

一种基于集成光学声光作用的 新型光谱分析仪特性分析

张 梅¹

(东莞理工学院电子工程系 广东省东莞市松山湖科技园区 523808)

摘 要 介绍了一种基于集成光学声光相互作用原理的集成光学光谱分析仪, 与传统光栅光谱仪相比具有体积小, 精度高的特点。在理论上分析了这种光谱仪的基本原理、色散本领和分辨本领。给出了实验测量装置原理图, 并在试验中对 He:Ne 激光器和多模半导体激光器输出光谱进行了测量, 得到了理想的结果。

关键词 集成光学声光可调谐滤波器, 光谱分析仪, 色散, 铌酸锂。

中图分类号: TN214; O657.39 文献标识码: A 文章编号: 1004-8138(2006)04-0758-04

1 前言

近年来, 光谱分析技术得到了一些新的进展, 一种以声光可调谐滤波器(AOTF)^[1,2]作为分光元件的光谱分析手段得到了人们关注。它具有扫描速度快、调谐范围宽、重复性好、易与计算机连接等特点, 已经在近红外光谱仪^[3]、紫外光谱仪^[4]上得到了应用。特别是在临床医学中, AOTF 光谱仪已经应用于血糖的无创检验工作中^[5]。但是, 实际应用的 AOTF 光谱仪, 都是基于体器件结构, 存在着体积大、衍射效率低的缺点! 我们利用集成光学工艺技术, 制作成集成光学声光可调谐滤波器(IAOTF), 具有体积小、衍射效率高、功耗小等特点, 以此为基础制成的光谱分析仪相对于体器件结构在性能和稳定性方面都有了很大的提高。这种光谱仪, 利用声光相互作用原理, 输出波长与声波频率具有唯一对应关系, 因此, 测量精度高, 并且避免了传统光栅光谱仪所必须的复杂的机械结构。

本文从集成光学 AOTF 的基本结构开始, 对这种光谱仪的原理、分辨率、色散等特性进行了全面的理论分析, 并在试验中得到了理想的结果。

2 工作原理

2.1 集成光学 AOTF 光谱仪的基本结构

图 1 是集成光学 AOTF 光谱仪的基本结构。它的工作原理可以用声光耦合模理论^[6,7]来描述。沿 X 切 Y 传铌酸锂(LiNbO₃)晶体钛扩散单模光波导传播的光波有两个偏振模式, 准 TE 模和准 TM 模。能量从 TM 模耦合到 TE 模的比率, 即转换效率为:

$$T = \frac{\hat{u}k\hat{u}^2}{s^2} \sin^2(sy) = \frac{\hat{u}k\hat{u}^2}{\hat{u}k\hat{u}^2 + \left[\frac{\$B}{2}\right]^2} \sin^2\left(y \sqrt{\hat{u}k\hat{u}^2 + \left(\frac{\$B}{2}\right)^2}\right) \quad (1.1)$$

¹ 联系人, 电话: (0769) 2862437; 手机: (0) 13450641639; E-mail: zhangm@dgut.edu.cn

作者简介: 张梅(1977—), 女, 陕西省宝鸡市人, 讲师, 从事光通信器件和光谱分析的研究工作。

收稿日期: 2006-02-13; 接受日期: 2006-03-15

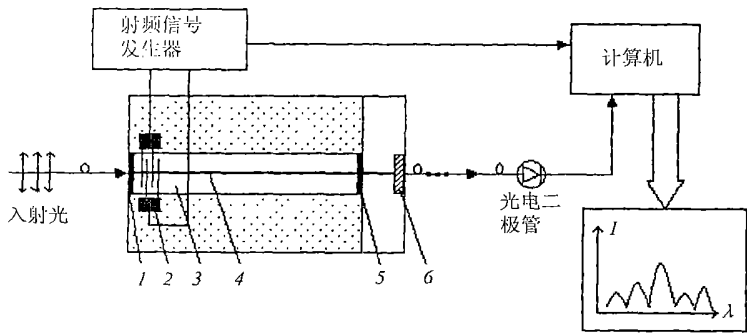


图 1 单级共线型集成光学 AOTF 光谱仪
1, 5——声吸收器; 2——叉指换能器; 3——声波导; 4——光波导; 6——TE 通偏振器。

式中, k 为光耦合系数, s 和 B 由(1. 2)和(1. 3)式确定:

$$B=2P\left(\frac{n}{K}-\frac{f_a}{M}\right) \tag{1.2}$$

$$s=k^2-\left(\frac{B}{2}\right)^2 \tag{1.3}$$

n 是晶体的双折射率, f_a , M 分别是声表面波的频率和相速度。当满足布喇格条件($B=0$) 时, 耦合效率, 即模转换效率最高:

$$T_{\max}=\sin^2(\hat{u}k\hat{u}y) \tag{2}$$

TEZ TM 模转换效率与 BL/P 的关系如图 2 所示。

2. 2 仪器的色散本领

色散本领定义为单位光学频率间隔所对应的峰值声频的间隔, 由下式决定:

$$\frac{df_a}{dM}=\frac{M\cdot n}{c} \tag{3}$$

式中 c 为光速, 色散本领也可以定义为单位光学波长间隔所对应的峰值声频的间隔。由式(1) 不难得到:

$$\frac{df_a}{dK}=\frac{M\cdot n}{K^2} \tag{4}$$

因为 n 近似的等于声光媒质的双折射率, 所以为了获得高的色散本领, 应选择 M 和双折射率高的媒质。

LiNbO_3 晶体就是一种高品质的声光媒质, 经实验测得: 在 $K=1.5\text{Lm}$ 时, $n=0.073$ 。对于 X 切 Y 传 LiNbO_3 , 在相应声频 $f_a=174\text{MHz}$ 时, 得出 $M=3630\text{m/s}$, $\frac{df_a}{dK}=0.116\text{MHz/nm}$ 。

2. 3 仪器的色分辨本领

当 $kL=\frac{P}{2}$ 时, 半极大值全带宽(FWHM) 由下式确定:

$$K_{1/2}=\frac{0.80K^2}{\hat{u}n\hat{u}L} \tag{5}$$

如果同时入射的两条谱线强度相等, 而且间隔等于 $K_{1/2}$ 的 1. 1 倍, 这时一条谱线的极大值近似落在另一谱线的第一个极小值上。根据瑞利原则我们认为这样的两条谱线看作刚好能分辨, 则分辨

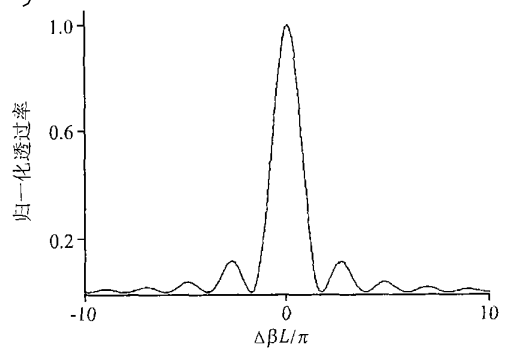


图 2 TMZ TE 模转换器对光波波长的透速率

本领为:

$$R=1.1\frac{K}{\$K_{/2}}=\frac{\hat{u}\$n\hat{u}L}{0.88K}$$

(6)

如果近似地认为\$ n 等于双折射率, 而且不随波长改变, 那么, 声光作用区越长, 双折射率越大, 分辨本领就越高。另外, 在短波一侧的分辨本领要高于长波一侧。

3 实验过程

在实验中, 我们利用输出波长为 1. 523Lm 的氦氖激光器, 对制成的 IAOTF 进行了性能测试。并对多模激光器的输出光谱进行了测量。实验装置如图 3 所示, 待测光源经过耦合透镜进入单模光纤, 光纤输出经过准直透镜和偏振片, 变成偏振光; 偏振光经过 IAOTF 后, 在输出端通过光电二极管对光强进行监测。通过对射频射出器频率的调整, 对光源光谱进行扫描, 找到光源光谱中的峰值波长, 从而确定光谱成分。

实验装置的光路部分, 需要手动调整, 保证入射光损耗最小, 提高光谱的分辨率。实验的测量部分由计算机控制, 自动完成, 可以对射频输出步长进行设置, 从而控制扫描精度; 测量数据通过模数转换直接保存到计算机中。

4 实验结果和讨论

在 IAOTF 的性能测试中, 在有效声光作用长度 16mm, 射频驱动功率 35mW, 声波频率 177. 8MHz 时, 获得了插入损耗-4dB, 3dB 带宽 1. 6nm, 模式转换效率大于 99. 3%, 开关时间小于 5Ls 的实验结果, 与理论计算结果符合的较好。其透过率函数曲线如图 4 所示, 其中, 实线部分为理论值, 虚线部分为试验测量值, 可以看出, 理论与实验吻合的很好。

在对多模激光器的输出光谱进行的测量中, 得到了如图 5 所示结果, 图中给出了声波频率与光波长的对应关系。多模激光器的波长间隔为 0. 8nm, 其对应的声波频率间隔为 0. 2MHz。

作为一种集成小型化的新型光谱分析仪, 具有体积小、灵活、精确等特点。在光网络分析、临床检验、食品检验等领域, 都将有重要的应用。本文主要给出了该种光谱分析仪的可行性研究成果, 关于这种光谱仪性能的改善以及数据处理方面, 将在今后的论述中进一步讨论。

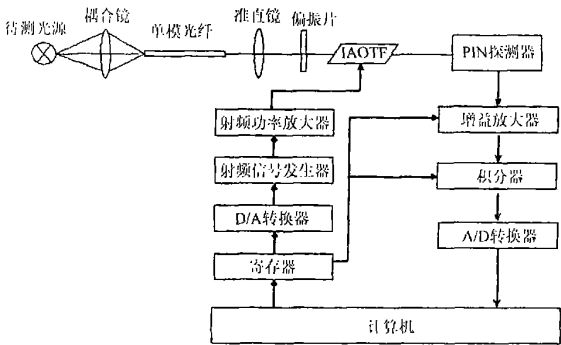


图 3 IAOTF 光谱仪测量装置原理图

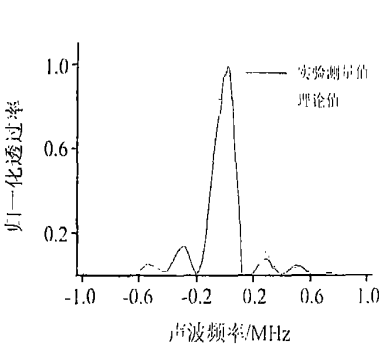


图 4 IAOTF 透过率函数曲线试验结果

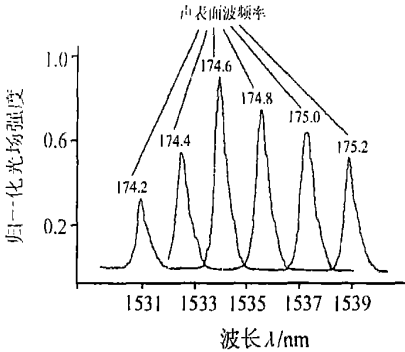


图 5 利用 IAOTF 对多膜激光器输出光谱测量的试验结果

参考文献

- [1] Hthne M, Eschenauer U, Siesler H W. Performance and Selected Applications of an Acousto-Optic Tunable Filter Near-Infrared Spectrometer[J]. Applied Spectroscopy, 1995, 49(2): 177—180.
- [2] Mortensen A N, Dyer S A, Hammarker R M. A Hadamard Multiplexed Spectrometers Based on An Acousto-Optic Tunable Filter[J]. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, 1996, 45(2): 394—398.
- [3] Tran C D, Gao G H, Near Infrared. Detection of Flow Injection Analysis by Acousto-Optic Tunable Filter Based Spectrometry[J]. Anal. Chem., 1996, 68(13): 2264—2268.
- [4] 何嘉耀, 彭荣飞, 张展霞. AOTF 在光谱分析中的应用[J]. 光谱学与光谱分析, 2002, 22(1): 67—70.
- [5] 陈民森, 陈文亮, 杜振辉. 近红外无创血糖测量的研究[J]. 现代仪器, 2004, (4): 38—40.
- [6] Hu H Z, Lin H Y, Yang J S. An Integrated Quasi-Collinear Coupled Acoustooptical Mode Convert[J]. Optics Communication, 2002, 208(1): 79—83.
- [7] 薛挺, 祁芳, 胡鸿璋等. 集成光学声光可调谐滤波器的研制[J]. 光学学报, 2000, 20(8): 1095—1099.

Characteristics of a Spectrometer Based on Acoustic-Optic Filter

ZHANG Mei

(Department of Electronics Engineering, Dongguan University of Technology, Dongguan, Guangdong 523808, P. R. China)

Abstract A spectrometer based on acoustic-optic filter is introduced. The characteristics of resolution and dispersion are theoretically analyzed. The spectrum measurement system is described graphically. The spectra of a light source of He-Ne laser and a multimode laser diode were measured by this spectrometer with satisfactory results.

Key words Integrated Optical Acoustic-Optical Tunable Filter (IAOTF), Spectrometer, Dispersion, LiNbO_3 .

廉价光谱分析资料讯息

1. 《光电光谱分析》, 周开亿主编, 4 册, 16 开, 1236 页, 《光谱实验室》编辑部增刊, 每套 55 元。
 2. 《光谱实验室》2004 年 1—6 期, 16 开, 1248 页, 每套 75 元。
 3. 《数理统计在化学、光谱分析中的应用》, 纳利莫夫著, 余生等译, 《光谱实验室》编辑部编, 16 开, 396 页, 每册 10 元。
 4. 《邮票上的光谱学和化学史》, 周开亿等编, 《科学出版社》出版, 16 开, 158 页, 每册 10 元。
 5. 《空心阴极放电及其应用》, 周开亿主编, 《真空科学与技术》杂志社出版, 32 开, 798 页, 上下册, 每套 10 元。
 6. 《邮票上的化学、光学和光谱学史》, 周开亿主编, 《光谱实验室》2006 年第 1 期彩色抽印本(收藏本), 16 开, 64 页, 每册 30 元。
- 以上各书售价中均含普通印刷品邮费。

联系地址: 北京市 81 信箱 66 分箱 《光谱实验室》编辑部联络处 刘建林,
邮编: 100095