

用全息光学元件实现对眼睛的激光防护

刘大禾 周 静

(北京师范大学 物理系)

黄 婉 云

(北京师范大学 分析测试中心)

提 要

反射式全息滤光片具有很好的滤光特性,可作为一种激光防护元件。本文对这种元件的波长选择性,角度选择性,所能承受的功率密度进行分析,并讨论了实际应用的可能性。

关键词: 全息滤光片,激光防护。

一、引 言

自从激光器出现后,人眼的激光防护问题,受到人们的普遍重视。已有多种激光防护眼镜得到实际应用,其中主要是有色玻璃防护眼镜。这些防护眼镜尽管对激光器发出的某种波长的光有很好的吸收作用,但对其他波长的光也有较大的吸收。在有些条件下就不能满足人们的使用要求。例如,在军事上作为激光武器的防护,以及在有些背景照明较弱的工作环境中,既要滤掉激光器发出的光,又要尽可能多地透过其他光,以使人们正常地工作。

而用重铬酸盐明胶介质制作的反射式全息滤光片,具有衍射效率高,单峰特性好,透明度高等优点^[1],是一种性能很好的全息光学元件。用这种元件可以制作人眼的激光防护装置。国外,也有人在开展这方面的研究^[2]。本文报道了我们在这方面的的工作,并从波长选择性,角度选择性,所能承受的功率密度等几个方面分析了这种装置的性能。

二、理 论 依 据

根据耦合波理论^[3],反射全息图具有很高的衍射效率,很好的波长选择性。根据这个理论而制作的反射式全息滤光片,是一种性能很好的全息光学元件^[4]。当某种波长的光以 Bragg 条件射入全息滤光片时,绝大部分的光波反射,还有少部分光波介质吸收,只有极弱的光透过滤光片。而当射到全息滤光片上的光不满足 Bragg 条件时,则除介质的少量吸收外,90% 以上的光均可透过滤光片。这种全息滤光片的峰值波长和带宽可以人为地加以控制。当不要求全息滤光片的带宽很窄时,可获得相当高的衍射效率^[4,5],95% 以上的光将被反射,再考虑到介质的吸收,则只有不到1% 的光透过滤光片。若把两个全息滤光片复合到一起,那么透过滤光片的光强将小于入射光强的万分之一。与此同时,其他不满足 Bragg 条

件的光将绝大部分透过滤光片。这一特性表明,反射式全息滤光片可以作为一种很好的人眼激光防护装置。

三、参数特性

全息人眼激光防护装置的制作光路见文献[1]。作为眼睛的激光防护装置,其主要作用是使某种波长的光不透过。因此,我们是对透射光进行测量。测试时,除使用文献[1]中的测试光路外,也使用日本岛津公司 UV-365 分光光度计。关于这种仪器的测试条件和使用方法,请参阅使用说明,本文不作赘述。测试时,全息滤光片的衍射,界面的反射,介质的吸收及散射均包含在透过率中。

1. 波长选择性

在选择全息滤光片的中心波长时,是选 YAG 激光倍频后输出的 532 nm 的黄绿光。用平行白光入射,在可见光范围内测得的全息滤光片的透射光谱如图 1 所示。在整个可见光范围内,只在 532 nm 附近有一个窄的吸收带,而其他波长的光大部分透过滤光片。因此,这种全息滤光片,对所选定的波长是不透明体,对于除选定波长以外的其他波长的光,却是一个相当好的透明体。另外,图 1 还清楚地显示出,带宽很窄时,中心波长处的透过率较高,[图 1(a)];带宽较宽时,中心波长处的透过率相当低,[图 1(b)]这表明此时有相当好的滤光作用。对于眼睛的激光防护装置来讲,要滤掉的是单色性极好的激光,全息滤光片的带宽只要大于激光的带宽即可,并不要求有很好的波长选择性。因此,可以控制全息滤光片的带宽^[2],使其在 10 nm 左右,甚至更大,这样,就可以获得相当高的衍射效率,使中心波长附近的透过率小于 1%,从而得到很好的滤光效果。而 10 nm 左右的带宽,在整个可见光范围内是一个很窄的区域,这部分光被滤掉,丝毫不会影响人眼的视觉。这说明,全息滤光片可以

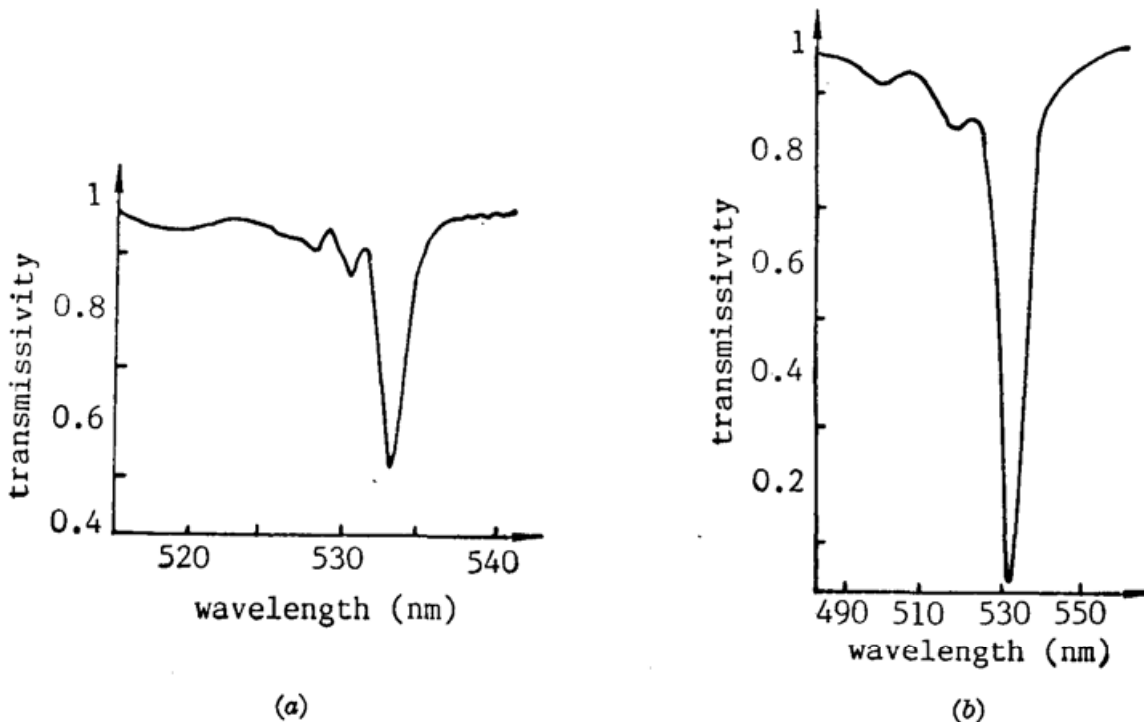


Fig. 1 Transmission spectra of reflection holographic filters
(a) $\Delta\lambda=2.3$ nm; (b) $\Delta\lambda=7$ nm; $\Delta\lambda$: bandwidth of holographic filter

成为一种相当好的眼睛激光防护装置。Head-up Display 装置(HUD)也正是利用了全息滤光片的这一特性。

2. 角度选择性

我们知道,光在反射式全息滤光片中的衍射过程应满足 Bragg 条件,即某一波长的光必须以 Bragg 角入射时才能获得最高的衍射效率,而使透过率最低。当入射光偏离 Bragg 角时,随着衍射效率的降低,透过率将增大。对于眼睛的防护装置,我们的希望是,某一特定波长的光,无论以什么角度入射,透过率均为零,并不希望全息滤光片有很好的角度选择性。

根据耦合波理论可以计算出,某一波长的光入射到全息滤光片上,当角度与 Bragg 角偏离约 4° 时,衍射效率降为零。实验结果表明,实际上允许的角度偏离大于理论值。图 2 是全息滤光片角度选择性的实测结果。图中所示的数据均是以 532 nm 的光入射时测量的,图中 $\Delta\theta$ 为对 Bragg 角的偏离。图 2 中的实测曲线呈现明显的非对称性,而由耦合波理论计算的结果应是对称的。这个现象是全息图的非均匀结构引起的。关于这个问题请参阅文献[4]。

激光束通常是正入射到眼睛的防护装置上,即 Bragg 角为 90° 。由图 2 可见,若光束偏离 Bragg 角(斜入射),透过率很快地增大。这对激光防护是不利的。如果将全息滤光片做成曲面形状,可在很大程度上克服这一缺点。在各种曲面中,以双曲面最理想,但双曲面的制作比较困难。实验中用球面来代替。用涤纶软片基代替原重铬酸盐明胶干板的玻璃片基,并根据人眼的正常视觉范围,将全息滤光片做成曲率半径为 100 mm 的球面(中心波长为 532 nm)。这种球面全息滤光片可在相当大的范围内使 532 nm 的光基本不透过。图 3 是球面全息滤光片的工作原理及实测的透过率。当光线从不同方向入射时,都通过球面的曲率中心,故在球面上的

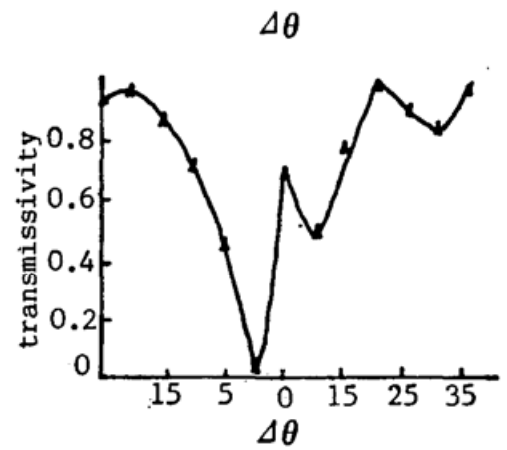
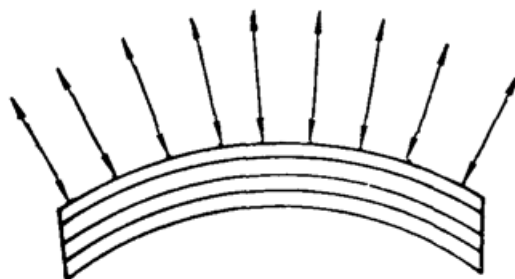
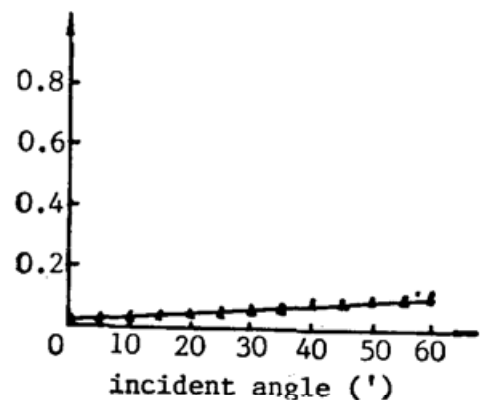


Fig. 2 Angle selectivity of holographic filter $\Delta\theta$ is the deviation from Bragg angle



(a)



(b)

Fig. 3 The geometry structure and the variation of transmissivity with incident angle
(a) geometry structure; (b) variation of transmissivity with incident angle

各点均为正入射,均满足 Bragg 条件,从而保证了从不同方向入射的光都能被滤掉。图 3(b) 的实验结果表明这种方法是有效的。如果曲面选择得合适,当入射角改变时,透过率将基本不变。以角称为防护角。

分析表明,全息滤光片距眼睛较近时,需要较大的防护角,而全息滤光片的防护角总有一定的限制。图 3(b) 所示的实验中,我们取这个距离为 100 mm。另外,限制全息滤光片曲率的因素也必须加以考虑。将制好的滤光片弯成曲面时,若曲率过大,会破坏滤光片原来的结构,使之失去作用。故这个曲率不能太大。

3. 能承受的功率密度

我们用不同波长的激光束进行实验,实验结果如下:对于国产 360 型激光器,其输出的 488 nm 和 514 nm 的单谱线功率均大于 1 W,激光束直接射到全息滤光片上,介质未被烧破。当 514 nm 的光输出功率为 100 mW 时,将激光束在介质面上会聚成直径为 $60 \mu\text{m}$ 的光点,这时介质被烧坏。这表明重铬酸盐明胶介质所能承受的最大功率密度可达 $8.9 \times 10^3 \text{ W/cm}^2$ 。

四、其他考虑

图 2 示出了形状为球面的全息滤光片的工作情况。然而实际上全息滤光片的形状,并不真的需要成为球面,可用平面来实现球面的功能。这只要在制作全息滤光片时用适当曲率半径的球面波即可。另外,还可以根据实际使用的不同情况,制作具有不同曲面作用的全息滤光片,如图 4 所示。这里,各图中的 F 和 F' 既是相应曲面镜的焦点,又是相应圆锥曲面的几何焦点。在实际使用中,滤光片中心波长所对应的光线也会聚于该点,或由该点发散。

在实际使用中,由于重铬酸盐明胶介质的防潮性能差,需要加以密封。我们密封的全息滤光片,时间最长的至今已保存四年半,性能不变。我们也进行过环境极端苛刻的实验,在

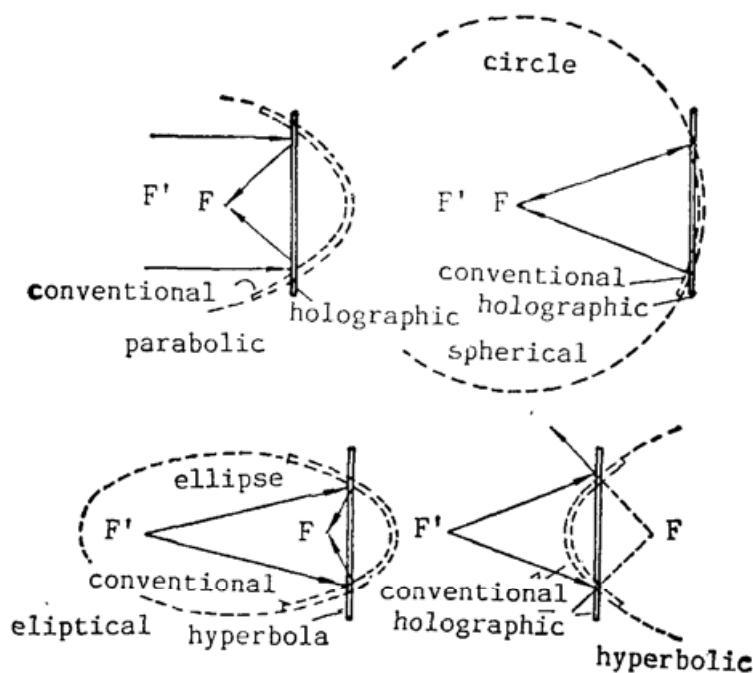


Fig. 4 The geometry structure of some kinds of holographic filter with different function

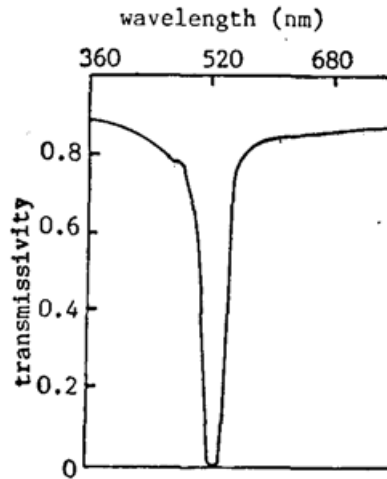


Fig. 5 The transmission spectrum of compound holographic filter with two filters

相对湿度为 100% 的密封容器内,封好的滤光片可保存三个星期。密封时,如将两个全息滤光片封在一起,不但可以解决防潮的问题,而且某一波长的光经过两个滤光片的衍射后,透过率会进一步降低,可以有更好的滤波效果。图 5 是由两个全息滤光片组成的复合全息滤光片的透射光谱。在 532 nm 处的透过率已接近万分之一,用其他波长的透过率为 85%。

五、几点说明

1. 除重铬酸盐明胶介质外,其他全息记录材料还有多种,如银盐介质、光导热塑,光聚合物等,但用这些材料制作的全息元件要么效率低,要么噪声大或透明性能差,要么所能承受的功率密度小。因此,用来作眼睛的激光防护是不适宜的。

2. 由于 YAG 激光器是可见光范围内的一种大功率激光器,本文的讨论主要是以 YAG 激光器输出的 532 nm 的光为主进行的。但其原理对任何激光器、任何波长的光都是一样的。我们在研究工作中,对氩离子激光器 514 nm, 488 nm, 458 nm, 氦镭激光器的 441 nm, 氦氖激光器的 633 nm 等多种激光器输出的多种波长的光进行过同样的实验,均得到同样的结果。

3. 由于普通重铬酸盐明胶介质的光谱响应范围小于 530 nm,因此,用它制作的全息滤光片的峰值波长的范围受到了限制。在制作滤光片时,尽管采用了大角度入射,并使用液门,要作出性能好红外波段的滤光片也是困难的。同时,国内研制的红敏重铬酸盐明胶介质的性能与普通重铬酸盐明胶相比尚有一定差距。总之,有关红外激光的防护问题,有待于记录介质研究工作的进一步开展。

中国科学院计算所赵霖同志为我们提供了各种全息底片,特致谢意。

参 考 文 献

- [1] 刘大禾等;《光学学报》, 1990, 10, No. 2 (Feb), 147~154.
[2] José R. Magariños *et al.*; *Appl. Opt.*, 1987, 26, No. 13 (Jul), 2575~2581.
[3] H. Kogelnik; *Bell. Syst. Tech. J.*, 1969, 48, No. 9 (Nov), 2909~2947.
[4] 刘大禾等;《光学学报》, 1990, 10, No. 6 (Jun), 545~551; No. 7 (Jul), 661~663.
[5] Sven Sjölander; *Optica Acta*, 1984, 31, No. 9 (Sep), 1001~1012.

Eye protection against laser with holographic optical elements

LIU DAHE AND ZHOU JING

(Department of Physics, Beijing Normal University)

HUANG WANYUN

(Analyses & Testing, Center, Beijing Normal University)

(Received 12 March 1990; revised 23 April 1990)

Abstract

The reflection holographic filter has ideal filtering property, and can be well used as a kind of elements for eye protection against laser. In this paper, the wavelength selectivity and the angle selectivity of holographic filters are analyzed. The power density threshold of the medium is tested and some practical problems are discussed.

Key words: holographic filter; laser protection.