

国内激光防护材料的若干问题

陈宗礼

(北京军事医学科学院放射医学研究所, 北京)

摘要: 本文简述了国内激光防护材料(激光防护镜)的类型、主要性能以及在研究和应用中的若干问题。

Some aspect of problems of laser
protective materials in china

Chen Zongli

(Institute of Radiation Medicine, Academy of Military
Medical Sciences)

Abstract: Types of laser protective materials and their principal properties were introduced briefly in this paper. Some questions of the development and their applications were described also.

随着激光技术的发展和激光应用范围迅速扩大,大能量、高功率、短脉冲激光器件日益增多,激光伤害人眼的事故时有发生,激光防护日趋受到人们重视,自60年代以来,美国、苏联及西欧等国家就投入很大力量研究激光防护材料(激光防护镜),如美国辐射卫生局与空军航空医务学校从1975年起用5年时间对40种激光防护材料和10种有代表性的镜架进行了全面测试和评定,从1977年起休斯飞机公司用4年时间研制了供空中和地面部队使用的全息激光防护镜,到80年代初由美国光学协会进行评价的激光防护镜已有数百种之多。从70年代起,我国也陆续研制了多种激光防护材料和激光防护镜,使我国激光防护技术有很大进展,有些产品的性能指标已达到国际先进水平。

一、国内激光防护材料(防护镜)的类型

各种激光防护材料(防护镜)主要是基于特种玻璃或塑料滤光材料在特种波长的吸收或反射特性制成的,所以从防护材料上分主要有玻璃和塑料两大类;从防护机理上分主要有反射型、吸收型及复合型防护镜。反射型是在玻璃表面镀多层介质膜,通过膜层的反射和干涉

作用衰减激光,在工艺上,通过精心的膜系设计可获得光密度足够高、带宽窄、视见透过率高、机械强度高、抗破坏能力强的膜层、反射型防护镜视场角小,一般在 $\pm 30^\circ$ 以内,对大角度的斜光束入射防护效果较差,对此缺点一般是在结构上采取措施,给予补救。另外这种防护镜对周围未戴眼镜的人会引起损伤,要求危害区内人员都戴防护镜,为减小危害范围认为有曲率的防护镜比平面镜好。吸收型防护镜是利用掺有无机或有机染料的玻璃或塑料制成,利用材料对防护波长的选择吸收特性使激光衰减。有色玻璃材料机械强度高、抗破坏能力强、镜面不易损坏且玻璃内掺杂的无机染料性能稳定,但光密度正比于镜片厚度,具有高衰减倍数的产品一般重量较大,目前国内产品主要是 $1.06\mu\text{m}$ 和 $0.53\mu\text{m}$ 两种,塑料材料重量轻、耐冲击易做成各种曲率形状样品,尤其是近年来通过改进工艺、表面镀膜,材料表面美观且耐磨性有很大提高,其缺点是防护材料内的有机染料添加剂易受热和紫外辐射的影响,有些材料在Q开关和锁模脉冲激光照射下可能产生饱和或漂白,甚至长时间存放会产生老化、颜色变浓、视见透过率降低等问题。复合型激光防护材料(防护镜)是综合上述两种技术制成的,它可对两个或更多个特定波长起防护作用。我国研制的复合型防护镜一种是用吸收型玻璃加镀膜介质膜制成吸收、反射型复合防护镜;另一种是在塑料基质中加入具有不同吸收峰值的添加剂,聚合成高度透明、能对多个特定波长起防护作用的复合型防护材料。

二、防护材料在研制和应用中的若干问题

为确保防护材料使用安全、性能可靠,应对防护材料的性能指标进行严格测试。表征防护材料性能的参数有很多,但目前国内尚未建立有关防护材料(或防护镜)的标准与规范,也没有专门单位系统地承担这方面的工作。近年来我们对国内多种产品的基本参数进行了测试和性能评价,保证了产品的质量,但工作并不全面,现在简述在研制和应用中的一些主要问题:

1. 光密度

激光防护材料(防护镜)最关键的要求是充分衰减角膜入射能量至安全水平,其衰减量通常以光密度 D_λ 表示,其表达式为 $D_\lambda = \log \frac{E_0}{E_\lambda} = \log \frac{1}{T_\lambda}$,式中 E_0 、 E_λ 、 T_λ 分别是入射光束能量及在波长为 λ 时透过光束能量及材料透过率。

光密度可使用光度计进行测量,但一般实验室使用的光度计测量范围小,只能测3~4个光密度,不能满足具有更高光密度值防护样品的测试要求,为此,可对光度计进行改装,在测量

表1 用光度计和激光光源所测光密度值比较

型号	波长 (μm)	D_λ (用光度计)	D_λ (用激光源)
JB ₂₁	0.53	4.29	3.050
JB ₂₂		5.28	3.046
JB ₂₃		2.89	2.004
CD ₃₃	1.06	5.9	4.830

量和参考光路中选用些中性标准滤光片,扩大量程,提高灵敏度。由于某些掺杂无机或有机染料的玻璃或塑料材料往往有可逆性的漂白特性,光密度值随光强而变化,因此,用光度计所测光密度值不一定可靠,一般比用亮度高、单色性极好的脉冲激光光源所测光密度值偏高,表1为三种样品在研制过程中的测试结果。

对具有漂白特性的材料最好进行非线性测试,测试样品在不同激光辐照量时材料的

可逆性变化范围,表2、表3分别为在研制过程中某些样品测试结果。这种样品的非线性大小与掺杂染料性能直接相关,有些材料性能稳定,非线性变化很小,而有些材料如某些有机或半导体掺杂剂,在激光照射后产生量子阱效应,非线性变化很明显。然而,对有非线性变化的防护材料,只要在所防护的最高激光辐照量照射情况下仍具有足够高的光密度值,这种防护材料同样可使用。

表2 吸收玻璃防护材料非线性测试结果

型 号	CB3.5	波长(μm)	0.53
入射能量(mJ)	5.41	5.70	6.55
光密度(D_{λ})	3.18	2.70	2.62
		7.16	2.57

表3 吸收型塑料防护材料非线性测试

型 号	波长(μm)	入射能量(mJ)	光密度 D_{λ}
CD ₀₃	1.06	223	4.83
		95.2	5.26
CD ₀₂		240	4.93
		93	6.1
CD ₀₃		223	4.88
		93	6.2

对镀有介质膜的反射型和复合型防护镜除了应保证镀膜均匀和在不同位置光密度一致外,还应保证在设计要求视场范围内(如 $\pm 30^\circ$)光密度不变,表4为一种复合型防护镜测试结果

表4 对不同入射角复合型防护镜的光密度

波长(μm)	入射角($^\circ$)	0	30	40	41	42	43	45
1.06	光密度 D_{λ}	4.85	4.86	3.79	/	/	/	2.52
	光密度 D_{λ}	4.28	4.27	4.25	3.20	2.54	2.48	/

果。由测试可见,这种防护样品在视场角大于 40° 以后,光密度值明显下降,使用中应严格限制视场范围,曾用该样品进行生物效应观察,用Nd:YAG激光器,在基频($1.06\mu\text{m}$)激光输出为 $400\sim 420\text{mJ}$ 时,在 $0\sim 30^\circ$ 任意角度,经样品衰减后角膜入射量为 $1.5\times 10^{-6}\text{J}/\text{cm}^2$,照射青紫兰灰兔眼300个样点,均未见损伤,而在 45° 因光密度降低角膜入射量为 $3.1\times 10^{-3}\text{J}/\text{cm}^2$,照射10个样点,视网膜有8个出血或凝固斑;对 $0.53\mu\text{m}$ 绿光,输出激光能量 6mJ ,透过样品后,在 $0\sim 30^\circ$ 范围内,角膜入射量 $6.8\times 10^{-7}\sim 9.1\times 10^{-7}\text{J}/\text{cm}^2$,照射兔眼300个样点,均未见损伤,而在 42° 时角膜入射量变为 $4.5\times 10^{-6}\text{J}/\text{cm}^2$,照射20个样点,视网膜出现9个损伤斑。

对这类产品若想在斜光束大视场使用,可根据使用要求在结构上采取相应措施,如通过计算使镜片离开眼一定距离、让镜片适当外倾等。

镀介质膜防护镜的另一个问题是在镀膜时应保证正负方向角度对称,否则导致产品在一个方向较大角度范围内有足够的光密度,而另一方向随角度增加光密度很快降低,同样不满足安全使用要求,所以对镀介质膜的防护样品需要进行严格测试。

在进行样品光密度测试时,应保证激光单色性好,对倍频光,因激光器件输出的倍频光中仍含有较强的基频光,而倍频防护材料通常对基频光有较高的透过率,所以在测试前必须对基频光进行充分地滤除,否则不能反映对倍频光的防护性能,表5为一种吸收型防护材料在入射能量约 10mJ 时对 $0.53\mu\text{m}$ 绿光的测试结果。

2. 可见光透过率

激光防护镜的可见光透过率是使用者在标准背景光源下,通过防护镜对视察能力的直接

表5 基频光滤除程度对光密度的影响

材 料	波 长 (μm)	基频光衰减系数	光密度
玻 璃	0.53	1.26×10^6	3.35
		1.2×10^8	5.26
塑 料	0.53	1.26×10^6	3.88
		1.2×10^8	5.05

影响视觉观察更直观的参数是视见透过率，该参数可利用200~800nm光谱曲线和人的标准视见函数曲线来推算，也可用专门仪器进行测量，但由于夜间人眼的视见函数和白天不同，所以防护镜白天和夜晚的视见透过率有区别，尤其对一些着色防护镜，因着色不同使白天和夜间视见透过率的差别不同，这对夜间使用的激光仪器，尤其是军用激光器以及全天候飞行人员的防护是非常重要的。

3. 防护材料的损伤阈值

为满足激光光密度的要求，防护材料要吸收或反射很高的激光功率（或能量），在高功率、大能量照射时可导致塑料材料损伤、软化、镀膜材料膜层破坏，玻璃样品产生损伤、裂纹等。所以知道材料在不丧失结构完整性能承受的最大辐照度或辐照量以及了解在某种功率或能量时能完全烧穿防护材料所需时间，或在一定时间对材料的穿透深度都是很重要的，对不同材料损伤阈值差别很大，一般吸收玻璃对Q开关和锁模脉冲激光辐照量为10~100J/cm²，塑料和绝缘涂层损伤阈值在1~100J/cm²之间，应根据需要选取合适材料，如国内有些防护样品采用普通玻璃镀膜，结果在辐照量为1.7~1.8J/cm²时玻璃表面便有小的可见损伤斑，而另一种采用专门研制的防1.06 μm 吸收玻璃，在155J/cm²时才出现损伤斑。

三、国内激光防护材料的主要性能

有关上述各类防护材料（防护镜）技术，在国内都已成熟，近年来研制、鉴定的防护样品已基本上可满足仪器窗口及个人激光防护方面的需要，从而为我国、我军激光防护奠定了良好的基础，有些产品的性能指标已达到或超过国外同类产品的水平。目前国内研制、生产的防护样品主要性能是：（1）防护材料对所防护的相应波长激光有良好的衰减能力，光密度多数在4~6之间；（2）可见光透过率较高，一般都在35%以上，如国内研制的镀介质膜复合型玻璃防护样品视见透过率 $\geq 40\%$ ，可见光透过率 $\geq 43\%$ ，单波段防护材料的可见光透过率可能更高些，如一种防1.06 μm 激光的玻璃材料，可见光透过率在60%以上；（3）抗激光破坏能力强，经破坏试验防1.06 μm 玻璃材料、反射介质膜层和塑料防护材料分别在155.4J/cm²（1550MW/cm²）、110J/cm²及1168MW/cm²时出现可见损伤斑；（4）防护波长由单一波段向多波段发展，如最近研制的多波段塑料防护镜在325、332、337、441、488、514、530、840、1060nm等9个波段都有防护作用，光密度值均大于4；（5）在高温、高湿环境稳定性好。经高低温试验，在50℃ $\pm 1\%$ 、相对湿度90%条件下放48h，在低温-45℃ $\pm 1\%$ 时放2h，玻璃材料性能不变，介质膜层不脱落，用脱脂纱布擦拭膜层也未见损伤；（6）反射型样品介质膜层坚固，样品膜层不仅能承受沾有酒精乙醚混合液的脱脂纱布擦拭，而且用40℃、浓度为5%的食盐水浸泡24h膜层亦不脱落；（7）国内研制的塑料防护样品性能稳定，在人工气候箱中，在温度50℃ $\pm 1\%$ 、相对湿度70 $\pm 5\%$ 条件下，用6000W氙灯辐照200h，颜色及

吸收光谱与辐照前一样，在户外经长期日晒、雨淋不褪色，无裂纹，性能不变。

参 考 文 献

- [1] Envall K.R. et al., Evaluation of commercially available laser protective eyewear, U.S. department of health education and welfare public health service.
- [2] AD-A112422.
- [3] 《国外兵器动态》，1983，第10期，第5页。
- [4] 《兵器激光》，1986年，第1期，第36~39页。
- [5] 《兵器激光》，1986年，第3期，第50~54页。
- [6] 《兵器激光》，1982年，第3期，第61页。
- [7] Health physics, 1986, Vol.51, No.1, P.95~96.

收稿日期：1989年10月16日。

· 简 讯 ·

全息学与光学信息处理学术年会在大连召开

1989年10月11~14日在大连理工大学召开了我国全息学与光学信息处理学术年会，来自全国的代表共113人。

专业委员会副主任徐大雄教授介绍了赴荷兰和苏联参加国际会议的情况：1989年7月3~7日在荷兰Gronigen市召开的欧州国际全息学会议，有14个国家50余位代表宣读了论文30多篇；1989年9月5~8日在苏联基辅召开的国际全息会议，有12个国家300多人（苏联代表260余人）宣读了论文133篇（苏联98篇）。北京理工大学张静芳博士也在会上介绍了她赴苏联参加国际全息会议的情况。



全息学与光学信息处理年会代表
华北光学仪器厂盛尔镇研究员（右）
浙江大学龙槐生教授和上海机械学院
颜去吾教授在休会期间

在本次年会上共宣读交流论文115篇，内容涉及合成狭缝彩虹全息术、全息记录与显示、全息材料与器件、全息检测技术和应用、光学图象识别与光学信息处理、光学变换与相干光学及光学测量等领域。这些论文还反映了我国近几年在近代光学科研和生产的进展，在全息元件和显示产品的研制和开发也有可喜进展。

会议期间交流了以下技术市场信息：1. 1986年成立的青岛琦美图象公司生产的模压全息图，除已应用于邮品、书籍封面外，近年来又用于身份证、信用卡、商标防冒等，取得了较大的社会和经济效益。2. 1987年成立的北京三友激光技术研究所专门生产激光全息饰品，多种产品已达到国际同类产品水平，并有较好的社会和经济效益。