

光电倍增管光谱特性新测试方法研究

周书铨 李 铿*

黄庚辰 田 磊

(上海科技大学物理系, 上海 201800) (中国科学院上海硅酸盐研究所, 上海 200050)

摘 要 提出以电调谐的声光滤光器作为色散元件, 研究光电倍增管光谱特性新的测试方法. 采用时间相移技术, 对系统定标, 使监控光束直接截取自测量光束.

关键词 声光滤光器, 时间相移.

1 引 言

光谱特性是光电倍增管的重要参数之一. 光电倍增管的光谱灵敏度是指器件对相同功率 ϕ 的单色光入射所产生的光电流值(mA/W)^[1].

利用光栅或棱镜分光, 通过调节单色仪的缝宽或其他手段实现不同波长的等光功率入射, 这是光谱响应的传统测试方法. 但这给系统设计与实用带来诸多不便, 更难于满足其它场合, 诸如快速测量等方面的要求. 为了能从复合光源中获得等幅的光谱辐射, 人们作了不懈的努力. 利用介质中声光互作用效应的声光滤光器, 通过电调谐超声波的频率和功率快速而又方便地输出等幅的光谱辐射.

本文提出以声光滤光器作为等光功率输出的色散元件来测试光电倍增管相对光谱灵敏度. 测试系统采用时间相移技术定标^[2,3], 使监控光束直接取自测量光束本身, 与声光滤光器的其它有关应用相比, 消除了因监控光束与测量光束不是同一衍射光束而引入的系统误差.

声光光谱方法与光栅或棱镜机械扫描式的光谱技术截然不同. 前者为电调谐快速光谱扫描, 是近年发展起来崭新的光谱方法. 声光光谱方法有诸多独特优点, 例如: (1) 可由电调谐来获取所需波长的等幅单色光; (2) 扫描模式可变, 或顺序, 或抽样; (3) 光谱线宽可变; (4) 光通量大, 信噪比高; (5) 与计算机连接方便; (6) 体积小, 结构紧凑.

目前, 声光滤光器已在染料激光调谐、光信号处理等领域得到广泛应用, 其它有关方面的应用也有诸多报道^[4~6].

2 声光滤光器的工作原理

当各向同性介质中有超声波传播时, 会引起介质的局部伸缩, 机械应力引起的光测弹性

* 上海科技大学物理系 '93 应届生.

收稿日期: 1993 年 9 月 8 日; 收到修改稿日期: 1993 年 11 月 8 日

效应将使介电常数发生变化，即介质的折射率将受应变的调制而作周期性变化，因而相当于一个位相光栅，光通过它时将发生衍射。如果超声波频率较低，声光互作用短时，类似于平面光栅衍射，称为喇曼-奈斯(Raman-Nath)衍射。而当超声波频率较高，且声光互作用长时，则类似于晶体对 X 光的体光栅衍射，称为布拉格(Bragg)衍射。对各向异性介质，声光互作用会使光的偏振状态发生变化，即入射光和衍射光取不同的本征模，形成反常布拉格衍射。反常声光互作用不能再用力相光栅来说明。

声光滤光器是利用反常布拉格衍射原理而设计的。它能以快速电调谐输出所需衍射光波长及功率，并有很大的孔径角。因而，它能完成一般色散元件无法实现的功能。有共线与非共线两种作用模式。前者，衍射光和入射光的偏振态不同，但两者方向一致，故需用检偏器把它们分离出来。非共线作用模式的声光滤光器，不需要用检偏器来分离衍射光，因结构简单及使用方便等优点而倍受青睐。图 1 为非共线型离轴的声光滤光器的反常布拉格衍射基本结构^[7]。图中压电换能器(transducer)是声光器件的重要组成部分。它把电振荡转换成超声振动，并通过换能器和互作用介质的粘合层而传到声光互作用介质中，形成超声波。

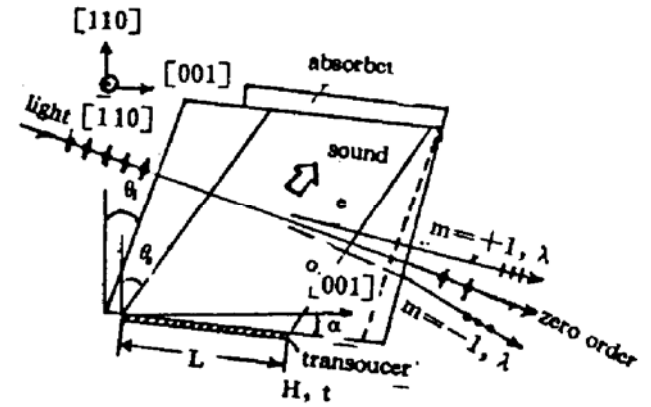


Fig. 1 A tilt configuration of TeO₂ far-off-axis acoustooptic filter

由图可见，一束自然光与 TeO₂ 晶体[001]轴成 θ_i 角入射，超声波沿着与该晶体[110]轴成 α 角入射时，则由于 TeO₂ 晶体的双折射及声光互作用，超声波将引起入射光束反常布拉格衍射。对给定的超声波频率 f ，只有确定波长 λ 的入射光才能满足动量匹配条件而被衍射，起到滤光作用，得到两束分开而又彼此独立的非常光 e 及寻常光 o 。出射的衍射光波长 λ 与超声波频率 f 的调谐关系可由下式给出^[7]。

$$\lambda = [\Delta n_b(\lambda) v(\alpha) / f] \sin^2 \theta_i / \sin (\theta_i - \alpha), \tag{1}$$

其中 $v(\alpha)$ 为与超声波入射角 α 有关的声速。 $\Delta n_b(\lambda)$ 为垂直于光轴平面内传播光的双折射。由(1)式可见，当其它条件给定时，只要改变超声波的频率 f (实际操作时是改变加在压电换能器上电信号的频率 f)，就可以调谐输出所需的光谱辐射，起到色散作用。 f 与 λ 的关系曲线如图 2 所示。由于入射的声波及光波都不是绝对的平面波，衍射的光谱带宽为^[7]

$$\Delta \lambda_o = (1/D) [\lambda / \tan (\theta_i - \alpha)] \Delta \alpha, \tag{2}$$

其中 $\Delta \alpha$ 为声波的角扩散。 D 为与波长和双折射有关的常数。

滤光器对于特定波长的衍射效率，可由下式给出^[7]

$$\eta = (\pi / \lambda) [LM_s P_s / (2H)]^{1/2} [v(0) / v(\alpha)]^{3/2} \sin (\theta_i - \alpha) \cos \theta_i / \cos (\theta_i - \theta_s), \tag{3}$$

其中 M_s 为声光介质的品质因素。 L 、 H 分别为换能器的长度和宽度。 θ_s 为与声入射角 α 有关的声能流方向与相速度方向的夹角。 $v(0)$ 为声入射角 $\alpha = 0$ 时的声速。 P_s 为入射的超声波功率。

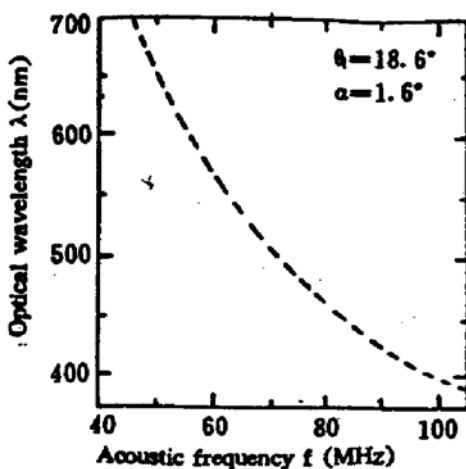


Fig. 2 Tuning curves of the wavelength vs the acoustic frequency

由(3)式可见,当其它条件给定时,通过控制超声波的功率,实际上是控制加在换能器上的电功率,就可以达到控制输出衍射光强的目的.在其它条件确定下,超声波功率 P_s 与衍射光强曲线如图 3 所示.

3 测试系统与实验结果

实验原理框图如图 4 所示.由卤钨灯 S 发出的自然光,经准直透镜系统 L_1 变为平行光投射到声光滤光器 AOF.声光滤光器的压电换能器把由超高频信号发生器 RF 输出的超高频电信号转换成超声波.于是,由于声光滤波器中声光的相互作用,输出衍射光.其波长 λ 及衍射效率分别由(1)式和(3)式决定.调节 RF 的输出频率及功率,即可获得相应的衍射光波长及功率.

图中 L_2 将衍射光束“同时”聚焦于无光谱选择性的热释电探测器 TGS 和被测光电倍增管 PMT.经 K_r 放大的 TGS 信号送入自动增益控制 AGC.当衍射光信号增大时,AGC 电压减小,使 RF 输出下降,衍射效率降低.反之,则使衍射效率增加.于是,实现了衍射光强的自动调节,从而使不同波长的衍射光功率恒定. PMT 输出信号经 K_p 放大后,送入记读仪表 R.

本实验采用时间相移技术对衍射光强进行监控定标.图中 M_1 即为此目的而设置的调制盘^[8].在某瞬间,当其上的反射镜 M_1 旋入光路时,反射镜将衍射光反射至 TGS,作为监控光束;在另一瞬间,反射镜转出光路,该衍射光作为测量光束,经补偿反射镜 M_2 (补偿 M_1)反射到被测光电倍增管 PMT.可见,本实验系统定标用的监控光束乃直接截取自测量光束本身,与其它有关声光滤光器应用系统相比^[4~6],消除了因监控光束和测量光束不是同一束衍射光而引入的系统误差.

利用图 4 实验系统,测量了型号为 R_{446} 光电倍增管的相对光谱灵敏度,如图 5 中实线所示.为了便于比较,将 R_{446} 的标准绝对光谱灵敏度^[9]经计算机换算成相对光谱灵敏度示于图 5 中虚线.由图可见,两者基本符合.

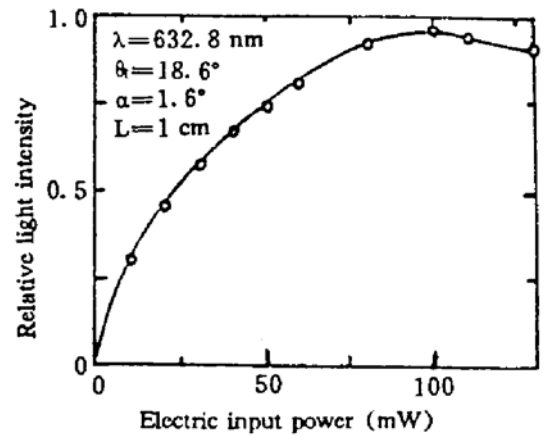


Fig. 3 Diffraction efficiency vs electric input power

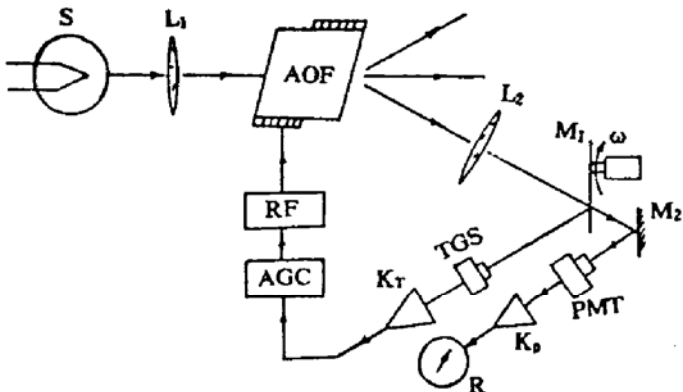


Fig. 4 The principle block diagram of experimental arrangement

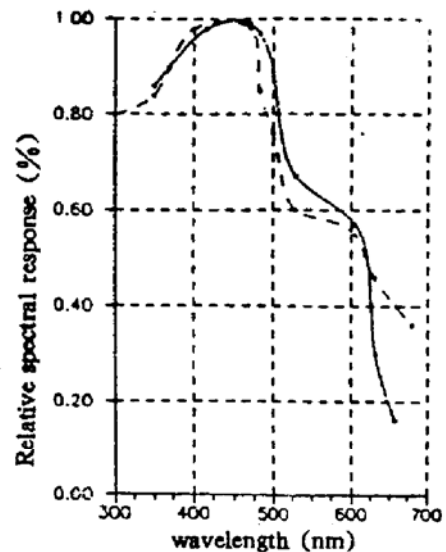


Fig. 5 Spectral response of R_{446}

作为声光光谱仪,设想可将经过实验定标的衍射光各波长所对应的超高频信号发生器

RF 输出的功率与频率等有关数据, 即图 2 和图 3 的有关函数贮存于单片机. 撤去定标用的热释电探测器, 放大器及自动增益控制单元, 便可自动电调谐不同波长的等功率输出, 从而构成一台电调谐快速扫描声光光谱仪.

本工作定标用的热释电光电探测器由中国科学院上海技术物理研究所施学成先生提供, 谨此致谢.

参 考 文 献

- [1] 汤定元、糜正瑜等编著, 光电器件概论. 上海科学技术出版社, 1989: 85
- [2] 周书铨、陆善达、谢敏等, 光纤耦合器制造中的动态监测系统. 光学学报, 1987, 7(5): 426
- [3] 周书铨、杨耀鑫、左晓路等, 高双折射单模光纤温度传感器. 中国激光, 1993, 20(7): 541
- [4] Marcus Noble, Acousto-optic devices; diverse applications. *Lasers & Optronics*, 1992, 11(3): 27
- [5] J. Jacob, I. C. Chang, Development of an AOTF spectrometer. *Proc. SPIE*, 1979, 202: 40
- [6] 黄庚晨、戴元超, 新型电调谐分光元件——声光滤波器. 物理, 1992, 17(1): 37
- [7] T. Yano, A. Watanabe, Acoustooptic TeO₂ tunable filter using far-off-axis anisotropic Bragg diffraction. *Appl. Opt.*, 1976, 15(9): 2250
- [8] 周书铨编, 红外辐射测量基础. 上海交通大学出版社, 1991: 163
- [9] Walter G. Driscoll, *Handbook of Optics*, New York, McGraw-Hill, 1978: 4~23

A New Method for Measuring PMT Spectral Characteristic

Zhou Shuquan Li Ken

(Department of Physics, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 201800)

Huang Gengchen Tian Lei

(Shanghai Institute of Ceramics, Academia Sinica, Shanghai 200050)

(Received 8 September 1993; revised 8 November 1993)

Abstract A new method for measuring spectral characteristic of photo-electron multiply tubes (PMT) is proposed. The basic idea is to utilize an acousto-optic filter as the dispersing element. The system was calibrated by using time delay technique, so that monitoring beam can take from measuring beam directly.

Key words acousto-optic filter, time delay.