

大口径永磁体法拉第旋光器*

邓道群 朱化南 刘荣华

(中国科学院物理研究所 北京 100080)

摘要 报道了一种通光孔径 40 mm 的永磁体大口径法拉第旋光器,其外型尺寸为 154 mm × 154 mm × 240 mm,重量约为 30 kg。测量结果表明:在法拉第旋光器的有效通光面内,光偏振面旋转角的径向分布均匀性优于 $\pm 3^\circ$ 。提出了通过改变通光面中心处的预置光旋转角来改善法拉第光隔离器的积分透过率及积分光隔离度,并给出了光隔离器积分透过率及积分隔离度与对称中心预置角的关系曲线。

关键词 法拉第旋光器,光学隔离器

A LARGE APERTURE PERMANENT MAGNET FARADAY ROTATOR

DENG Dao Qun ZHU Hua Nan LIU Rong Hua

(Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract A 40 mm diameter large aperture permanent magnet Faraday rotator of 154 mm × 154 mm × 240 mm overall size and about 30 kg in weight has been developed. The uniformity of the beam polarization plane of rotation angles are better than $\pm 3^\circ$. The integral transmissivity and integral isolation of Faraday isolator can be improved by preset center angle of rotation of the beam center. The calculated integrated transmissivity and isolation of the isolator for different preset rotation angles are given.

Key words Faraday rotator, optical isolator

1 引言

大口径法拉第光学隔离器是高功率大能量大口径光束的激光系统中抗光反馈的必备器件之一,是当今激光加热等离子体实验系统多路同步放大激光系列中级间隔离之关键器件。以往国内外相关激光系统中所用的大口径法拉第光隔离器皆采用螺旋管,强脉冲电流放电产生强的轴向磁场方法去获得法拉第旋光器所需的强磁场。这种装置需配备大容量电源供电系统及相应的冷却系统,整个法拉第旋光器体积大而笨重,强脉冲放电时噪音大,机械震动也大,对周边环境产生脉冲强电磁场干扰,极大地增加了多路激光系列的同步统调困难。近年来,由于新一代高磁能积的永磁材料钕铁硼的迅猛发展,新的具有较大韦尔代常数的磁光晶体、磁光玻璃的研制成功,为研制体积小重量轻无噪声无同步之忧的易于调节的永磁体法拉第旋光器提供了可靠的物质条

件。目前我们已研究开发出通光孔径从 $\phi 2$ mm 到 $\phi 40$ mm,适用波长从 500 nm 到 1100 nm 的各类永磁体法拉第旋光器及光隔离器。

2 大口径法拉第旋光器光学特性

在“八六三”项目资助下,我们选用国产新材料初步研制出通光孔径 40 mm 的大口径法拉第旋光器样机,其尺寸为 154 mm × 154 mm × 240 mm,重量约 30 kg。经初步测试,对于 1064 nm 波长,通光面内光的偏振面旋转角均匀性优于 $\pm 3^\circ$ 。图 1 为 40 mm 通光孔法拉第旋光器对于 1064 nm 及 633 nm 波长光的偏振面旋转角测量曲线,从图中可以看出,对称中心处旋转角最小,两边渐渐增大。

众所周知,磁偶极子对空间任一点的磁场贡献

* 国家“八六三”高技术计划资助项目

2000 - 04 - 20 收到初稿,2000 - 05 - 08 修回

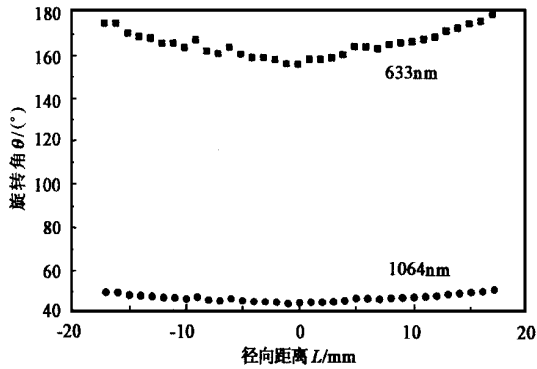


图1 40 mm 大口径法拉第旋光器旋转角分布图

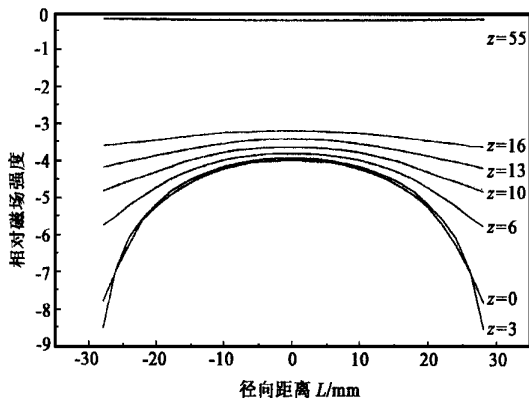


图2 54 mm 通光孔永磁体垂直于圆柱截面处的磁场强度分布曲线

与其距离的三次方成反比.对于使用空心圆柱体永磁材料磁体的法拉第旋光器,只考虑其轴向磁场分量.计算结果表明,不管磁体是轴向充磁,还是径向充磁情况,在放置磁光材料的空间部位,任一垂直于圆柱体的截面轴向磁场分量沿径向的分布皆为旋转抛物面,即在截面的圆中心处磁场强度最小,其周边磁场则随半径增加而变强,且紧靠磁体处达到最大值.对于不同的截面,其磁场强度分布曲线的斜率有所改变.图2为对特殊设计的通光孔54 mm大口径法拉第器件磁体所计算的空心腔内径向磁场分布曲线. $z=0$ 为轴向对称中心处,其余 z 值为该截面与对称中心的距离.从截面磁场相对值分布曲线可知,圆中心附近磁场变化较为平坦,而靠近磁体处则迅速增加.由于光线通过置于磁场中的磁光介质,光传播方向与磁场方向重合时,光的偏振面将转动,偏振面旋转角度 ψ 与磁光介质的韦尔代常数 ρ 、光在磁光介质中的路程 L 以及磁场强度 H 成正比,即:

$$\psi = \rho L \cdot H.$$

对于具有一定长度的磁光晶体或磁光玻璃,放置于空心圆柱永磁腔内,当光线通过磁光材料后,光的偏振面旋转角为磁光材料所居的所有空间截面相应点的积分,由所计算的截面磁场强度相

对值分布曲线可知,积分后通光面对称中心处旋转角偏小,边沿处旋转角偏大,而且中心附近变化较为平坦.为了获得较为均匀的通光截面,通常采用比光束直径大的较大口径法拉第器件.

3 中心偏置旋转角改善法拉第光隔离器的透过率与隔离度

由于磁场分布的旋转抛物面特点,法拉第旋光器通光截面光偏振面旋转角存在难于克服的不均匀性,为提高光隔离器有效通光面内的积分透过率及积分隔离度,可采用法拉第旋光器通光面中心偏离 45° 放置的方法获得改进.图3为40 mm通光孔法拉第旋光器,当光束直径取32 mm时,对于不同的偏振面旋转角均匀性偏差,所计算的不同偏置中心旋转角时光隔离器的透过率曲线.由图中可知,对于 5° 均匀性偏差,只要将通光中心旋转角调节至 42° 时,积分透过率可达99.96%.图4为40 mm直径通光孔法拉第旋光器,取光束直径为32 mm时,对于不同的偏振面旋转角均匀性所计算的光隔离器的光隔离度与中心偏离放置角的关系曲线,从图中可知,对应于不同的旋转角均匀性,获得最大隔离度的预置中心旋转角不同,当旋转角均匀性相差 5° 时,中心旋

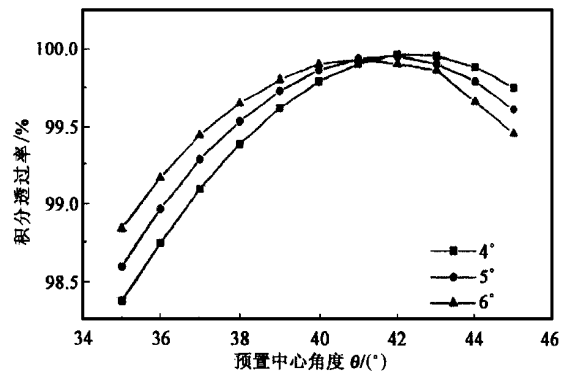


图3 法拉第光隔离器积分透过率与旋光器偏置中心角的关系

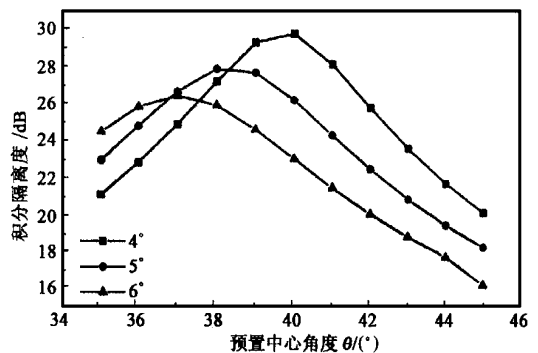


图4 法拉第光隔离器积分隔离度与旋光器偏置中心角的关系

转角预调节至 38° 时光隔离度可达到 28dB. 而实际应用时必须将透过率曲线与隔离度曲线综合考虑.

综上所述, 我们选用国产材料研制的 40 mm 通光孔法拉第旋转器样机, 在其有效使用光束截面内, 光偏振面旋转角均匀性优于 $\pm 3^\circ$. 而对于特定的旋转角均匀性偏差, 可通过调节法拉第旋光器通光截面中心旋转角偏离 45° 放置, 从而获得较理想的法

拉第光隔离器的积分透过率及积分隔离度.

参 考 文 献

- [1] 赵凯华, 钟锡华. 光学. 北京: 北京大学出版社, 1984 [ZHAO Kai Hua, ZHONG Xi Hua. Optics. Beijing: Peking University Press, 1984 (in Chinese)]
- [2] Wettling W. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 1976, 3 : 147

评述文章扫描

- 1 **QCD made simple**(Frank Wilczek . Phys . Today , 2000 , No . 8)
- 2 **Diffusion waves and their uses**(Andreas Mandelis . Phys . Today , 2000 , No . 8)
- 3 **Physicists in the new era of electronic publishing**(James Langer . Phys . Today , 2000 , No . 8)
- 4 **New life for Schrodinger's cat**(Tony Leggett . Phys . World , 2000 , No . 8)
- 5 **Nuclear magic numbers appear and disappear** (Jim Al-Khalili . Phys . World , 2000 , No . 8)
- 6 **Chips get closer to quantum computing** (Ed Hinds . Phys . World , 2000 , No . 8)
- 7 **Magnetism under the microscope** (Ivan K Schuller . Phys . World , 2000 , No . 8)
- 8 **Table top laser produces X ray beams**(Greg Talents . Phys . World , 2000 , No . 8)
- 9 **Top marks awarded to Chinese students**(Edwin Cartlidge . Phys . World , 2000 , No . 8)
- 10 **Photonic crystals**(Greg Parker , Martin Charlton . Phys . World , 2000 , No . 8)
- 11 **Getting to grips with the strong force**(Christine Davies , Sara Collins . Phys . World , 2000 , No . 8)

封 面 说 明

中国科学院半导体材料科学实验室自 1995 年以来一直致力于应变自组装量子点、量子线材料及相关器件的研究. 在对不同材料体系的应变机理、成核特点及生长动力学等进行系统研究的基础上, 通过优化生长条件, 成功地实现了对 GaAs 和 InP 基量子点、量子线的密度、尺寸及空间有序分布的可控生长, 量子点的尺寸涨落小于 10%. 首次发现了 InAs/InAlAs 量子线超晶格的斜对准现象并对其物理实质进行了理论解释; 成功地研制出具有国际先进水平的长寿命、大功率量子点激光器. 封面图为该实验室在 (311) B GaAs 衬底上生长的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 量子点 (x 值自左至右为: 0.3, 0.4, 0.5) 的 AFM 图(上) 和 5 层 InAs/InAlAs 量子线超晶格的 TEM 截面像(下).

(中国科学院半导体研究所 王占国)