

一种可用于可调谐环行 $Ti : Al_2O_3$ 激光器的宽带单向器*

王军民** 梁晓燕 李瑞宁
(山西大学光电研究所, 太原 030006)

摘要 本文介绍一种宽带单向器的原理及设计。选用 TGG 作磁旋光介质, 旋光石英晶片作补偿片, 所设计的色散补偿型宽带单向器预计可在 700~1000nm 波长范围内实现环行激光腔中的单向行波运行; 将其应用在可调谐环行 $Ti : Al_2O_3$ 激光器中, 获得了良好的实验结果。

关键词 宽带单向器 色散补偿 环行 $Ti : Al_2O_3$ 激光器

A Broad-band Optical Diode Used in a Tunable $Ti : Al_2O_3$ Ring Laser

Wang Junmin Liang Xiaolyan Li Ruining

(Institute of Opto-Electronics, Shanxi University, Taiyuan 030006)

Abstract The principle and design of an intracavity optical diode for operation over a broad wavelength range are discussed. The design based on TGG as the Faraday rotator material and optical active quartz crystal as the compensation plate can realize stable one-direction traveling wave operation from 700 to 1000nm. A good experimental result is obtained by using the optical diode in a tunable $Ti : Al_2O_3$ ring laser.

Keywords broad-band optical diode, dispersion compensation; ring $Ti : Al_2O_3$ laser

一、引言

环行激光腔中, 单向运行的行波消除了空间烧孔效应, 易于实现单模及稳频运转。因此, 单向器是环行稳频激光器中很重要的内腔元件。对于单一波长的环行激光器, 单向器通常由 Faraday 旋转器和相应波长的 $\lambda/2$ 波片组成^[1]。但对于染料、 $Ti : Al_2O_3$ 等波长可调谐的环行激光器, 上述方案很难满足这种宽带调谐的要求。早期, H. W. Schöder 等^[2]在环行染料激光器上用宽带反射镜采用外腔反馈的方法, 一定程度上在所调谐到的各波长处均实现了单向行波运行; 但这种方法调整起来比较困难, 外腔反馈对激光模式也有影响, 而且单向性也不够理想。R. Roy 等^[3]则采用两只双 Brewster 角切割的石英声光调制器 (AOM) 作为宽带单向器, 在环行 $Ti : Al_2O_3$

激光器中实现了单向行波运行; 然而这种单向器的结构又过于复杂。T. F. Johnston 等^[4]则采用 SF-2 玻璃作为 Faraday 磁旋光介质, 旋光石英晶片作为补偿片, 所设计的宽带单向器在环行染料激光器中从 425nm 到 810nm 波长范围内实现了单向行波运转。

$Ti : Al_2O_3$ 的工作波段在近红外区, 其波长调谐范围大约是 700~1000nm。本文介绍一种可在环行 $Ti : Al_2O_3$ 激光器中使用的宽带色散补偿型单向器的原理及设计, 并作了

本刊 1993 年 9 月 11 日收到

山西省自然科学基金资助项目

* * 王军民 1967 年生, 助教。1989 年至 1992 年在山西大学攻读光学专业硕士学位, 之后在山西大学光电研究所工作, 研究工作集中在连续激光自倍频、可调谐连续钛宝石激光器以及连续激光稳频等方面。在国内外学术刊物及国际学术会议上发表论文 5 篇。

相应的实验研究。

二、原理及单向器设计

在磁致旋光效应中, Faraday 旋转器对线偏振光的偏振面所旋转的角度 θ 为:

$$\theta = V \cdot lB \quad (1)$$

B 为磁感应强度, l 为光束传播方向上的磁旋光介质长度, V 为介质的 Verdet 常数。常数 V 与介质本身特性有关, 还随光波长而变化, 即存在磁致旋光色散; V 的单位常用: $^{\circ}/G \cdot mm$ 。

在自然旋光效应中, 介质对线偏振光的偏振面所旋过的角度 θ' 为:

$$\theta' = \alpha \cdot d \quad (2)$$

d 为光束传播方向上自然旋光介质的厚度, α 为介质的旋光率, 常用单位为: $^{\circ}/G \cdot mm$ 。 α 除与介质本身有关外, 也随光波长而变化, 即存在自然旋光色散。与磁致旋光不同的是, 自然旋光 θ' 的偏转方向与光束传播方向有关, 而磁致旋光则与光束传播方向无关, 仅由介质和外加磁场的方向决定。

在某个波段范围内, 通过适当地选择磁旋光介质和自然旋光介质, 当磁旋光介质的磁致旋光色散特性 $V=V(\lambda)$ 与自然旋光介质的自然旋光色散特性 $\alpha=\alpha(\lambda)$ 相吻合时, 二者便可以用来设计色散相互补偿的宽带单向器。

我们选择了 TGG (Terbium Gallium Garnet) 作为磁致旋光介质。TGG 在近红外波段 700~3000nm 与熔融石英、FR-5 玻璃及 SF-2 玻璃等介质相比有更强的磁旋光能力, 而且对光的吸收亦较小。TGG 被加工成棒状, 尺寸为 $\phi 5 \times 5$, 棒的两通光端面切成 Brewster 角 (对于 800nm, $\theta_B \sim 63^{\circ}$)。TGG 磁致旋光色散的数据(不同波长下的 Verdet 常数值)见美国 SYNOPTICS 公司的 TGG 技术资料。而旋光石英晶体的自然旋光色散的数据(不同波长下的旋光率 α 的数值参见文献[5])与 TGG 的磁致旋光色散数据有着类似的变化关系。根据 TGG 和旋光石英晶体各自的旋光色散数据以及(1)、(2)两式, 对于 5mm 长的

TGG 棒选择外加磁场的强度和旋光石英晶片的厚度, 经过理论计算得到各自分别对于线偏振光的偏振面所旋转的角度随波长而变化的数据, 经最小二乘法拟合得到的 $\theta \sim \lambda$ 变化曲线如图 1 所示。

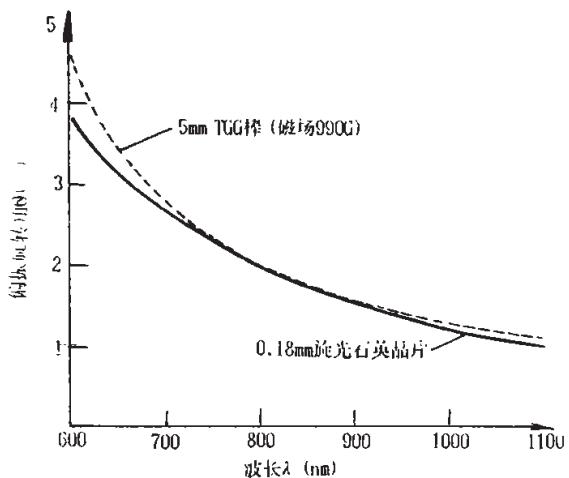


图 1 Faraday 旋转器和旋光石英晶片的 $\theta \sim \lambda$ 关系

对于宽带单向器, 理想的情况是在所使用的波长范围内, 只对反向行波造成损耗, 并使之被抑制, 对于希望运行的正向行波则无损耗或损耗极小。这也正是本文中色散补偿型宽带单向器的基本出发点。由图 1 可看出, 在约 700~1000nm 波长范围内, 5mm 长的 TGG 棒与 990G 的永磁场所构成的 Faraday 旋转器对线偏振光的偏振面旋转的角度可与 0.18mm 厚的旋光石英晶片对偏振面旋转的角度相吻合, 其中 720~960nm 范围内二者可以补偿得最好; 通过二者适当配合, 即可在上述波长范围内用作宽带单向器。上述角度补偿得越好, 则单向器对所希望运行的正向行波的损耗也就越小。

实际上单向器中的永磁体选用了钕铁硼磁性材料, 加工成适当尺寸的环状, 其中心轴线上的磁感应强度约为 990G。钕铁硼磁性材料是一种比常用的钐钴合金稀土磁性材料性能更好的新型材料, 用较小的磁体即可获得上千高斯的磁感应强度。我们所设计的宽带单向器的结构示意图见图 2。

光束总是以 Brewster 角入射到旋光石英晶片和 Faraday 旋转器中的 TGG 棒上的; 当波长调谐时, 只需对 Brewster 角作相应的微

调修正，即可达到满意的效果。

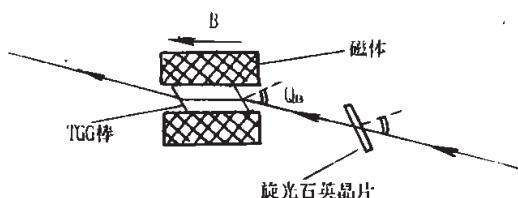


图 2 宽带色散补偿型单向器结构示意图

三、实验

在如图 3 所示的连续环行 $Ti : Al_2O_3$ 激光器中, 我们使用了第二部分中所设计的色散补偿型宽带单向器。在氩离子全谱线 ($457.9 \sim 514.5 nm$) 激光的纵向泵浦下, 由厚度比为 $4 : 1 : 16$ 的三片复合式石英双折射滤光片所调谐到的每个波长处均可得到稳定的单向行波场。再经适当的选模措施便可得到稳定的单模激光输出^[6]。

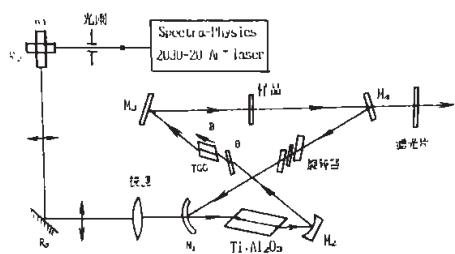


图 3 连续环行 $14:\text{Al}_2\text{O}_3$ 激光器示意

当泵浦源(Spectra Physics 2030-20 氩离子激光器全谱线激光)输出功率为 8W 时,在环行 $Ti : Al_2O_3$ 激光腔内加波长调谐器的情况下,波长 790nm 处双向运转的宽带行波输出均为 500mW 左右,强度很不稳定。插入 TGG 棒,重新调整后,正反向行波输出均下

降至 460mW 左右,强度仍不稳定。功率下降的主要原因是 TGG 棒的角度调整误差及吸收。加钕铁硼磁体和旋光石英晶片后,再经仔细调整,得到了稳定的单向行波输出约 400mW。尽管色散补偿得较好,但正向行波仍有一定的损耗,因为正向运行的 p 偏振光经旋光石英晶片后其偏振面被旋过一个小角度,从而产生了一个小的 s 偏振分量,不可避免地要在 TGG 棒上造成一点额外损耗。

实验中所使用的腔反射镜,由于镀膜的限制,有效波段为750~860nm,在此波长范围内调谐时,实验中均得到了稳定的单向行波,并且观察不到另一方向上的输出。

我们经过理论计算,利用磁旋光介质 TGG 和旋光石英晶片组合,设计了宽带光学单向器。该器件可在 700~1000nm 波长范围内使环行激光器中单向行波运行,可在可调谐环行 Ti : Al₂O₃ 激光器中获得应用,效果良好。

参 考 文 献

- [1] 彭望墀等, Appl. Opt. , Vol. 24(1985)p. 938
 - [2] H. W. Schoder, et al. Appl. Phys. , Vol. 14(1977)p. 377
 - [3] R. Roy, et al. Opt. Lett. , Vol. 12(1987)p. 672
 - [4] T. F. Johnston, et al. IEEE J. Quan. Elec. , Vol. QE-16
(1980)p. 483
 - [5] 赵凯华, 钟锡华, 光学(下册), 北京大学出版社, 1984
年第一版, p. 216
 - [6] 梁晓燕, 王军民, 李瑞宁, 谢常德, 彭望墀, 中国激光
(待发表).