

用双折射晶体制做偏振无关分束器

李国华 李继仲

(曲阜师范大学激光研究所, 曲阜)

摘要: 以光波在双折射晶体中传播的相位延迟理论为依据, 本文提出一种新型的薄片式偏振无关分束器, 即通过合理选择晶体的厚度和光轴的取向, 可以使透、反射光的分束比不受入射光偏振形态的影响, 文中给出了器件设计的一般理论, 对晶体石英器件的测量表明, 当入射偏光方位角变化时, 其分束比的起伏小于0.2 dB。

Polarization-independent beam-splitter made of birefringent crystal

Li Guohua, Li Jizhong

(Laser Institute, Qufu Normal University)

Abstract: A novel polarization-independent beam-splitter made of birefringent crystal plate is provided. Choosing the thickness of the plate and orientating the optical axis properly, the ratio of reflected and transmitted light can be a constant and irrelative to polarization of laser output. The general analysis and experimental measurement of a quartz plate is introduced. The fluctuation of the ratio is limited within 0.2 dB with the variation of incident polarization azimuth.

一、引言

分束器是光学技术中最基本的器件之一, 广泛地应用于干涉、全息、功率监控等光学系统, 与起偏器和退偏器的发展状况类似, 尽管用于偏振分束的各种器件已达到了很高的精度^[1~3], 但与偏振无关的分束器的研制仍是一个非常棘手的问题, 对于大多数常用的金属薄膜和透明介质板分束器^[4,5], 当入射光的偏振态随时间变化时便暴露出明显的缺陷。对于金属镀膜分束器, 由于其作为二次辐射源的偶极子的取向依赖于入射光场的电矢量, 因而分束比是变化的, 大小取决于入射光的偏振方向, 而对于一般的可调式晶体薄板分束器, 来自晶体第二表面的反射比随入射偏振态而变, 尽管可以采用附加光栏等方法将其挡掉, 但使用起来颇为不便, 并且造成了部分光能的损失。本文研究表明, 对于双折射适宜的单轴晶体, 将其按一定的方向切割成片, 若片厚选择得当, 可获得适用于单色光的理想的偏振无关分束器, 即分束比不受入射光偏振状态的影响, 而且器件易于加工和装调, 尤其适用于激光功率监控、全息等光学系统。与常规器件相比, 成本大大减小。

二、设计思想

偏振态为任意的一束光，可视为由两束平面偏振光的合成，该两束光的偏振矢量相互正交且具有一定的位相差。设两平面偏振光分别为TE波和TM波，偏振无关分束器设计思想基于对于一束入射偏光方位角为任意的平面偏振光均有 $R_{TE} = R_{TM}$ (R 为晶体表面的反射比)，借此，器件的设计和在光路中的使用应满足以下两个条件：(1) 入射光应以布儒斯特角入射到晶体上，以保证TE波和TM波的有效分离，使得TE波在第一表面反射，TM波无反射地进入晶体。(2) 进入晶体的平面偏振光应产生 π 位相变化，使到达第二表面时TM波成为TE波发生内反射，该内反射再次到达第一表面复合成为TM波出射晶体，而进入晶体的TE波在第二表面成为TM波无反射地透射出去，见图1。

显然，条件(1)易被满足，它决定了器件在光路中使用时的方位，为满足条件(2)，应适当选取晶体光轴的取向和晶片的厚度，这是器件设计中的关键。

1. 光轴的取向

为满足条件(2)，晶体光轴的取向既不能在入射面内，也不能垂直于入射面。利用单轴晶体双折射的轴对称特性并考虑到理论处理方便，我们如此选择光轴的方向，使得e光在第二表面的入射角等于反射角，这一要求限定了光轴必须位于入射光和内反射光的平分面内，该面与入射面是正交的，见图2，其中 OO' 是光轴。

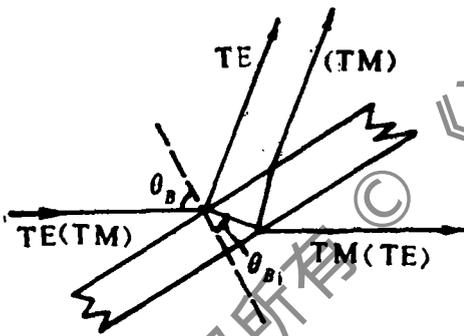


图1 偏振无关分束器光路示意图

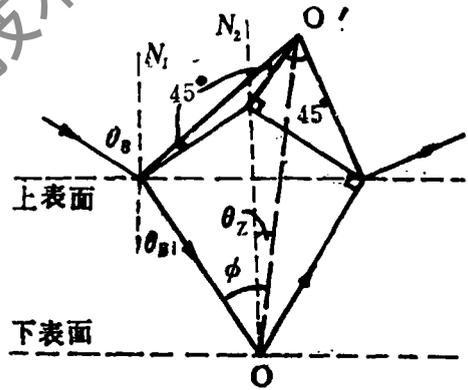


图2 光轴取向及e光线光路示意图

为了计算方便，我们取光轴在垂直于入射光和垂直于内反射光的两个平面上的投影均与入射面成 45° 角，参考图2可得到：

$$\operatorname{tg} \theta_z = \cos \theta_B \quad (1)$$

式中， θ_z 是光轴与晶面法线的夹角，对于晶体石英 $\theta_B \approx 57^\circ$ ， θ_z 约为 28.5° 。

2. 晶体的厚度

光轴的方向确定之后，可由条件(2)选择晶体的厚度 d ，由图2，设晶体内部光线与光轴的夹角为 φ ，则

$$\cos \varphi = \sin \theta_B \cdot \cos \theta_z \quad (2)$$

设 Δn 为该光线对应的双折射率， ΔN 为最大双折射率，由折射率椭球可得^[1]

$$\Delta n \approx \Delta N \sin^2 \varphi \quad (3)$$

由条件(2)可直接得到

$$d = \frac{N\lambda}{2} \frac{\sin\theta_B}{\Delta N \sin^2\varphi} \quad (4)$$

式中, N 为奇数, 将方程(1)、(2)代入方程(4)得

$$d = \frac{N\lambda}{4\Delta N} (1 + \sec^2\theta_B) \sin\theta_B \quad (5)$$

以晶体石英为例, 取 $\lambda = 6328 \text{ \AA}$, $\theta_B = 57^\circ$, $\Delta N = 0.00906$, 当 N 取5, 7, 9时, 相应的厚度值分别为 $317.0 \mu\text{m}$, $443.8 \mu\text{m}$, $570.6 \mu\text{m}$ 。

三、分 析

为简单起见, 设入射光是平面偏振光TM, 见图1, 在第一表面, 由于是布氏角入射, $R_1 = 0$, 到达第二表面TM波成为TE波, 反射率为

$$R_2 = \sin^2(\theta_B - \theta_{B_i}) = \cos^2\theta_B \quad (6)$$

当内反射光再次到达第一表面时, 又变成TM波因而无反射透过, 显然对于入射的TE波仅在第一表面反射一次, 反射率亦为 $R = \cos^2 2\theta_B$, 透射部分到达第二表面时成为TM波全部透过。这表明器件的分束比与入射光的偏振状态无关, 其值为常数 $\cos^2 2\theta_B$, 当入射光为自然光时, 反射光和透射光也是自然光, 由于入射光在第一表面(或第二表面)只反射一次, 不会产生透射或反射光强的相干变化, 这对某些特殊的应用极为有利, 也是该器件区别于其他同类器件的主要特征。

由(5)式看到, 对于双折射率比较大的晶体要达到适当的厚度, N 必须取大值, 对于这种多级片, 推迟精度易受加工误差和环境因素的影响, 因而分束比的稳定性较差。实际上, N 值愈小愈好, 考虑到晶体厚度的加工容限, 选用晶体石英、蓝宝石、鱼眼石等材料比较适宜, 其 N 值一般不超过10。

四、测 量

1. 工作点的调整

(1) 调整入射角等于布氏角, 以平面偏振光TM波入射, 见图3, 绕晶面波线转动晶体使光轴位于入射面内, 此时测得反射光强最小。(2) 绕法线转动晶体 90° , 此时可探测到反射光强最大, 该位置即分束器的工作点。

2. 测量

图4是晶体石英分束器的分束比与入射偏

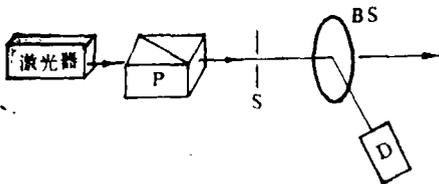


图3 分束器工作点的调整光路

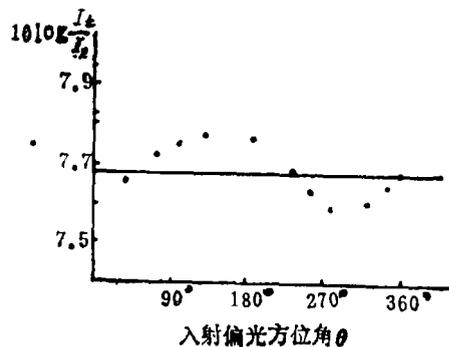


图4 分束比与入射偏光方位的关系

关于LiF:F₂⁻晶体调Q的若干问题

张贵芬

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海)

摘要: 本文讨论了F₂⁻的寿命及不同工作参数对调Q性能的影响, 实验结果和理论计算结果有很好的 consistency。

Some problems of LiF:F₂⁻ crystal passive Q-switch

Zhang Guifen

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

Abstract: This paper discusses the lifetime of F₂⁻ centers in LiF crystal and effect of different operating parameters on characteristics of Q-switching lasers. The experimental results are in reasonable agreement with the values given by theory model.

一 引 言

自从LiF:F₂⁻色心晶体被动Q开关问世以来, 多年的实践证明, 对于Nd激光器确实是一种理想的调Q元件。它不但具有寿命长, 操作简单等特点, 而且调Q效率很高。它既可以应用在高功率、高重复频率Nd激光系统, 也可以用来产生几十千赫兹重复率的巨脉冲序列; 既可以用来在连续Nd激光中产生调Q脉冲, 也可以用来实现锁模。因此, 它有着广阔的应用前景。本文报导了关于LiF:F₂⁻晶体调Q的一些新结果。目的在于获得更理想的使用条件。

光方位的关系曲线, 测量表明图3中的起偏镜旋转一周, 分束比的最大起伏<0.2dB。

参 考 文 献

- [1] Azzam R. Appl Opt, 1986; 5(23): 4225
- [2] Dearson R, Sullivan T, Frekel L. J Mol Spectrosc, 1970; 34: 440
- [3] Amiot C, Guelachvili G. J Mol Spectrosc, 1974; 51: 475
- [4] Baumeiter P. Opt Acta, 1961; 8: 105
- [5] Hirschfeld T. Appl Spectrosc, 1975; 29: 192
- [6] 小川智哉. 应用晶体物理学. 北京: 科学出版社, 1985: 71

收稿日期: 1991年4月6日。收到修改稿日期: 1991年6月24日。