

可见光液晶光谱成像系统研究

沈志学¹, 李剑峰¹, 张大勇¹, 吴 军², 龙 燕¹, 黄立贤¹,
刘海涛¹, 骆永全¹, 罗 飞¹, 张翠娟¹, 杨俊杰²

1 中国工程物理研究院流体物理研究所, 四川 绵阳 621900

2 西南医院烧伤研究所, 重庆 400038

摘 要 利用向列相液晶材料的电控双折射效应, 研制了用于可见光波段光谱调谐的大口径液晶可调滤光片, 透过光谱测试表明, 该滤光片在可见光波段(420~700 nm)以 20 nm 光谱分辨率可实现连续调谐和任意波长选择。利用该滤光片搭建了一种小型光谱成像系统, 并在实验室内对若干样品进行了测试, 结果表明, 该系统可同时实现高图像分辨率和高光谱分辨率光谱成像, 具备高、超光谱分辨率光谱成像的应用潜力, 在生物医学、环境保护和资源探测等领域具有较好的应用前景。

关键词 液晶可调滤光片; 电控双折射; 工作谱段; 光谱分辨率; 光谱成像系统

中图分类号: O433.4 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2011)10-2672-04

引 言

光谱成像技术是一种集光学、光谱学、精密机械、电子技术及计算机技术于一体的遥感技术, 可以以精细的光谱分辨能力在太阳反射光谱区(0.35~2.5 μm)对地球表面进行探测。该技术在连续光谱段上对地物成像的同时, 可获取同一物体的光谱特征信息, 利用空间配准和光谱匹配等后期图像处理办法, 对物质成分及其变化具有特殊的识别能力; 在资源探测、农业质量控制、水体监测、环境保护等定量研究方面展现出巨大的应用前景。广泛而重要的应用价值推动了光谱成像技术的快速发展, 主要体现在光谱成像仪光谱分辨率的不断提高和分光原理的多样化, 以及更加注重空间分辨率、光谱分辨率以及弱信号探测等多方面的综合性能。

液晶光谱成像技术是基于液晶材料的电控双折射效应实现的一种光谱成像技术, 可实现画幅式光谱成像, 在获取高光谱分辨率图像的同时, 同样可以达到很高的空间分辨率。基于液晶光谱成像技术的成像光谱仪体积小、重量轻、易集成, 并且可实现实时程控, 因此受到广泛关注, 是未来光谱成像技术发展的重要趋势之一。美国^[1-3]和日本^[4-10]在液晶光谱成像技术研究方面开展了大量的工作, 其中日本目前已经将其成功应用于航空遥感, 美国曾计划将其应用于火星探测。我国在液晶光谱成像技术方面也较早地开展了研究, 研究兴趣主要集中在 Lyot 型液晶可调滤光片的理论和电控调

谐性能等方面^[11-16], 目前面临的主要问题是在液晶可调滤光片通光面内的均匀性、峰值光谱透过率以及带外抑制效果等方面存在明显的不足; 近几年, 部分研究者利用国外器件开展了液晶多光谱技术的应用系统研究^[17-20], 积累了较多的实际应用经验和认识, 并对该技术在我国各个相关领域的应用起到了积极的推动作用。

本文在国内外相关研究的基础上, 通过结构优化及相关工艺设计, 研制了可见光光谱成像的液晶可调滤光片和液晶光谱成像系统, 解决了通光面内的均匀性和带外抑制问题, 实现了可见光波段的光谱成像, 并且具有较高的光谱分辨率和图像分辨率。

1 基本原理

液晶光谱成像技术的核心器件是基于向列相液晶材料电控双折射效应的液晶可调滤光片。液晶可调滤光片本质上是一种带通可调双折射滤光片。目前最广泛应用的双折射滤光片是 Lyot 型^[21-24]和 Solc 型^[25-28]滤光片, 如图 1 所示。Lyot 型滤光片包括一系列双折射波片, 以平行偏振片按三明治的方式叠放; Solc 型滤光片是由完全相同的双折射波片按一定的取向, 以级联的方式放置在两个偏振器之间。通常 Lyot 滤光片与 Solc 滤光片相比需要较少的元件, 而 Solc 滤光片内部不使用偏振片, 降低了光能损耗, 因此可以获得较高的峰值透过率, 但光谱分辨能力较低。Solc 型滤光片的光谱分辨

收稿日期: 2010-11-19, 修订日期: 2011-04-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(81027004)资助

作者简介: 沈志学, 1979 年生, 中国工程物理研究院流体物理研究所助理研究员 e-mail: zxshen0@163.com

©1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

能力与晶片的数目成线性增长关系，为了达到较高的精细度，往往需要大量的晶片堆叠；而 Lyot 型滤光片的光谱分辨

能力的提高与晶片的数目成几何级数增长的关系。

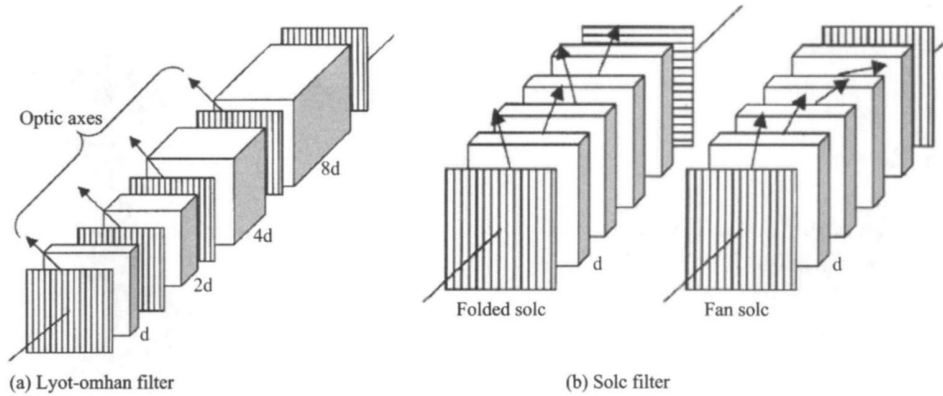


Fig 1 Two types of tunable filter construction

与传统双折射滤光片不同，为了实现波长调谐，液晶可调滤光片使用电控双折射液晶波片部分或全部代替了传统双折射滤光片中的双折射晶片，采用电控液晶调节方法，即利用液晶材料的电控双折射效应可以改变液晶波片的光学延迟，使液晶可调滤光片的透射中心波长在一定波段内移动，从而实现对任意波长光信号的选择透过和对通带外光信号的高度抑制。电控液晶调节方法是实现双折射滤光片快速调谐的一种重要的电光方法，可实现全固态调谐，结构简单、紧凑，在减少调谐滤光片的结构复杂性方面发挥着重要作用，并且具有耗能小、精度高、易于实现，可实时控制等优点，可以在很短的时间尺度内提供连续的光谱调谐，目前已经成为可调谐双折射滤光片的主要发展方向。

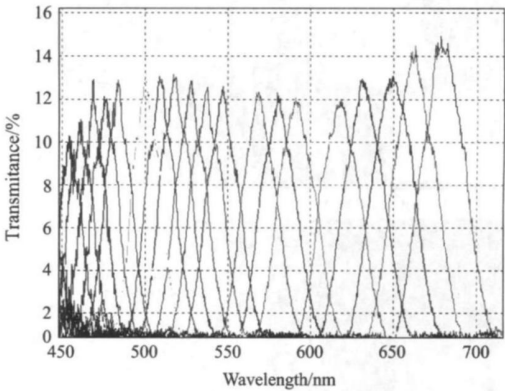


Fig. 3 Transmission curves of LCTF

2 液晶光谱成像系统

采用电控双折射液晶波片和偏振片，研制了可见光 LCTF 器件，如图 2 所示，其有效通光口径达 28 mm，工作谱段为 420~ 700 nm，光谱分辨率(FWHM) 为 20 nm，图 3 为利用光纤光谱仪获得的电控 LCTF 在调谐过程中的透过光谱序列。

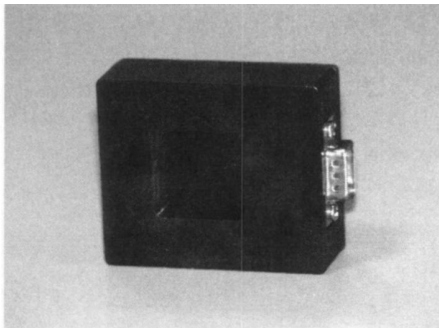


Fig 2 Vis LCTF



Fig. 4 LC-based spectral imaging system

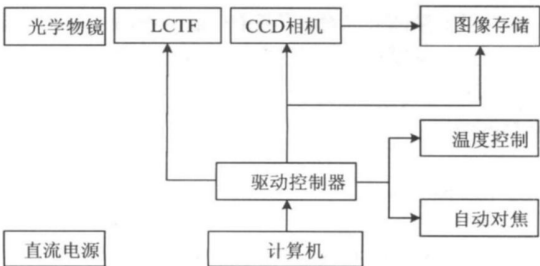


Fig. 5 Schematic diagram of LC-based spectral imaging system

图 4 为利用上述 LCTF 器件和普通光学相机搭建的一种小型液晶光谱成像系统。该系统由光学物镜、LCTF、CCD

相机, 以及驱动控制器、温度控制、自动调焦、图像存储、计算机等几个部分, 如图 5 所示。计算机通过串口与驱动控制器通信, 在计算机控制器下, 驱动控制器使光学物镜、LCTF、CCD 相机以及图像存储模块协调工作, 完成光谱成像和图像存储过程。该系统的最大视场约 20° , 功耗约 10 W。

3 结果与讨论

使用图 4 所示的液晶光谱成像系统对图 6(a) 所示的彩色图像进行了测试。该图像分别标有“R”、“G”、“B”(字母颜色均为白色)的红、绿、蓝三个色块。通过光谱成像获得了该图像在可见光波段的单色图像序列, 图 6(b)~(d) 分别给出了在 662, 567 和 461 nm 波长上的测试结果(未归一化)。可以看出, 该系统在波长调谐过程中, 对红、绿、蓝三种波长的光具有较好的选择透过特性和带外抑制效果。

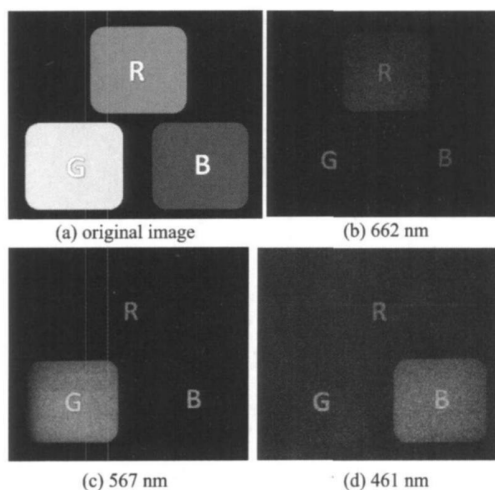


Fig 6 Test I of LC-based spectral imaging system

另外, 在相同的环境条件下(例如光照、温度等), 使用该系统对天然桔子和人造桔子模型进行了测试。结果表明, 该系统可以获取这两种样品在可见光波段的单色图像序列, 以标准漫反射白板为参考, 得到了它们在可见光波段的光谱反射率曲线, 如图 7 所示。从光谱反射率曲线可以看出, 在 550 nm 以下, 人工桔子模型的光谱反射率与天然桔子具有较高的相似度, 而在 550 nm 以上, 二者的差异逐渐增大, 人工桔子模型的光谱反射率要低得多。显然利用这种差异, 可以快速准确地将这两种样品区分开来, 而这是通常的宽带光电成像系统很难做到的。

通过以上测试可以看出, 我们研制的液晶光谱成像系统可在可见光波段以较高的光谱分辨率和空间分辨率对样品进

行连续光谱成像, 具有较好的光谱选择透过特性和带外抑制特性; 与传统宽带光电成像系统相比, 可以获得更丰富的样品特征信息。

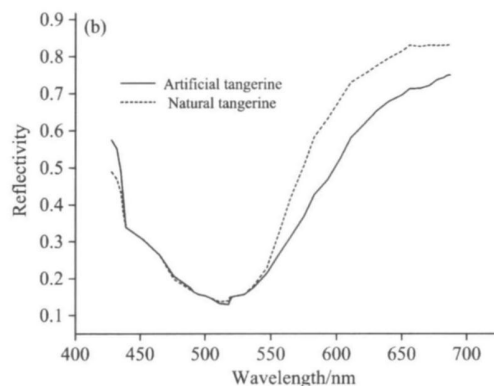
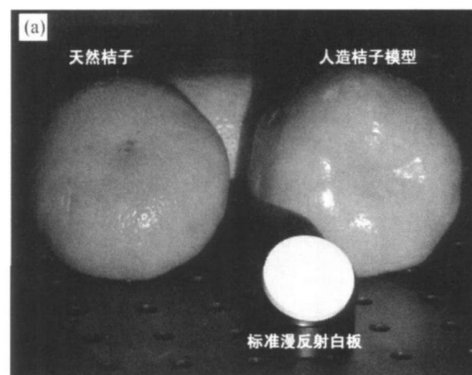


Fig 7 Test II of LC-based spectral imaging system

(a): RGB image of sample;

(b): Characteristic curve of reflectance spectrum

4 结论

利用向列相液晶材料的电控双折射效应, 研制了可见光波段的液晶可调滤光片, 并利用该器件搭建了一种小型液晶光谱成像系统。通过透过光谱测试和光谱成像测试, 验证了该光谱成像系统在可见光谱段实现连续光谱调谐和序列单色成像的能力。液晶光谱成像系统体积小、重量轻、功耗低、可实时控制, 兼具高空间分辨率和高光谱分辨率的特点, 对搭载平台要求较低, 因此适用于多种复杂的应用环境。在光学传感器日趋小型化、智能化的发展趋势下, 液晶光谱成像技术这种新颖的光谱成像手段应用前景相当广泛, 将在生物医学、环境保护、资源探测、农业质量控制等方面发挥重要作用。

References

- [1] Green R, Sarture C, Chovit C, et al. Opt. Photon. News, 1995, 6: 30.
- [2] Greg Kopp, Michael Derks, Alan Graham. SPIE, 1996, 2830: 345.
- [3] Albert F C Haldemann, Eric T Baumgartner, Gregory H Bearman. J. Geophys. Res., 2002, 107(E11), 8006: 5.
- [4] Kohzo Homma, et al. Proc. of SPIE, 2003, 4881: 575.

- [5] Kurosaki H, Koshiishi H, Suzuki T, et al. Adv. Space Res., 2003, 32(11): 2141.
- [6] Shingu H, Homma K, Kurosaki H, et al. Proceedings of SPIE, 2002, 4669: 89.
- [7] Kurosaki H, Shingu H, Homma K, et al. Proceeding of the 31st RSSJ Conference, Academic Committee, 2000: 273.
- [8] Shingu H, Kurosaki H, Homma K, et al. Proceedings of the 23rd International Symposium on Space Technology and Science, 2002, 2183.
- [9] Shingu H, Kurosaki H, Homma K, et al. Proceedings of SPIE, 2002, 4881: 503.
- [10] Shingu H, Homma K, Kurosaki H, et al. Proceedings of SPIE, 2003, 5017: 116.
- [11] ZHANG Jian, LI Guo-hua(张 剑, 李国华). Laser Technology(激光技术), 2005, 29(6): 639.
- [12] LI Guo-hua, PANG Yan-tao, DAI Zuo-xiao, et al(李国华, 庞岩涛, 代作晓, 等). Journal of Optoelectronics Laser(光电子·激光), 2001, 12(2): 141.
- [13] LÜ Wei-ge, CHEN Hai-xing, GU Pei-fu, et al(吕玮阁, 陈海星, 顾培夫, 等). Acta Optica Sinica(光学学报), 2004, 24(11): 1538.
- [14] KONG Yong, LI Guo-hua, YUN Mao-jin, et al(孔 勇, 李国华, 云茂金, 等). Journal of Optoelectronics Laser(光电子·激光), 2001, 12(5): 474.
- [15] LÜ Wei-ge, CHEN Hai-xing, GU Pei-fu, et al(吕玮阁, 陈海星, 顾培夫, 等). Acta Optica Sinica(光学学报), 2004, 24(11): 1538.
- [16] YANG Guo-wei, ZHENG Zhen-rong, CHEN Xiao-xi, et al(杨国伟, 郑臻荣, 陈晓西, 等). Journal of Zhejiang University(Engineering Science)(浙江大学学报·工学版), 2009, 43(06): 1163.
- [17] WANG Xin-quan, HUANG Min, GAO Xiao-hui, et al(王新全, 黄 旻, 高晓惠, 等). Acta Photonica Sinica(光子学报), 2010, 39(1): 71.
- [18] DU Li-li, YI Wei-ning, ZHANG Dong-ying, et al(杜丽丽, 易维宁, 张冬英, 等). Acta Optica Sinica(光学学报), 2009, 29(1): 187.
- [19] XU Yan-liang, SHI Jia-ming, ZHAO Da-peng(徐延亮, 时家明, 赵大鹏). Infrared(红外), 2010, 31(2): 14.
- [20] FANG Wei, LUO Jun, QIAN Wei, et al(方 薇, 罗 军, 钱 玮, 等), 2008, 24(9-1): 122.
- [21] John W. Evans. J. Opt. Soc. Am., 1949, 39(3): 229.
- [22] John W. Evans. J. Opt. Soc. Am., 1949, 39(5): 412.
- [23] Lyot B. Acad C.R. Sci. (Paris), 1933, 197: 1593.
- [24] Lyot B. U S Patent, 2, 718, 170, 1955.
- [25] John W Evans. J. Opt. Soc. Am., 1958, 48(3): 142.
- [26] Solc I. J. Opt. Soc. Am., 1965, 55: 621.
- [27] Title A M, Rosenberg W J. Opt. Eng., 1981, 20: 815.
- [28] Yariv A, Yeh P. Optical Waves in Crystals: Propagation and Control of Laser Radiation. New York: Wiley, 1984, 5: 121.

Research on LG-Based Spectral Imaging System for Visible Band

SHEN Zhixue¹, LI Jian-feng¹, ZHANG Dayong¹, WU Jun², LONG Yan¹, HUANG Lixian¹, LIU Haitao¹,
LUO Yongquan¹, LUO Fei¹, ZHANG Cuijuan¹, YANG Junjie²

1. Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China

2. Institute of Burn Research of Southwest Hospital, Chongqing 400038, China

Abstract LG-based tunable filter with large aperture has been developed utilizing the effect of electric controlled birefringence. Spectral test indicated that this filter can operate in the visible band with an average 20 nm FWHM. A small scale spectral imaging system was established based on this tunable filter. Spectral imaging experiments on a certain number of samples show that this system can be tuned continuously with random-access selection of any wavelength, and has a higher level of resolving power in respect of both imaging and spectral tuning in the visible band, which has a brilliant application potentiality in biology, iatrology, environmental protection, resource detection through hyperspectral imaging or ultraspectral imaging.

Keywords LG-based tunable filter; Electric controlled birefringence; Operating spectral coverage; Spectral resolution; Spectral imaging system

(Received Nov. 19, 2010; accepted Apr. 10, 2011)