

版权所有 © 《激光技术》编辑部

一、引言

大口径铷玻璃激光介质的双程放大,可以提高高功率激光器件末级能量利用率,降低器件投资。但是大口径,高破坏阈值的四分之一波片难以制造。菲涅耳棱体(RF)^[1]可以将线偏振光变成圆偏振光,相当于四分之一波片,且可以满足大口径的要求,文献[2]对FR的设计作了报导,结果表明采用折射率 $n_p = 1.5$ 附近的玻璃制作的FR,对调整精度的要求最低。本文对激光双程放大FROI的隔离比作了测量,并分析了隔离比随调整精度的依赖关系。

二、实验光路与结果

图 1 为实验光路图,隔离器由FR和多层介质膜偏振片P组成,FR的材料为铷玻璃,两端面镀 $1.06\mu\text{m}$ 增透膜,偏振片 P_1, P_2 相互垂直放置,它们的P, S分量的透过率分别为 95%, 1%。激光束经 P_1 后起偏成水平P偏振光,调整 FR_1 使入射面与P偏振方向成 45° 夹角,偏振光经过 FR_1 后成圆偏振光,进入放大器 A_1 作双程放大,原光路反馈进入 FR_1 , 其出射光束由圆偏振光变成垂直S偏振光,经偏振片 P_1 的反射,由全反镜 M_2 耦合进入第二级隔离器 $FR_2 - P_2$, P_2 对S偏振是透过的。

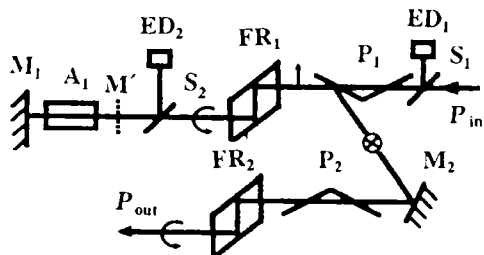


Fig. 1 Experimental arrangement

P_1, P_2 - film polarizers FR_1, FR_2 - Fresnel rhomb M_1, M_2 - mirrors ED_1, ED_2 - energy detectors
 ↑ - horizontal polarization ⊗ - vertical polarization
 C - circular polarization

测量单级 FROI 的隔离比,将 M_1 移至 M_1' 处,通过两能量计 ED_1, ED_2 , 测得后向激光能量 E_2 和透过 $FR_1 - P_1$ 的激光能量 E_1 , 得到 FR-P 单级 FROI 隔离比 $\eta = E_2/E_1 > 200:1$;将全反镜移至 M_1 处,测得经双程放大后的隔离比 $\eta > 100:1$ 。由于激光在放大过程中,激光会产生一定的退偏,退偏后隔离比会明显下降,表 1 列出了隔离比随出射光束口径的变化情况:

Table 1 Isolation coefficients varied with amplified beam diameters

beam diameters $D(\text{mm})$	8	12	16	20
isolation coefficients η	170	63	35	26

实验中放大器 A_1 的放大棒直径 $O = 20\text{mm}$, 出射激光束强区直径 $D \approx 8\text{mm}$ 。结果表明激光束边区的退偏十分明显,从而使得总体隔离比大幅下降。退偏主要来自放大棒的菲涅耳衍射,散射以及双折射等。所以为确保隔离比,在FR与放大器之间必须加入一合适光栏以限制杂散退偏光。由于FR表面镀以增透膜,实验测得双程放大器输出中放大的自发辐射(ASE)能量小于 1mJ 。

三、FROI 调整精度对隔离比的影响

光线经玻璃-空气界面作单次全反射所引起平行入射面的偏振分量及垂直入射面的偏振

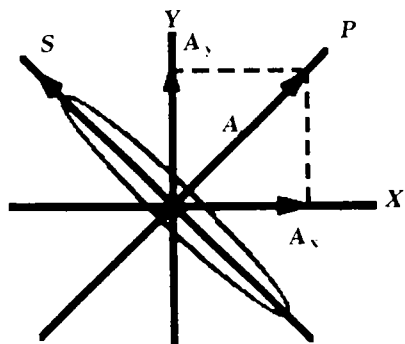
分量间的相位差 Δ 与入射角 θ 的关系为:

$$\operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} = \frac{\cos \theta \sqrt{\sin^2 \theta - n^2}}{\sin^2 \theta} \quad (1)$$

式中, $n = 1/n_p$, 对菲涅耳棱体的设计要求 $\Delta = \pi/4$, 若 $n_p = 1.50$, 则存在两个解 $\theta_1 = 0.7748$, $\theta_2 = 0.8174$ 。文献[2]讨论了对不同折射率的玻璃材料做成的菲涅耳棱体, 光线作四次全内反射后形成的相位差 4Δ 与 θ 的关系, 指出采用 $n_p = 1.5$ 附近的菲涅耳棱体其 $4\Delta = \pi$ 附近, 4Δ 随 θ 变化速度较慢, 从而可以降低调整精度。下面就 $n_p = 1.50$, $\theta = \theta_1$ 的菲涅耳棱体讨论在调整过程中, 入射角 θ 偏离设计值 θ_1 的偏角 $\Delta\theta$ 以及入射光偏振方向与入射面交角偏离 45° 的偏角 $\Delta\varphi$ 对隔离比的影响。

1. $\Delta\theta$ 对隔离比的影响

设入射 P 偏振光振幅 A, 偏振方向与入射面成 45° , 那么振幅为 A 的 P 偏振光在入射面内的分量 A_x 与垂直入射面的分量 A_y 的值为: $A_x = A_y = \frac{\sqrt{2}}{2} A$, 如图 2, 经四次全内反射后, 由于



于 $\theta = \theta_1 + \Delta\theta$, 引起分量 A_x 和分量 A_y 之间的相位差 $4\Delta = \pi + \delta$, 则:

$$E_x = \frac{\sqrt{2}}{2} A \cos \omega t$$

$$E_y = \frac{\sqrt{2}}{2} A \cos(\omega t - \pi - \delta)$$

消去 ωt , 得:

$$E_x^2 + E_y^2 + 2E_x E_y \cos \delta = \frac{1}{2} A^2 \sin^2 \delta \quad (2)$$

将坐标作 45° 逆时针旋转变换:

$$E_x' = \frac{\sqrt{2}}{2} (E_x - E_y')$$

$$E_y' = \frac{\sqrt{2}}{2} (E_x' - E_y')$$

Fig.2 The detouring of θ results from phase difference between A_x and A_y , and forms elliptical polarization

方程(2)变成:

$$\frac{2(1 + \cos \delta)}{A^2 \sin^2 \delta} E_x'^2 + \frac{2(1 - \cos \delta)}{A^2 \sin^2 \delta} E_y'^2 = 1$$

此为椭圆方程, 其长轴方向为 S 偏振方向, 短轴方向为 P 偏振方向, 因而经四次全反射后, 偏振光变成椭圆偏振光, 由于椭圆偏振光的 P 偏振方向分量对偏振片 P_1 是透过的, 从而会降低隔离比, 如忽略其它因素, 椭圆偏振光的 S 分量与 P 分量的光强之比即为隔离比:

$$\eta = \frac{1 + \cos \delta}{1 - \cos \delta} = \operatorname{ctg}^2 \frac{\delta}{2}$$

将(1)式求导, 考虑到 $4d\Delta = \delta$, 得到:

$$\delta = 8 \cdot \frac{n^2(1 + \cos^2 \theta) - \sin^2 \theta}{\sin^3 \theta \sqrt{\sin^2 \theta - n^2}} \operatorname{tg} \frac{\pi}{8} \Big|_{\substack{n=1/1.5 \\ \theta=\theta_1}} \cdot \Delta\theta = 8.28 \cdot \Delta\theta$$

所以隔离比 η 与 $\Delta\theta$ 的关系为:

$$\eta = \operatorname{ctg}^2(4.14\Delta\theta)$$

版权所有 © 《激光技术》编辑部