

· 物理电子学 ·

太赫兹时域光谱技术在纺织纤维鉴别中的应用

曹丙花, 张光新, 周泽魁

(浙江大学工业控制国家重点实验室 杭州 310027)

【摘要】提出了一种基于太赫兹时域光谱(THz-TDS)的纺织品鉴别方法,并以几种常见的合成纤维作为实验介质证明该方法的可行性。利用THz-TDS系统测得了这些介质在大赫兹波段的时域光谱信号,得到了它们在太赫兹波段吸收系数谱。实验结果表明,涤纶、锦纶和维纶分别在0.98、1.51和1.16 THz有明显不同的特征吸收峰,芳纶、腈纶和天丝的吸收谱也存在明显差别。研究表明,利用太赫兹时域光谱技术进行合成纤维鉴别是可行的,为进一步将太赫兹波技术应用于纺织品检测提供了依据。

关键词 吸收光谱; 合成纤维; 太赫兹波; 纺织品

中图分类号 TP391; O434.3

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2010.01.013

Application of Terahertz Time Domain Spectroscopy in Identification of Textile Fiber

CAO Bing-hua, ZHANG Guang-xin, and ZHOU Ze-kui

(State Key Laboratory of Industrial Control Technology, Zhejiang University Hangzhou 310027)

Abstract A method to discriminate textiles based on terahertz time-domain spectroscopy (THz-TDS) is proposed, and some commonly used synthetic fibers are investigated. The absorption spectra of various synthetic fibers are measured using the THz-TDS system. The experimental results show that terylene, polyamide, and vinylon have a characteristic absorption peak at 0.98 THz, 1.51 THz, and 1.16 THz in their absorption spectra, respectively, while aromatic polyamide fiber, acrylic fiber, and Tencel fiber have no characteristic peaks but differ from each other very much. The research results show that it is feasible to apply terahertz time domain spectroscopy into the identification of synthetic fibers.

Key words absorption spectra; synthetic fiber; terahertz wave; textile

在纺织生产管理或产品分析中,常常要对各种状态下的纤维材料进行鉴别,有呈散纤维状态的纺织原料,也有各道工序生产的半成品或成品。由于化学纤维的大量发展,加之混纺品种的日益增多,使纺织成品花色品种更为繁多,因此,对纺织材料进行系统鉴别是一项非常重要而复杂的工作^[1]。

各种纺织纤维的外观形态与内在性质,有很多相似之处,也有很多不同之处。纤维鉴别,就是利用纤维的各种外观形态或内在性质的差异,采用各种方法将其区分开来。目前鉴别的方法,有手感目测法、燃烧法、显微镜观察法、溶解法、药品着色法以及红外光谱法等。其中,手感目测法虽是鉴别纤维最简单的方法,但无法鉴别合成纤维,而且对已经纺纱、织布的纤维也无法鉴别;燃烧法只能粗

略地区分纤维的大类;显微镜观察法无法确切区分截面呈圆形的化学纤维(如富强纤维、涤纶、锦纶等),只能借助其他方法进行鉴别;药品着色法只适用于鉴别未染色的散纤维或纯纺纱线织物;溶解法受溶剂的浓度、溶解时的温度和作用时间等影响较大;红外光谱法基于不同的化学基团在红外光谱中出现的特征吸收带的位置不同而进行物质鉴别,只要两种物质的成分不同,一般情况下可以鉴别出来,但是结构相似的物质的红外光谱则区别不大,因此也很难准确鉴别。寻找鉴别纺织纤维的新方法非常重要^[1-3]。

太赫兹时域光谱(THz-TDS)技术是近年来发展起来的光谱测量新技术,具有很多传统光谱技术所没有的优点。太赫兹波辐射通常指波长在3 mm~

收稿日期: 2008-06-02; 修回日期: 2009-01-15

基金项目: 国家自然科学基金(60774054); 国家教育部博士点基金(20070335123); 江苏省博士后基金(0902004C)

作者简介: 曹丙花(1981-),女,博士,主要从事太赫兹波科学技术及应用方面的研究。

30 μm 区间(频率100 GHz~10 THz之间)的电磁辐射,其波段位于微波和红外光之间相当宽范围的电磁辐射区域^[4]。大多数分子的转动及部分振动能级落在太赫兹波段。另外,太赫兹波对物质结构和环境的微小变化非常敏感,目前的研究表明THz-TDS技术在研究物质的内部结构和分子间相互作用中具有很大潜力,它可以给出物质独一无二的指纹光谱,结构非常相似的物质太赫兹谱也具有很大差异,因此可以用于进行物质鉴别^[5]。除此之外,THz-TDS中的相干探测技术可以同时得到太赫兹波的幅度和相位,提供物质的更多信息。电光测量或光电导天线测量技术中采用的取样测量技术可以得到很高的信噪比,使得物质的太赫兹光谱测量受噪声影响很小^[6]。太赫兹波独有的特殊性质,使其在DNA无标记检测^[7]、氨基酸与蛋白质分析^[8-9]、农产品品质分析^[10]以及毒品和爆炸物等危险品的识别^[11]等很多方面都取得了进展,但在纺织品鉴别方面的应用却未见有报道。

本文利用THz-TDS系统测量合成纤维类纺织品对太赫兹波的光谱响应,探索太赫兹技术在纺织品鉴别和区分中的应用的可行性。选用涤纶、芳纶、锦纶、腈纶、天丝和维纶6种物质的散纤维状态的纺织原料进行太赫兹光谱研究,并对测得的结果进行分析。

1 实验部分

1.1 实验装置

实验所用的THz-TDS系统由美国Coherent公司制造的Vitesse-800-5型钛蓝宝石飞秒激光器和美国Zomega公司研制的Model Z-1型太赫兹系统组成。系统装置如图1所示^[9]。

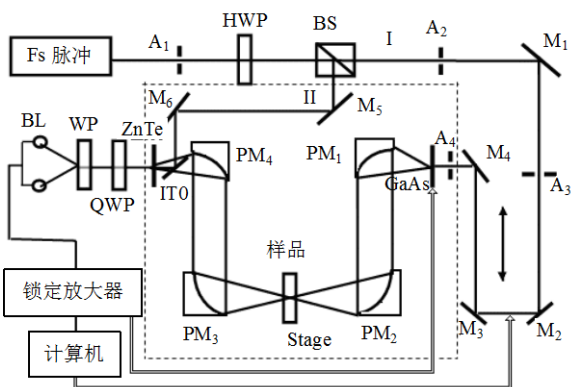


图1 THz-TDS实验装置图

1.2 实验

实验所用样品架如图2所示。两片聚乙烯薄片间

的距离为1 mm。被测合成纤维为散纤维状态的纺织原料,将其夹在两片聚乙烯薄片之间压实进行光谱测量,样品厚度为1 mm。聚乙烯对太赫兹波几乎完全透射。实验在室温(约294 K)下进行,为减少空气中水分对太赫兹波的吸收并提高信噪比,将太赫兹光路罩在充有氮气的箱体(图1中虚线框部分),箱内相对湿度约为3.0%。

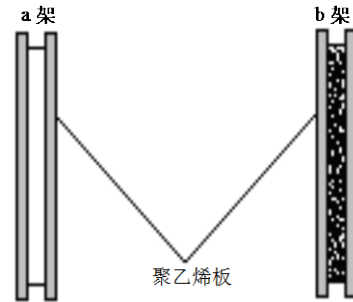


图2 实验所用样品架

1.3 数据处理

实验所测得是太赫兹信号的透射电场。经傅里叶变换后可以得其透射谱,将样品的傅里叶变换谱和参考的傅里叶变换谱做比较后可以得到样品在太赫兹波段的吸收系数。样品的相对吸收系数为:

$$A = -\lg \left[\left(\frac{A_{\text{sample}}(f)}{A_{\text{reference}}(f)} \right)^2 \right] \quad (1)$$

式中 A_{sample} 和 $A_{\text{reference}}$ 分别是样品的和参考的傅里叶变换幅度,它们是频率 f 的函数。

2 结果与讨论

太赫兹波透过涤纶样品后的太赫兹波形和参考信号的对比如图3所示,从图中可以看到太赫兹波透过涤纶后其幅度明显减小,波形在时间上被延迟。幅度较小说明涤纶吸收了太赫兹波,而透过后波形在时间上的延迟说明涤纶在太赫兹波段的折射率大于氮气环境下的折射率。

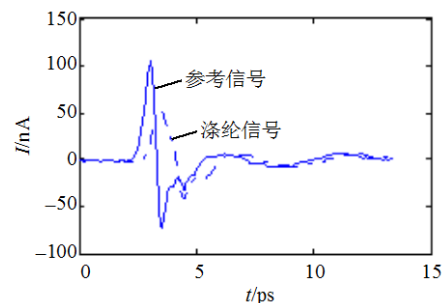


图3 涤纶的太赫兹波信号与参考信号

由式(1)可得所研究合成纤维的太赫兹吸收光谱,如图4所示。

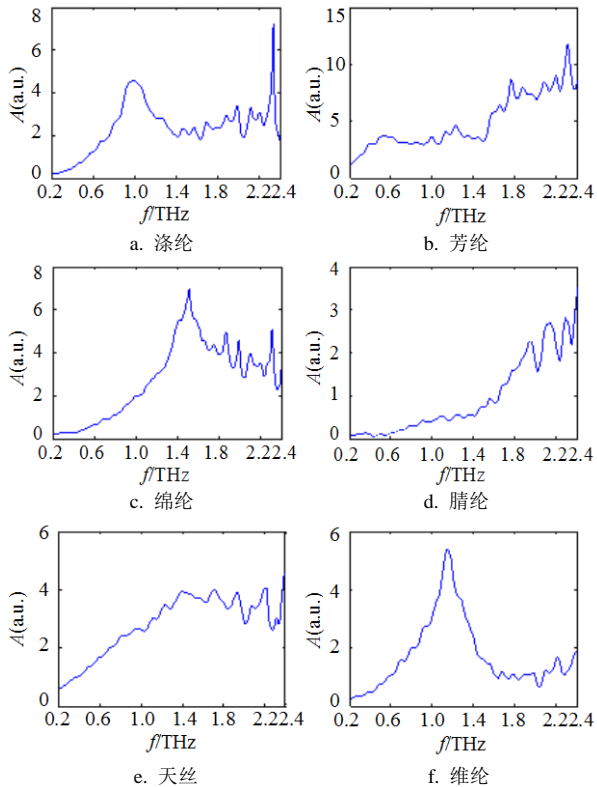


图4 合成纤维的太赫兹吸收谱

从图中可以看出涤纶、锦纶和维纶分别在0.98、1.51和1.16 THz处有明显的特征吸收峰。文献[1-3]对这些物质的研究表明,涤纶大分子中含有苯环和脂肪烃链,在适宜的条件下,大分子易形成结晶,纤维结构紧密;锦纶又称聚酰胺纤维,分子链上含有大量的酰胺基,能与相邻分子链的酰胺基形成有吸引力的氢键,分子链结构比较规整,无庞大的侧基,分子链伸展时易形成结晶;维纶以聚乙烯醇为原料制成,纤维再腈缩甲醛化处理得到的纤维为聚乙烯醇缩甲醛纤维,维纶的横截面呈花生果形,具有皮芯结构,皮层的取向度和结晶度都较高,结构紧密。而太赫兹波对分子间作用敏感,如晶体的晶格振动、分子间氢键振动等对应的频率均落在太赫兹频率范围内^[14-16]。因此,这3种纤维的吸收峰在太赫兹波段的吸收可能由晶体的晶格振动引起,其中锦纶的吸收峰有可能是由晶格振动和氢键振动共同引起的。芳纶、腈纶和天丝没有明显的特征吸收峰,但吸收特性却存在明显的差别。在所研究的合成纤维中,芳纶的吸收特性最强,在0.6~1.5 THz频段吸收系数基本保持不变,在1.5 THz以上,吸收特性呈整体上升趋势;腈纶的吸收特性也呈整体上升趋势;天丝的吸收特性趋势与芳纶不同,在0.2~1.4 THz范围内呈上升趋势,而在较高频段(1.4 THz

以上)则基本保持一致。经分析可以看出,各种合成纤维在太赫兹波段的吸收特性有明显的不同,可以用来区分这些合成纤维。进一步的工作将基于各种纺织品材料的太赫兹波对纺织品进行鉴别,应用各种模式分类方法及统计分析等方法进行分析,以更好地把太赫兹技术应用于纺织品材料的鉴别和分析中。

3 结 论

本文利用太赫兹波时域光谱技术测得了几种合成纤维的太赫兹波吸收光谱,实验结果表明,这些物质的太赫兹波光谱明显不同。其中涤纶、锦纶和维纶在太赫兹波段均存在明显的吸收峰,经分析认为是由晶格振动引起。本文还给出了晴纶、天丝和芳纶其他3种物质的吸收光谱的特点。本文的研究表明,利用太赫兹波时域光谱技术进行合成纤维的鉴别是可行的,为进一步应用太赫兹波技术进行纺织品鉴别提供了依据。

参 考 文 献

- [1] 姚 穆. 纺织材料学[M]. 北京: 中国纺织出版社, 1980.
YAO Mu. Textile materials science[M]. Beijing: China Textile & Apparel Press, 1980.
- [2] 于伟东. 纺织材料学[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2006.
YU Wei-dong. Textile materials science[M]. Beijing: China Textile & Apparel Press, 2006.
- [3] 徐卫林. 红外技术与纺织材料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
XU Wei-lin. Infrared techniques and textile material[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [4] SIEGEL P H. Terahertz technology[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2002, 50(3): 910-928.
- [5] DOBROIU A, OTANI C, KAWASE K. Terahertz-wave sources and imaging[J]. Meas Sci Technol, 2006, 17: 161-174.
- [6] HU B B, NUSS M C. Imaging with terahertz waves[J]. Opt Lett, 1995, 20(16): 1716-1718.
- [7] NAGEL M, BOLIVAR P H, BRUCHERSEIFER M, et al. Integrated planar terahertz resonators for femtomolar sensitivity label-free detection of DNA hybridization[J]. Appl Optics, 2002, 41(10): 2074-2078.
- [8] KUTTERUF M R, BROWN C M, IWAKI L K, et al. Terahertz spectroscopy of short-chain polypeptides[J]. Chem Phys Lett, 2003, 375: 337-343.
- [9] YAN Zhi-gang, HOU Di-bo, HUANG Ping-jie, et al. Terahertz spectroscopic investigation of L-glutamic acid and L-tyrosine[J]. Meas Sci Technol, 2008, 19: 1-5.

(下转第79页)

4 结束语

本文提出了一种基于树状结构的在移动IPv6网络中Anycast服务实现模型, 该模型采用了Unicast技术与Multicast技术, 并在网络仿真环境下得以实现, 实验数据证明了该模型的有效性及其高效性。

参 考 文 献

- [1] HUANG Ling-ling, WONG Yung-chang, LEE J F. A hierarchical anycasting strategy for large-scale IPv6 Networks[C]//Proceedings of the 13th Mobile Computing Workshop. New York: IEEE, 2007.
- [2] DOI S, ATA S, KITAMURA H, et al. Design, implementation and evaluation of routing protocols for IPv6 anycast communication[C]//IEEE 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications. New York: IEEE, 2005.
- [3] AFERGAN M, WEIN J. Experience with some principles for building an internet-scale reliable system[C]//RLDS, New York: IEEE, 2005.
- [4] FREEDMAN M J. Anycast for any service[C]//NSDI. Washington D C: ACM, 2006.
- [5] LAI Wei-kuang, SHIEH C S, KUO Yi-cheng. Reliable broadcasting in ad hoc wireless networks with MAC mini-slots and directional antennas[J]. International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 2007, (3): 1487-1500.
- [6] WU B, WU J. K-anycast routing schemes for mobile Ad hoc networks[C]//Proc of IEEE IPDPS. [S. l.]: IEEE, 2006.
- [7] ABLEY J, LINDQVIST K. RFC4786: Operation of anycast services[S]. IETF, 2007.
- [8] AFERGAN M, WEIN J, LAMEYER A. Experience with some principles for building an internet-scale reliable system[C]//Proceeding of Second Workshop on Real, Large Distributed System. New York: IEEE, 2005.
- [9] BALLANI H, FRANCIS P. Towards a global IP anycast service[C]//Proceeding of the 2005 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications. Washington D C: ACM, 2005.
- [10] NAKHJIRI M, CHOWDHURY K. RFC5030: Mobile IPv4 radius requirements[S]. IETF, 2007.
- [11] WANG Xiao-nan, QIAN Huan-yan. Analysis and discussion of anycast scalability in IPv6[J]. International Journal of Network Management, 2007, 17(4): 321-328.
- [12] DOI S, ATA S, KITAMURA H, et al. IPv6 anycast for simple and effective communications[J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42(5): 163-171.

编辑 税 红

(上接第57页)

- [10] 逯美红, 沈京玲, 郭景伦, 等. 太赫兹成像技术对玉米种子的鉴定和识别[J]. 光学技术, 2006, 32(3): 361-363, 366.
LU Mei-hong, CHEN Jing-ling, GUO Jing-lun, et al. Identification of maize seeds using terahertz transmitted spectral imaging[J]. Optical Technique, 2006, 32(3): 361-363, 366.
- [11] MICHAEL J F, DUNJA S, CARROLINE D, et al. THz spectroscopy of explosives and related compounds[J]. Terahertz for Military and Security Applications II, 2004, 5411: 84-91.
- [12] TIMOTHY D D, RICHARD G B, DANIEL M M. Material parameter estimation with terahertz time domain spectroscopy[J]. J Opt Soc Am A, 2001, 18(7): 1562-1571.
- [13] DUBILLARET L, GARET F, COUTAZ J L. Highly precise determination of optical constants and sample thickness in terahertz time domain spectroscopy[J]. Appl Optics, 1999, 38(2): 409-415.
- [14] WALTHER M, FISCHER B M, UHD J P. Noncovalent intermolecular forces in polycrystalline and amorphous saccharides in the far infrared[J]. Chem Phys, 2003, 288: 261-268.
- [15] MARKELZ A G, ROITBERF A, HEILWEIL E J. Pulsed terahertz spectroscopy of DNA, bovine serum albumin and collagen between 0.1 and 2.0 THz[J]. Chem Phys Lett, 2000, 320: 42-48.
- [16] WALTHER M, FISCHER B, SCHALL M, et al. Far-infrared vibrational spectra of all-trans, 9-cis and 13-cis retinal measured by THz time-domain spectroscopy[J]. Chem Phys Lett, 2000, 332: 389-395.

编辑 蒋 晓