

声光可调谐滤光器用于 光谱测量研究

崔 岩

(应用光学国家重点实验室)

摘要: 叙述了由声光可调谐滤光器作为分光元件的光谱测量装置, 该装置的电调谐光谱扫描是由计算机控制的。文中给出了用该装置进行的光谱测量结果, 并对声光可调谐滤光器进行光谱测量的优缺点以及器件性能限制等进行了讨论。

一、引 言

声光可调谐滤光器 AOTF (Acousto-Optic Tunable Filter) 是根据声光衍射原理制成的新型分光器件, 它是由声光互作用介质和键合在其上的换能器构成^[1]。换能器将 RF 驱动信号转换为超声波振动, 传输到互作用介质内的超声波对互作用介质的折射率产生周期性的调制, 所以互作用介质如同一块相位光栅, 起到分光作用。当 RF 信号频率, 也就是声波频率一定时, 只有满足动量匹配条件的光波长附近很窄的光谱带内的光线发生衍射。当改变 RF 信号频率时, 满足动量匹配条件的光波长发生相应的变化, 从而能在较宽的光谱范围内调谐 AOTF 的通带。AOTF 具有光谱分辨率高、入射角孔径大、调谐范围宽和扫描速度快等优点, 这些优点对于将 AOTF 用于光谱测量是十分有利的。此外, 由于 AOTF 的光谱扫描是由电调谐进行的, 所以易于实现计算机控制, 这一优点为光谱测量自动化带来方便。下文将介绍实验室内建立的 AOTF 光谱测量装置, 并给出测量结果, 对存在的问题进行了分析和讨论。

二、AOTF 光谱测量装置

建立的 AOTF 光谱测量装置的原理图如图 1 所示, 溴钨灯的出射光经透镜 1 准直后通过样品室; 由样品室透过的光束经透镜 2 会聚照射到 AOTF 上; 光束经过 AOTF 时发生衍射, 分成衍射光和零级光两束。衍射光为单色光, 并且在传播方向上发生偏转, 所以可以利用衍射光与零级光空间位置的差异将它们分开。用光电倍增管接收衍射光, 其输出信号经 A/D 转换后由计算机采集。计算机通过软件和 D/A 变换控制 AOTF 的驱动源输出频率, 从而控制了 AOTF 的光谱扫描。

系统中采用的 AOTF 是由中科院成都光电所研制的, 器件的性能参数如下^[2]: 调谐范围 (530~760) nm; 光谱带宽 4.0 nm (633 nm 处); 峰值衍射效率 80%; 在 633 nm 处其透过特性曲线如图 2 所示。

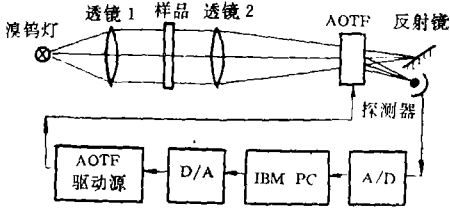


图 1 AOTF光谱测量装置原理图

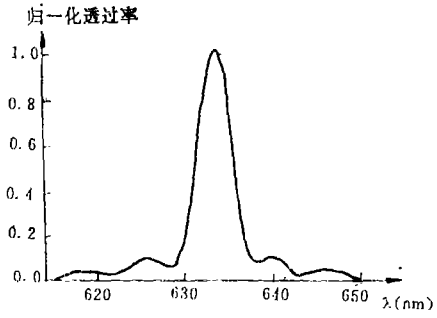


图 2 AOTF 透过特性曲线(入射光为He-Ne激光)

装置的光谱扫描是通过控制 AOTF 驱动源的压控振荡器电压实现的，控制电压和驱动源输出频率是相对应的，而驱动频率又与 AOTF 衍射光波长一一对应。对该装置测得的控制电压与衍射波长的对应关系在图 3 中给出。

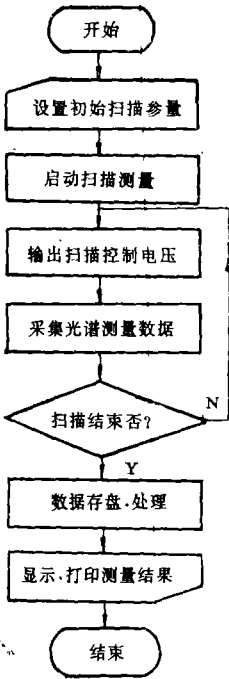


图 4 扫描控制和数据采集程序框图

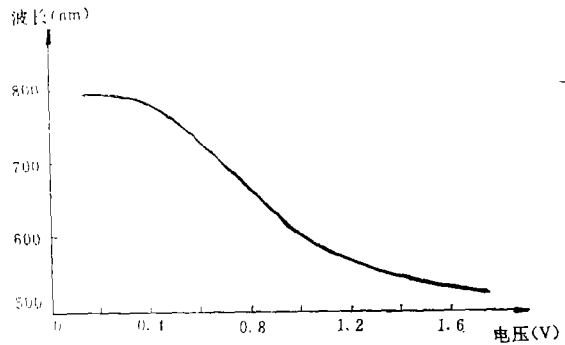


图 3 扫描控制电压与衍射波长对应关系曲线

图 4 给出了波长扫描控制和数据采集程序框图，波长扫描点数或步长由键盘输入。扫描速度的限制因素主要有三方面，AOTF、驱动源和程序执行速度。当扫描速度较大时，AOTF 互作用介质内不同处的声频不同，对应的衍射光波长就发生变化。由快速扫描导致的带宽增宽 $\Delta\lambda = \frac{d\lambda}{dt} \cdot \tau$ ，其中 $d\lambda/dt$ 为波长扫描速度， τ 为声波在互作用介质内的渡越时间。对于装置中采用的 AOTF，当波长扫描周期为 0.5ms 时，带宽将增大一倍。AOTF 驱动源所能达到的最小扫描周期为 20 μ s，而目前完成一个波长点测量的程序执行时间约为 0.2ms。所以说装置的扫描速度目前主要受到程序执行速度的限制。

三、测量结果及讨论

利用上面描述的 AOTF 光谱测量装置，我们对一块红色滤光片的透过率进行测量。图 5 和图 6 分别为样品室内无滤光片和放入滤光片时测得的光谱曲线，图 7(a) 是由两次测量结果相除后得到的滤光片透过率曲线，图 7(b) 是由分光光度计测得的该滤光片的透过率曲线。由图 7(a) 和图 7(b) 的比较能够看出，利用 AOTF 测得的透过率曲线的波长位置和透

过率大小均与分光光度计测量结果一致,差异是图7(a)的透过率曲线抖动大,这是因为该滤光片的透过区域恰好位于AOTF调谐波长范围的边缘,在这一段波长范围AOTF的衍射效率小,所以测量时信噪比较低。另外一点是,AOTF测量装置中未对光信号进行调制,是直流测量,直流测量对背景杂光影响和噪声的抑制能力较差,若采用交流方式测量,并用锁相放大器检测信号,则将明显提高测量精度。

装置中采用的AOTF的有效衍射孔径约为 $3 \times 6\text{mm}^2$,这个孔径实际上成为光学系统的孔径光阑,限制了光学系统收集的能量,也就限制了最后输出信号值。改进的办法有两种,一是使AOTF位于透镜2的焦点上,在AOTF后再加入一块透镜,会聚衍射光束并使之成像到探测器上。这样做虽然克服了AOTF孔径的限制,但随之而来的是AOTF衍射光与零级光之间的夹角(偏转角)对会聚锥束光的立体角的限制,若锥束光的立体角太大,衍射光和零级光在空间传播方向上将出现交叠部分。虽然可以通过加偏振片的方法滤除零级光,但对于红外波段这样做是很困难的。另外一种办法是研制大孔径的AOTF,我们已经通过阵列式换能器的方法设计和研制了一个大孔径可见AOTF,其孔径较目前增大了一倍多,预计采用阵列式换能器的方法可使AOTF的孔径增大4倍左右。

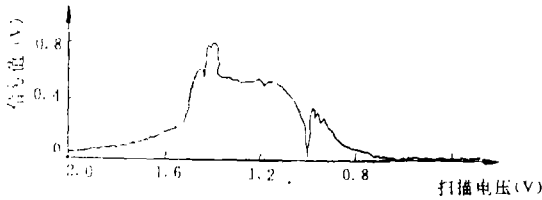


图 5 无样品时装置的输出信号曲线

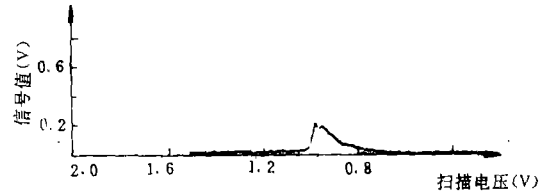


图 6 样品室中插入滤光片后装置的输出信号曲线

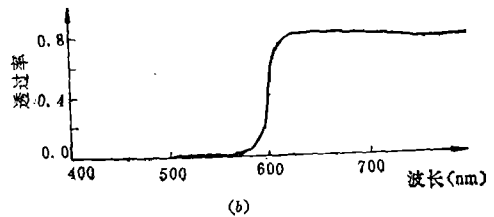
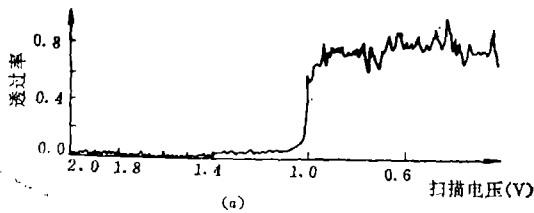


图 7 滤光片透过率曲线 (a) 由AOTF光谱测量装置测得的; (b) 由分光光度计测得的

四、结 束 语

通过AOTF光谱测量装置的建立和滤光片透过率测量,我们演示了AOTF作为光谱仪分光元件的能力和优点。当光谱分辨力要求较高时,AOTF的光谱扫描速度不能太快;当光谱分辨要求为10nm左右时,AOTF的光谱扫描周期可达0.5ms左右。AOTF的快速光谱扫描能力使它在爆炸、燃烧等快速反应的光谱测量中有重要的应用前景。此外,采用AOTF的光谱测量装置具有结构简单、易于计算机控制等优点,可望在更大的领域内得到应用。

参 考 文 献

[1] P. Katzka, SPIE, 753, 1987, 22
 [2] 崔岩; 应用光学开放研究实验室年报, 1989, 124

Study on Spectral Measurement with an Acousto-Optic Tunable Filter

Cui Yan

Abstract

The spectral measurement set-up that uses an acousto-optic tunable filter (AOTF) as its dispersive element is reported in this paper, its spectrum scan is controlled by a microcomputer. The measurement results with this set-up are given, advantages and disadvantages for using AOTF in spectral measurement are analyzed and discussed.