	530	18.45	0.13	7.05	5.15
	1060	308	1.94	6.30	5.20
2 [#]	350	11.20	0.11	9.82	5.01
	530	18.45	0.13	7.05	5.15
	1060	308	1.99	6.46	5.19
3 [#]	350	11.20	0.10	8.93	5.05
	1060	18.45	0.12	6.50	5.19
	1060	308	2.08	6.75	5.17

Table 4 Summary of biological effect test of laser protection

wavelength (nm)	condition	input energy density(J/cm^2)	output energy density(J/cm^2)	optical density(D_λ)	damage condition of rabbit's eyes
350	no protection plastic sandwich glass	6.82×10^{-3}	6.82×10^{-3}		dropsy and muddy arise in cornea and crystalline
	with protection plastic sandwich glass	6.82×10^{-3}	5.94×10^{-8}	5.06	as usual
530	no protection plastic sandwich glass	7.78×10^{-3}	7.78×10^{-3}		comeas appear dropsy, pigments of iris fall off, veins is not distinct, pupils deform, retinas arise oedema and bleeding
	with protection plastic sandwich glass	7.78×10^{-3}	5.51×10^{-8}	5.15	as usual
1060	no protection plastic sandwich glass	0.66	0.66		comeas are soaked and tissues drop, irises seep and bleed unobvi- ously, but pupils deform on the eyeground retinas a little
	with protection plastic sandwich glass	0.66	4.26×10^{-6}	5.19	as usual

2.5 抗激光损伤性能

将Nd:YAG调Q激光器输出的脉冲宽度15ns,波长1060nm的激光聚焦,样品置于焦点处,能量310mJ,光斑直径为 $f1.5mm$ 时,按1Hz的速度连续打50次无损伤,外观无变化,光学密度也不变,此时平均能量密度为 $17.5J/cm^2$ 。把钹玻璃激光聚焦,光斑直径为 $f2mm$,改变入射能量,把样品置焦点处,在使用状态下,对其进行破坏实验,结果在能量密度为 $572.96J/cm^2$ 时,见前层玻璃表面出现破裂,有小损伤斑,后层玻璃完好,同时,破碎的玻璃粘附在防护塑料夹层上,可防止玻璃破碎所造成的对人眼和光电传感器的二次伤害,此时,光学密度虽有所下降,但仍有一定的防护能力,表明破坏该防护窗口材料整体的总激光损伤值将大于 $572.96J/cm^2$,与单一的防护玻璃和塑料相比,激光防护能力大大增强。

参 考 文 献

- 1 SpieBerger S. Ballistic Protective Laser shield. U SP 5005926, 1991
- 2 Brown J A. Proc SPIE, 1990; 1207: 214~ 217
- 3 段 潜,王立杰,邹 颖 *et al.* 中国激光, 1997; 24(5): 456~ 460
- 4 Environmental Health Criteria 23. Laser and Optical Radiation. WHO Geneva, 1982
- 5 American National Standard for the Safe Use of Lasers, Z. 136, 1980

* * *

作者简介:段 潜,男,1968年1月出生。硕士,副教授。现从事激光防护材料研究。