

菲涅耳菱体隔离器的实验研究

林礼煌 陈时胜 梁向春
李安民 欧阳斌 康玉英

(中国科学院上海光机所)

Experimental investigation on the Fresnel rhomb optical isolator

*Lin Lihuang Chen Shishen Liang Xiangchun
Li Anming Ou Yangbin Kang Yuying*

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract

A Fresnel rhomb combined with a $1.06 \mu\text{m}$ multilayer dielectric film polarizer forms an isolator with an effective diameter of 60 mm. An extinction coefficient of over 10^2 has been obtained. It is shown in the experiments that the design of high power laser is simplified and their operation is facilitated by using this isolator.

一、引言

在用于激光加热等离子体研究的高功率激光系统中,为了防止从靶面及等离子体反馈回激光放大器序列的反向激光被进一步放大到足以毁坏光路中光学元件的功率密度,已经采用相应孔径的普克耳斯盒电光开关和磁光开关等光学隔离器(也称为隔离器),达到良好的效果^[1]。进一步扩大隔离器的通光孔径时,我们为六束高功率激光装置 LGJ-II^[2] 研制成 60 毫米孔径的菲涅耳菱体隔离器,作为末级隔离器。本文描述有关的实验结果。

二、菲涅耳菱体隔离器的原理

菲涅耳菱体是光学中熟知的菱体^[3]。当线偏振光的振动方向相对于入射面成 45° 入射进菱体时,光束在菱体内部经受两次全内反射,出射的光成为圆偏振光。同样,圆偏振光经过菱体后能成为线偏振光。

如果把菱体与一个其透射轴相对于菱体的入射面成 45° 的线偏振镜组合,则可构成一个单向隔离器。如图 1 所示,从左向右经过线偏振镜 P 和菱体 FR 的线偏振光 \vec{v}_1 可以无阻碍地(不计及元件的吸收等损耗)从

收稿日期: 1979 年 4 月 4 日。

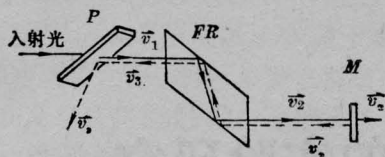


图1 菲涅耳菱体隔离器的原理图
 P—多层介质薄膜偏振镜；FR—菲涅耳菱体；
 M—反射器

FR 出射而继续向右传播。当出射的圆偏振光 \vec{v}_2 受到出现在光路的反射器 M 的逆向反射后 (设 M 对 \vec{v}_2 的两种偏振分量 p 与 s 的反射系数相同, 即 $r_p = r_s = r$), 光束仍沿原光路返回菱体 FR, 圆偏振光 \vec{v}_2 的两种偏振分量 p 和 s 仍保持原先的相位差 $\pi/2$ 。 \vec{v}_2 通过 FR 时又受到两次全反射, 重又迭加 $\pi/2$ 的相位差。于是, 从 FR 出射的 \vec{v}_3 的振动方向与 \vec{v}_1 正交, 受到 P 的阻塞而被偏折出原光路。

对于同一坐标轴上两束相向的光束, 采用如图 2 的结构, 同时能达到隔离迎面的一束光经靶区耦合过来的透射光。

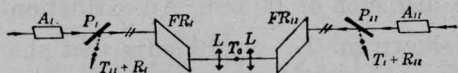


图2 相向两束光使用两个菲涅耳菱体隔离器
 隔离反射光与透射光光路示意图

A—放大器；FR—菲涅耳菱体；L—非球面打靶透视镜；P—多层介质薄膜偏振镜；R—反射光；T—透射光；T₀—靶；点⊙代表 s 偏振分量, 短线代表 p 偏振分量, 脚标 I 和 II 分别表示第 I 与第 II 束光路元件和光线

在单束或多束高功率激光系统中, 将这种隔离器引入到光路中作为末级隔离器, 便可抑制或衰减在激光辐照靶实验时的反向激光。

三、菲涅耳菱体隔离器的设计考虑

1. 菲涅耳菱体的考虑

对于给定波长折射率为 $n_{\text{玻}}$ 的玻璃菱体, 可按式求得光线入射在玻璃-空气界面时

必要的入射角 θ :

$$\text{tg} \frac{\Delta}{2} = \text{tg} \frac{\pi}{8} = \frac{\cos \theta \sqrt{\sin^2 \theta - n^2}}{\sin^2 \theta},$$

式中 Δ 为平行入射面的偏振分量 p 与垂直入射面的偏振分量 s 在发生一次全内反射时产生的相位差, n 为空气相对于玻璃的折射率, 即 $n = 1/n_{\text{玻}}$ 。

由上式可以解出两个入射角 θ_1 与 θ_2 , 例如对于 1.06 微米的光,

$$n_{\text{玻}} \approx 1.49661, \theta_1 = \theta_2 \approx 51^\circ 47' 6'';$$

$$n_{\text{玻}} = 1.50624, \theta_1 = 49^\circ 7' 19'',$$

$$\theta_2 = 54^\circ 12' 55'';$$

$$n_{\text{玻}} = 1.60, \theta_1 = 42^\circ 29' 45'',$$

$$\theta_2 = 58^\circ 44' 2'';$$

$$n_{\text{玻}} = 1.70, \theta_1 = 38^\circ 32' 48'',$$

$$\theta_2 = 60^\circ 42' 19'';$$

.....

将振动方向与菱体入射面成 45° 的线偏振光经过不同折射率的玻璃菱体按图 1 的方式作四次全内反射后, p 与 s 之间的相位差随入射角变化情况画出图 3 的曲线。从图 3 中可以看出, 折射率低的玻璃, 由四次全内反射的相位差为 π 之处, 相位差随入射角改变的速度较慢。从而在调整菱体隔离器时, 选用折射率相对小的玻璃制成的菱体, 其调整精度的要求相应可以降低。

另外, 随着菱体口径扩大, 激光在菱体中

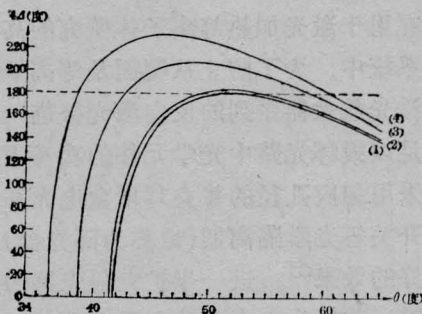


图3 光在不同折射率的玻璃菱体内, 四次全内反射的相位差 4Δ 随入射角 θ 变化的关系曲线

$$(1) n_{\text{玻}} = 1.49661; (2) n_{\text{玻}} = 1.50624;$$

$$(3) n_{\text{玻}} = 1.60; (4) n_{\text{玻}} = 1.70$$

的光程较长;因而必须考虑到玻璃的非线性折射率系数 n_2 , 由于强光的非线性作用会使光束的质量劣化甚至造成激光对菱体的损伤, 因此应尽量挑选 n_2 低的玻璃制作菱体, 并且在 $n_{\text{玻}}$ 确定时, 选用入射角 θ 较小的值(光程可以相应缩短)。

最后, 还应选择折射率均匀, 气泡、条纹和结石少, 透光性高的玻璃材料。

基于以上考虑, 我们选择国产 K_9 玻璃制作菲涅耳菱体, 它对 1.06 微米光的折射率为 1.50624, 入射角选 $49^\circ 7' 19''$ 。

2. 线偏振镜的选择

线偏振镜必须具有高的消光比和对入射光吸收低。方解石制的双折射型线偏振镜虽有高的消光比, 但无法获得 60 毫米的通光孔径; 而玻璃偏振堆虽可以获得所要的通光孔径, 但透射光的偏振度差从而消光比远不能满足要求。

本隔离器中选用近年来我所研制成功的多层介质薄膜 ($\text{SiO}_2\text{-ZrO}_2$ 膜系) 偏振板, 其透光性能良好, 消光比较高并可获得所要的通光孔径。由两片多层介质薄膜偏振板组成的一个偏振镜的性能见表 1。

表 1 1.06 微米光的多层介质薄膜偏振镜的特性

入射角 (度)		60 ± 4.5
对 1.06 微米光波前的畸变 (两片自补偿)		$< \lambda/8$
p 偏振分量透过率 (%)	T_{p_1}	99.0
	T_{p_2}	96.0
s 偏振分量透过率 (%)	T_{s_1}	< 1.2
	T_{s_2}	< 1.2
脉冲为 2 毫微秒时的破坏阈值 (焦耳/厘米 ²)		> 3
通光孔径 (毫米)		$> \phi 70$

四、隔离器消光比的测定

利用图 4 所示的装置来测定隔离器的消

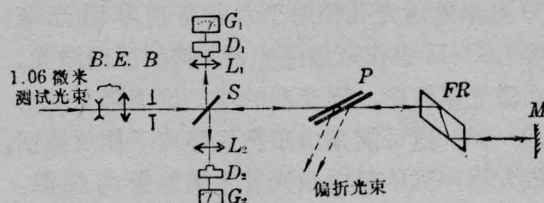


图 4 测定菲涅耳菱体隔离器消光比的实验装置示意图

B—光阑; B. E.—扩束望远镜; D—硅光二极管; FR—菲涅耳菱体; G—检流计; L—会聚透镜; M—全反射镜; P—多层介质膜偏振镜, 可绕光轴旋转; S—半反射镜

光比。1.06 微米的激光束经过扩束望远镜校正为平行光束后, 由一个合适孔径的光阑 B 选取部分光束作为测试光束。光束由半反射分光镜 S 反射出一部分光进入硅光二极管 $D_1\text{-}G_1$ 进行监测。透过 S 的光束射向偏振镜 P, 透过 P 的线偏振光向右射入菱体 FR, 在 FR 内经过两次全内反射后出射至 M, 由 M 全反射沿原光路向左再射入 FR 中。最后, 经 FR 作四次全内反射的光从右向左到达 P。能够透过 P 的线偏振光则由 S 反射至硅光二极管 $D_2\text{-}G_2$ 进行测量。

我们定义菲涅耳菱体隔离器的消光比, 是指在相同入射光强度 I 之下, 透过 FR-P (从右向左) 最大的光强度 I_{0° 与最小的光强度 I_{45° 之比。前者是入射于 FR 的线偏振光的振动方向与入射面平行(或垂直), 这时没有起隔光作用; 后者是入射于 FR 的线偏振光的振动方向与入射面成 45° , 这时隔离器有最好的隔光作用。因此, 消光比

$$\eta = \left(\frac{I_{0^\circ}}{I} \right) / \left(\frac{I_{45^\circ}}{I} \right) = I_{0^\circ} / I_{45^\circ}$$

实验测得, P 采用方解石制的双折射棱镜时, $\eta > 100$; 而采用多层介质薄膜偏振板时(两片组成一个偏振镜), $\eta \approx 100$ 。实验表明, η 的值与入射光束的束径无关。

五、讨 论

(1) 上述的菲涅耳菱体隔离器已制成

60 毫米的通光孔径用于六束高功率激光装置 LGJ-II 中作末级隔光器, 抑制反向激光。在激光系统中, 隔光器的消光比下降至约为 20~50, 这可能是由于靶区等离子体反馈回放大器序列的反向激光发生退偏振的缘故。菱体的两个通光面上镀上对 1.06 微米光的

增透膜后, 隔光器对正向激光的透过率可达 94% 以上。

(2) 菲涅耳菱体隔光器的单向通光特性还可以用于高功率激光系统中, 作激光工作物质双程光放大时的导引光的部件, 其示意图如图 5 所示。

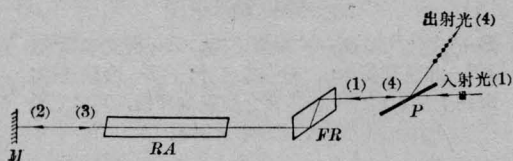


图 5 激光束在工作物质中作双程放大示意图
 P —多层介质薄膜偏振镜; FR —菲涅耳菱体; RA —激光工作物质; M —全反射镜。入射光(1)沿(1)、(2)、(3)、(4)行进, 短线代表 p 分量, 点代表 s 分量

参 考 文 献

- [1] 中国科学院上海光机所激光加热等离子体研究组; 《受控核聚变》(1974 年会议资料选编), 117, 原子能出版社, 1977 年第一版。
- [2] 林礼煌, 欧阳斌, 陈时胜等; 《激光》, 1978, 5, No 5-6, 10.
- [3] M. Born, E. Wolf; 《Principles of Optics》, 2nd (Revised) Edition, 1964, Pergamon Press. 47.