

文章编号: 1001-3806(2005)06-0615-02

熔石英棱镜的色散特性和在固体激光器中的应用

周 城,张中士,张海琨
(济南大学 理学院,济南 250022)

摘要: 论述了熔石英三棱镜的分光特性,得到了随着入射光波长 λ 的增加两谱线之间的夹角 $\Delta\theta$ 逐渐减小;随着入射光波长差 $\Delta\lambda$ 和所用棱镜顶角 A 的增大两谱线之间的夹角 $\Delta\theta$ 逐渐增大这一非常重要的结论。在此基础上介绍了熔石英三棱镜在 LD 抽运固体激光器中的分光、估算和较粗略鉴定波长、制造多波长激光器的应用。

关键词: 熔石英棱镜;色散;固体激光器;分光特性

中图分类号: O436.3 **文献标识码:** A

Dispersion characteristics of fused quartz prism and its applications in solid-state lasers

ZHOU Cheng, ZHANG Zhong-shi, ZHANG Hai-kun
(Science of School, Ji'nan University, Ji'nan 250022, China)

Abstract: Dispersion characteristics of fused quartz prism are described in detail. The very important conclusion is attained that angle of wavelength span $\Delta\theta$ reduced via stretching of incidence wavelength λ and increased via incidence span $\Delta\lambda$, angle A . According to above characteristics, applications of light splitting, computation and identification wavelength, and producing multiple-wavelength laser in LD pump all-solid-state laser are also discussed.

Key words: fused quartz prism; dispersion; solid-state laser; spectral characteristics

引 言

棱镜作为一种结构简单、工艺流程短、成品率高、价格低的光学元件,在许多方面得到了广泛的应用,特别是在激光技术中有着更加实际的应用前景^[1~4]。已经引起了许多人的关注,并对棱镜进行了深入、广泛的研究^[5,6]。

本文中详细论述了熔石英三棱镜的分光特性,并得到了随着入射光波长 λ 的增加两谱线之间的夹角 $\Delta\theta$ 逐渐减小;随着入射光波长差 $\Delta\lambda$ 和所用棱镜顶角 A 的增大两谱线之间的夹角 $\Delta\theta$ 逐渐增大这一非常重要的结论。在此基础上介绍了熔石英三棱镜在 LD 抽运固体激光器中的分光、估算和较粗略鉴定波长、制造多波长激光器的应用。

1 棱镜的色散作用

这里以熔石英棱镜为例,来说明棱镜的分光作用。熔石英棱镜的色散公式是^[7]:

作者简介:周 城(1974-),男,硕士,讲师,主要从事激光器件和非线性频率变换技术的研究。

E-mail: cczhoucheng@sina.com

收稿日期:2004-06-08;收到修改稿日期:2004-07-23

$$n^2 = 1 + \frac{0.6961663\lambda^2}{\lambda^2 - 0.0684043^2} + \frac{0.4079426\lambda^2}{\lambda^2 - 0.1162414^2} + \frac{0.8974794\lambda^2}{\lambda^2 - 9.896161^2} \quad (1)$$

式中, λ 为波长,适用波长范围是 $0.21\mu\text{m} \sim 3.71\mu\text{m}$,温度是 20°C 。其折射率随波长变化的曲线如图 1 所示。

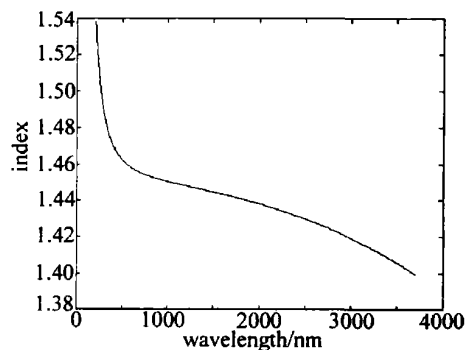


Fig 1 Curve of prism index n via wavelength λ

对三棱镜而言,两条谱线间的角距离为^[8] $\Delta\theta$:

$$\Delta\theta = \frac{2 \sin^2 \frac{A}{2}}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2(A/2)}} \times \frac{dn}{d\lambda} \times \Delta\lambda \quad (2)$$

由(1)式得:

$$\frac{dn}{d\lambda} = -\frac{\lambda}{n} \left[\frac{0.003257}{(\lambda^2 - 0.0046791)^2} + \frac{0.0055121}{(\lambda^2 - 0.0135121)^2} + \frac{87.8937498}{(\lambda^2 - 97.9340025)^2} \right] \quad (3)$$

在棱镜的顶角 $A = 50^\circ$ 时,根据 (1)式 ~ (3)式得到两谱线之间的夹角 $\Delta\theta$ 随波长 λ 的变化曲线,如图 2 所示,图中实线为 $\Delta\lambda = 100\text{nm}$,点线为 $\Delta\lambda = 266\text{nm}$,虚线

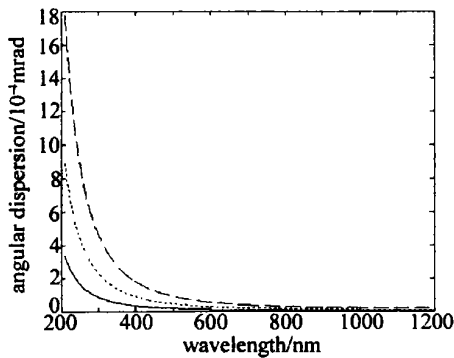


Fig 2 Curve of angle span $\Delta\theta$ via wavelength λ

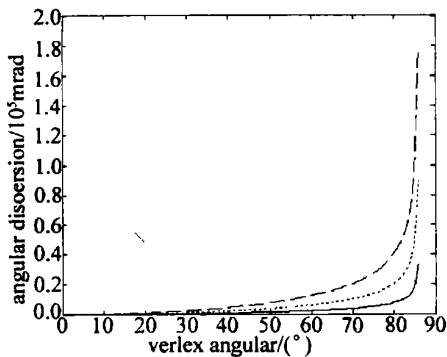


Fig 3 Curve of angle span $\Delta\theta$ via A

为 $\Delta\lambda = 532\text{nm}$ 的曲线。从图中可以看出,随着波长的增加两谱线之间的夹角 $\Delta\theta$ 逐渐减小;随着 $\Delta\lambda$ 的增大两谱线之间的夹角 $\Delta\theta$ 逐渐增大。图 3 是在波长 $\lambda = 532\text{nm}$ 时得到的两谱线之间的夹角 $\Delta\theta$ 随顶角 A 的变化曲线,由图可以看出,随着顶角 A 的增大,两谱线之间的夹角 $\Delta\theta$ 增大。因此,为了使两条谱线之间的角距离大一些,应选用顶角较大的棱镜,这样容易将两条谱线分开。

2 在固体激光器中的应用

2.1 分光应用

利用三棱镜分光作用,可以将不同波长的光分开。在 LD 抽运固体激光器中,为了获得所要的波长的光,通常采用棱镜来分光^[4]。

2.2 估算验证波长的应用

对 LD 抽运 Nd YAG 1064nm 固体激光器,首先采用腔外倍频的方式产生 532nm 的绿光激光,再经过和频方式获得 355nm 的激光,这 3 束光将沿同一方向传播,只有绿光是可见光。经过熔石英棱镜后这束光将变为 3 束光,其实验装置简图如图 4 所示,图 5 是在距棱镜 5m 远处用 CCD 相机拍摄的这 3 束光的光斑分布图,自左向右依次为 355nm, 532nm, 1064nm 的光斑。

根据 (1)式计算得波长为 355nm, 532nm, 1064nm

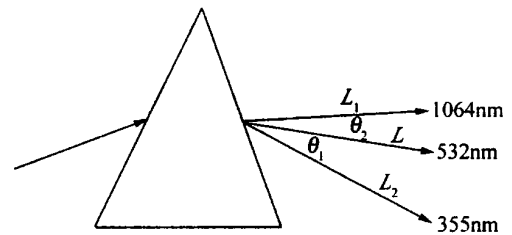


Fig 4 Schematic of experimental setup

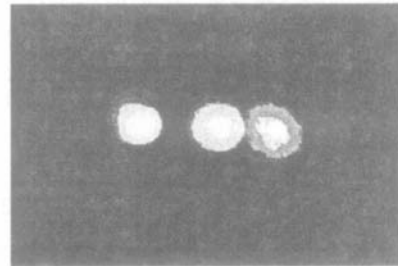


Fig 5 Beam picture

相应的折射率分别为 1.476071880, 1.460706344, 1.449630990。再根据 (2)式得到 355nm 的光与 532nm 的光之间的角距离 $\Delta\theta_2$ 和 1064nm 的光与 532nm 的光之间的角距离 $\Delta\theta_1$ 之比为:

$$\frac{\Delta\theta_2}{\Delta\theta_1} = \frac{n_{355} - n_{532}}{n_{532} - n_{1064}} = 1.387362968 \approx 1.4 \quad (4)$$

在长度距离很大时,以 532nm 光的距离为中心距离 L , 则 $\Delta L_2 = L\Delta\theta_2$, $\Delta L_1 = L\Delta\theta_1$, 所以:

$$\Delta L_2 / \Delta L_1 = \Delta\theta_2 / \Delta\theta_1 \quad (5)$$

直接测量出 ΔL_1 和 ΔL_2 , 代入 (5)式便可计算出 $\Delta\theta_2 / \Delta\theta_1$ 的值,再与 (4)式比较,便可知道获得的波长即是 355nm 的激光。这种方法也适用于来验证 266nm 的激光,此时 (4)式变为:

$$\frac{\Delta\theta_2'}{\Delta\theta_1} = \frac{n_{266} - n_{532}}{n_{532} - n_{1064}} \quad (6)$$

根据 (1)式计算得波长为 266nm, 532nm, 1064nm 相应的折射率分别为 1.499683423, 1.460706344, 1.449630990。再代入 (6)式,得其理论计算值为: $\Delta\theta_2' / \Delta\theta_1 = 3.51926268 \approx 3.5$ 。这与直接测量求得的结果完全相符。

2.3 用来制造多波长激光器

将 3 束激光分别设置 1 个输出孔,这样 1 台激光器同时输出 3 种不同的波长。这既可以满足不同情况下的需求又可以节省费用,将为工厂和科研单位提供更大的方便,同时还可以拓宽 LD 抽运固体激光器的应用范围,推动其产业化的进一步发展。

3 结论

详细论述了熔石英三棱镜的分光原理,并得到了随着波长的增加两谱线之间的夹角 $\Delta\theta$ 逐渐减小;随着 $\Delta\lambda$ 的增大两谱线之间的夹角 $\Delta\theta$ 逐渐增大;随着顶

(下转第 635 页)

至上方的 $13\mu\text{m}$ 的范围 (共计 $26\mu\text{m}$) 作为研究对象, 考察这段复合材料的热应力分布。分别选取温度变化范围为: (1) $60\text{C}\sim 100\text{C}$; (2) $-20\text{C}\sim -50\text{C}$ 。则在条件 (1) 下, $\Delta T=10\text{C}$, 可计算出的沿纵向热应力范围为 $190\times 10^{12}\text{Pa}\sim 3435.230\times 10^{12}\text{Pa}$; 横向热应力范围为 $190\times 10^{12}\text{Pa}\sim 1364.698\times 10^{12}\text{Pa}$; 在条件 (2) 下, $\Delta T=10\text{C}$, 可计算出的沿纵向合横向热应力范围为 $6.72\text{Pa}\sim 236.697\text{Pa}$; 而上述复合薄膜产生残余应力的范围是 $2000\text{MPa}\sim 5000\text{MPa}$ 范围内^[8], 可以看出, 上述复合结构在温度范围为 $-20\text{C}\sim 80\text{C}$ 、且温差为 10C 时, 不会产生残余应力现象, 从而薄膜不会产生较大的变形, 器件不会失效。

3 结 论

研究了基于 MEMS 共面波导腔结构带阻、带通滤波器件, 分析了它们的微尺度热应力、表面效应、厚度效应, 该器件显示了良好的性能。模拟出阻带中心频带可达到 21GHz , 插入损耗大于 22dB 、阻频带为 6GHz , 尺度微小; 带通滤波器中心频率为 39GHz , 损耗小于 1.5dB , 实现了同一结构实现带通、带阻两种滤波器件的片上系统, 大大缩减了器件的体积。若改变该设计结构的参数, 可获取其它频段的带阻、带通滤波器。根据设计的器件特征, 该器件加工方便, 符合表面微机

械加工工艺标准, 设计具有一定的可行性和实用性。

当然, 要获取实际的 MEMS 无线通信器件需要解决的问题很多, 特别是一些基础理论及其微细工艺, 这需要广大科研工作者的共同努力。

参 考 文 献

- [1] CHAN K T, CHEN C Y, CHN A *et al* 40GHz coplanar waveguide bandpass filters on Silicon substrate [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2002, 12 (11): 429~431.
- [2] AHN D, PARK J S, KM Ch S *et al* A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2001, 49 (1): 86~93.
- [3] HAYDL H, KITAZAWA T, BRAUNSTEIN J *et al* Millimeterwave coplanar transmission lines on gallium arsenide, indium phosphide and quartz with finite metallization thickness [A]. IEEE MTT-S Int Microwave Symp Dig [C]. Denver, Denver Co, 1991. 691~694.
- [4] 蒋振新, 丁桂甫, 杨春生 *et al* 共面波导有限金属厚度效应的研究 [J]. 微波学报, 2004, 20 (2): 25~28.
- [5] 李应良. 射频系统中 MEMS 谐振器、滤波器基础理论及其应用研究 [D]. 重庆: 重庆邮电学院, 2004. 21~29.
- [6] DB N I, KATEHIL, P B, FONCHAK G E *et al* Theoretical and experimental characterization of coplanar waveguide discontinuities for filter applications [J]. IEEE on Trans Microwave Theory and Techniques, 1991, 39 (5): 873~882.
- [7] HSU T R. EMS & microsystems: design and manufacture [M]. New York: McGraw-Hill Companies Inc, 2002. 91~147.
- [8] MADOU M. Fundamentals of microfabrication [M]. Boca Raton: CRC Press, 1997. 100~125.

(上接第 616 页)

角 A 的增大两谱线之间的夹角 $\Delta\theta$ 也逐渐增大这一非常重要的结论。并在此基础上介绍了熔石英三棱镜在 LD 抽运固体激光器中的应用, 即作为分光的应用、估算和较粗略鉴定波长的应用、制造多波长激光器的应用。这些应用将会进一步拓宽激光器的应用领域, 促进激光器产业化的快速发展。

衷心感谢中国科学院长春光学精密机械与物理研究所应用光学国家重点实验室的郑权博士后在实验过程中提供的指导和帮助。

参 考 文 献

- [1] 刘宏发, 刘 莉, 邓瑞平 *et al* 灯泵钛宝石激光器调 Q 运转 [J].

光学技术, 2002, 28 (2): 130~131.

- [2] 章若冰, 马 晶, 庞冬青 *et al* 激光晶体角色散对克尔透镜锁模激光器二阶三阶色散的影响 [J]. 物理学报, 2002, 51 (2): 262~269.
- [3] 廖 睿, 文锦辉, 刘智刚. KLM 钛宝石激光器产生亚 10fs 光脉冲 [J]. 科学通报, 2002, 47 (5): 345~348.
- [4] 周 城, 叶子青, 郑 权 *et al* Cr^{3+} YAG 被动调 Q 4 倍频全固态紫外激光器的研究 [J]. 激光技术, 2003, 27 (4): 339~341.
- [5] 骆成洪, 吴也文. 棱镜折射率和色分辨本领公式新的推导方法 [J]. 南昌大学学报 (理科版), 2002, 26 (3): 305~306.
- [6] 杨丽君, 安程辉. 三棱镜的应用及相应的参数选择 [J]. 保定师范专科学校学报, 2002, 15 (4): 10~12.
- [7] 章若冰, 庞冬青, 孙敬华 *et al* 非布儒斯特角情况下四棱镜组二阶、三阶色散的解析表示 [J]. 物理学报, 2000, 49 (3): 468~473.
- [8] 姚启钧. 光学教程 [M]. 3 版, 北京: 高等教育出版社, 2002. 295.