

文章编号: 1672-8785(2013)08-0035-05

羰基铁材料太赫兹光谱研究

周 逊^{1,2} 邓 琥³ 罗振飞^{1,2} 王 度^{1,2}

(1. 中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900;

2. 中国工程物理研究院太赫兹科学技术研究中心, 四川 成都 610000;

3. 西南科技大学信息工程学院, 四川 绵阳 621010)

摘 要: 为了评估羰基铁材料在太赫兹波段的屏蔽性能, 采用太赫兹时域光谱技术分别对参考样品、0.5 mm 羰基铁样品和 1 mm 羰基铁样品进行了透射光谱测量。分析表明, 随着羰基铁样品厚度的增加, 太赫兹时域光谱脉宽增加、峰值减小, 频域光谱范围减小。羰基铁样品的最大屏蔽效能为 66 dB 左右。0.5 mm 和 1 mm 羰基铁样品的屏蔽效能大于 60 dB 的区间分别是 0.76 THz~1.46 THz 和 0.49 THz~1.48 THz。

关键词: 太赫兹; 羰基铁; 屏蔽效能

中图分类号: O434.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2013.08.08

Study of Terahertz Spectroscopy of Carbonyl Iron Material

ZHOU Xun^{1,2}, DENG Hu³, LUO Zhen-fei^{1,2}, WANG Du^{1,2}

(1. Research Center of Laser Fusion, Chinese Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900,

China; 2. Terahertz Research Center, CAEP, Chengdu 610000, China; 3. School of Information

Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: To assess the shielding property of carbonyl iron material at terahertz wavelengths, the transmission spectra of reference samples, 0.5 mm carbonyl iron samples and 1 mm carbonyl iron samples were measured respectively by a Terahertz Time-domain Spectroscopy (THz-TDS). The analysis showed that with the increase of the thickness of the carbonyl iron samples, the pulse width of the terahertz time-domain spectrum would increase, its peak value would decrease and the frequency domain spectral range would be reduced. The carbonyl iron samples had their maximum shielding effectiveness of about 66 db. The wavelength ranges in which the 0.5 mm and 1 mm carbonyl iron samples had the shielding effectiveness greater than 66 db are those from 0.76 to 1.46 THz and from 0.49 to 1.48 THz respectively.

Key words: terahertz; carbonyl iron; shielding effectiveness

0 引言

羰基铁^[1,2]是一种典型的磁损耗型吸收剂, 是最常用的雷达波吸收材料之一。一般可将由羰基铁制成复合吸波材料或多晶铁纤维^[3,4]应用于吸波材料中。目前吸收材料在微波、红外等

波段已经取得了很大的成果^[5], 但在太赫兹频段的应用研究较少。太赫兹波是从 0.1 THz~10 THz 的电磁辐射, 其技术已被证明在更深入的物理研究以及实际应用中有着广阔的前景^[6,7]。因此, 本文采用太赫兹时域光谱技术^[8](THz-TDS)

收稿日期: 2013-06-07

基金项目: 中国工程物理研究院科学技术发展基金项目

作者简介: 周逊(1968-), 男, 四川成都人, 博士, 副研究员, 主要研究方向为光电和信息技术。

E-mail: zcm_zky@sohu.com

对羰基铁材料进行太赫兹光谱研究。

1 实验装置

太赫兹时域光谱系统的光路如图 1 所示。飞秒激光器 (MaiTai HP) 所产生的飞秒脉冲经反射镜 M0、分束镜 CBS 后分为两束, 其中透射光作为探测光, 反射光作为泵浦光。泵浦光通过反射镜 M1、M2 和 M3 后聚焦到偶极子光导天线 PCA (PCA-GAAS-200-A) 上, 在偏置电压的作用下产生太赫兹脉冲辐射。太赫兹脉冲经离轴抛物面镜 (PM1、PM2) 后得到准直, 再经样品 (Sample) 和离轴抛物面镜 (PM3、PM4) 后由硅片 (Si) 聚焦到探测晶体 ZnTe 上。探测光通过反射镜 (M4、M5、M6) 后经透镜 (Lens)、偏振片

(Polarizer) 后, 由硅片反射到 ZnTe 晶体的同一位置上。携带太赫兹信息的探测光经四分之一波片 (QWP)、透镜 (Lens) 和渥拉斯顿棱镜 (Wollaston prism) 后聚焦到双目光电探头 (Detector) 上。光电探头输出信号到锁相放大器 (SR830Lock-in)。最后, 计算机进行采集并显示除太赫兹时域光谱信号 (采用 Labview 编写控制软件, 利用 Matlab6.0 与 OriginPro 8 对数据进行处理)。锁相器输出一定频率的 TTL 电平, TTL 电平通过放大器放大后被用作偏置电压。测量中, 为了减少空气中水分对太赫兹波的吸收, 对图 1 中虚线框部分进行加密封罩, 向罩内充入干燥空气, 并用湿度传感器 (HS-2000D) 测量罩内湿度。干燥空气由空压机 (IB-580) 和干燥机 (ZW-15) 串联产生。

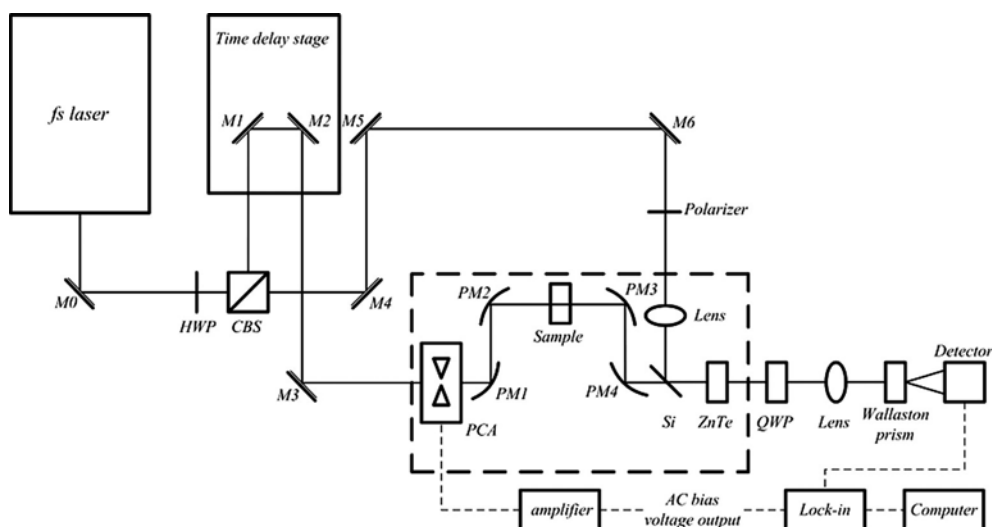


图 1 太赫兹时域光谱系统光路图

2 实验过程及数据处理方法

2.1 样品制备

实验中使用了参考样品和测试样品两类样品。参考样品由直径为 200 mm、厚度为 3 mm 的高密度聚乙烯构成。测试样品分为 0.5 mm 样品和 1 mm 样品两种。0.5 mm 样品为涂覆在直径为 200 mm、厚度为 3 mm 的高密度聚乙烯上表面上的 0.5 mm 厚的羰基铁颗粒; 1 mm 样品为涂覆在直径为 200 mm、厚度为 3 mm 的高密度聚乙烯上表面上 1 mm 厚的羰基铁颗粒。

2.2 实验条件

飞秒激光器的中心波长为 800 nm, 频率为 80 MHz, 脉宽为 92 fs。进入系统的飞秒激光的平均功率为 100 mW, 环境温度为 22.4 °C。光导天线的偏置电压为 85 V, 偏置电压的频率为 9.803 kHz。参考信号扫描时间为 120 ps, 对应 8.3 GHz 的频率分辨率。参考信号测量数据点为 2930 个, 对应的延迟时间步进为 0.041 ps。单次扫描时间为 112 s。

2.3 实验过程

(1) 系统先预热半小时以确保飞秒激光器的输出功率稳定, 进入系统的飞秒激光平均功率为 100 mW。

(2) 向密封罩内填充干燥空气。当湿度传感器显示湿度为 2% 时, 测量参考样品时的域光谱信号。

(3) 向密封罩内填充干燥空气。当湿度传感器显示湿度为 2% 时, 分别测量 0.5 mm 样品和 1 mm 样品的时域光谱信号。

2.4 实验数据处理

(1) 利用 OriginPro 8 导入实验数据, 时间单位为 ps。

(2) 对扫描获得的时域光谱信号分别进行快速傅里叶变换 (FFT), 得到参考样品、0.5 mm 样品和 1 mm 样品的太赫兹频域振幅谱和相位谱, 并从中选出 0.1 THz~2.3 THz 频率范围的振幅谱。

(3) 采用 Dorney 和 Duvillaret 等人提出的用于提取材料太赫兹光学参数的物理模型来处理测得的时域光谱数据, 获得样品的折射率^[9]。

(4) 获得样品的屏蔽效能曲线, 根据式 (1) 计算得到样品的屏蔽效能曲线, 其中 P_b 、 P_a 分别为样品屏蔽前后的能量场强度^[10]。

$$SE = 10 \times \log_{10}(P_b/P_a) \quad (1)$$

3 实验结果及讨论

3.1 时域光谱结果

图 2 为参考样品的太赫兹时域光谱信号, 其中太赫兹脉宽为 0.61 ps, 峰值为 269 mV。图 3 是测试样品的太赫兹时域光谱信号, 其中 0.5 mm 样品的太赫兹脉宽为 2.09 ps, 峰值为 4.98 mV; 0.1 mm 样品的太赫兹脉宽为 2.88 ps, 峰值为 1.76 mV。由此可知, 随着样品厚度的增加, 太赫兹时域光谱的脉宽会逐渐增加, 时域光谱峰值会逐渐减小。

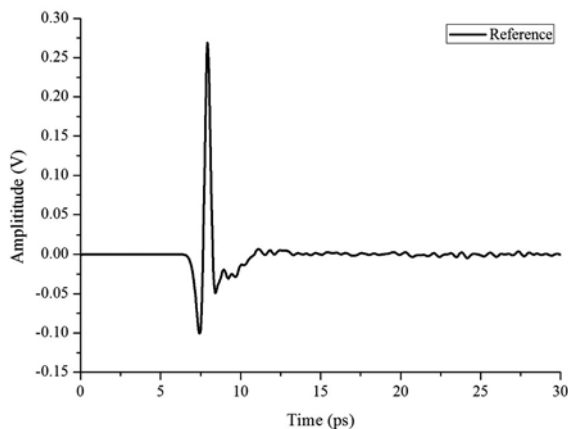


图 2 参考样品的太赫兹时域光谱

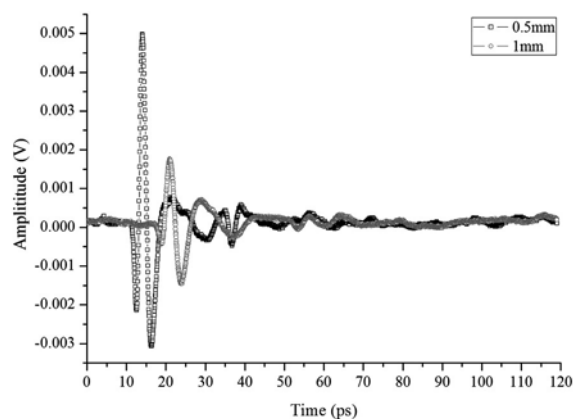


图 3 测试样品的太赫兹时域光谱

3.2 频域光谱结果

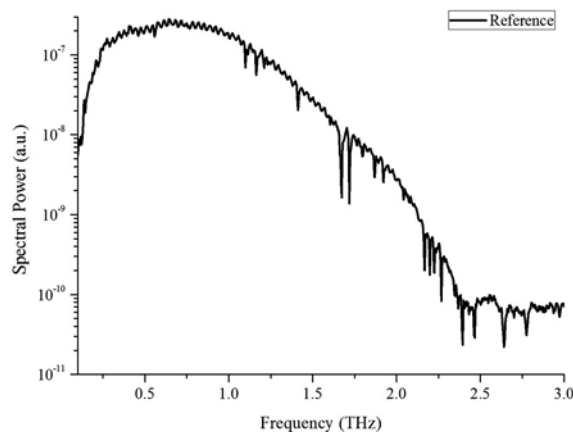


图 4 参考样品的太赫兹频域光谱

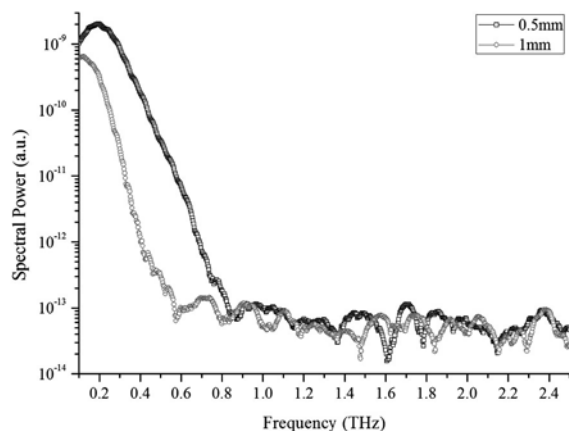


图 5 测试样品的太赫兹频域光谱

图 4 为参考样品的太赫兹频域光谱信号, 其中太赫兹频率范围为 0.1 THz~2.3 THz, 在 0.558 THz、1.099 THz、1.165 THz、1.210 THz、1.412 THz、1.673 THz、1.718 THz、1.765 THz、1.799 THz、1.870 THz、1.922 THz、2.042 THz、2.167 THz、2.199 THz、2.224 THz、2.268 THz 处存在水的吸收峰。图 5 是测试样品的太赫兹频域光谱信号, 其中 0.5 mm 样品的太赫兹频率范围为 0.1 THz~0.75 THz, 峰值频率为 0.2 THz; 1 mm 样品的太赫兹频率范围为 0.1 THz~0.52 THz, 峰值频率为 0.12 THz。由此可知, 随着样品厚度的增加, 太赫兹频域光谱范围会逐渐减小, 且逐渐集中在低频段。

3.3 屏蔽效能

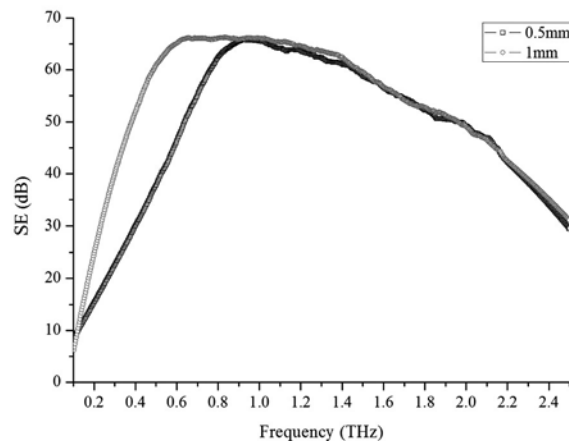


图 6 测试样品的屏蔽效能

图 6 为测试样品的屏蔽效能。从两种不同厚度样品的屏蔽效能曲线中可以看出, 在 0.1

THz~0.9 THz 的范围内, 样品越厚, 太赫兹辐射的屏蔽效果越强。在 0.9 THz~2.3 THz 频域范围内, 不同厚度的样品对太赫兹的屏蔽效能的一致性较好, 且屏蔽效能随频率的增加而呈现减小的趋势。

由图 6 可知, 0.5 mm 样品在 0.10 THz~0.40 THz 范围内, 0.1 mm 样品在 0.10 THz~0.23 THz 范围内的屏蔽效能达到 10 dB~30dB, 有较小的屏蔽作用。0.5 mm 样品在 0.40 THz~0.76 THz、1.46 THz~2.30 THz 范围内, 0.1 mm 样品在 0.23 THz~0.49 THz、1.48 THz~2.30 THz 范围内的屏蔽效能达到 30 dB~60 dB, 具有中等屏蔽效能, 可用于一般工业或商业用电子产品的太赫兹波段屏蔽和防干扰应用材料上。0.5 mm 样品在 0.76 THz~1.46 THz 范围内、0.1 mm 样品在 0.49 THz~1.48 THz 范围内的屏蔽效能达到 60 dB 以上, 屏蔽效能较高, 可用于航空航天及军用仪器设备太赫兹波段的屏蔽与抗干扰技术。此外, 0.5 mm 样品和 1 mm 样品在 0.1 THz~2.3 THz 范围内的有效频段上, 最大屏蔽效能分别为 65.8 dB 和 66.2 dB, 平均屏蔽效果较好。

4 结论

通过研究羰基铁材料的太赫兹光谱, 获得了 0.5 mm 和 1 mm 羰基铁样品的太赫兹时域光谱、频域光谱及屏蔽效能。结果表明, 随着羰基铁样品厚度的增加, 太赫兹时域光谱的脉宽会逐渐增加、峰值会逐渐减小; 频域光谱范围会逐渐减小, 且逐渐集中在低频段。0.5 mm 和 1 mm 羰基铁样品在 0.76 THz~1.46 THz 和 0.49 THz~1.48 THz 范围内的屏蔽效能均大于 60 dB, 最大屏蔽效能分别为 65.8 dB 和 66.2 dB, 平均屏蔽效果较好。

参考文献

- [1] Gloaguen F, Lawrence J D, Rauchfuss T B. Biomimetic Hydrogen Evolution Catalyzed by an Iron Carbonyl Thiolate[J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2001, **123**(38): 9476-7.
- [2] 张卫东, 冯小云, 孟秀兰. 国外隐身材料研究进展[J]. *宇航材料工艺*, 2000(3): 1-10.

- [3] Yu X L, Zhang X C, Li H H, et al. Simulation and Design for Stratified Iron Fiber Absorbing Materials[J]. *Materials and Design*, 2002, **23**(1):51–57.
- [4] Marin P, Cortina D, Hernando A. Electromagnetic Wave Absorbing Material Based on Magnetic Microwires[J]. *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, 2008, **44**(11):3934–3937.
- [5] Saito S, Tokyo, Ono S, et al. Electromagnetic-wave Shielding and Light Transmitting Plate and Panel Laminated Plate[P]. US 6469440, 2002.
- [6] 张存林. 太赫兹感测与成像[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [7] 许景周, 张希成. 太赫兹科学和技术[M]. 北京: 北京大学出版社, 2007.
- [8] Auston D H, Cheung K P, Valdmanis J A, et al. Cherenkov Radiation from Femtosecond Optical Pulses in Electro-Optic Media[J]. *Physical Review Letters*, 1984, **53**(16):1555–1558.
- [9] Dorney T D, Baraniuk R G, Mittleman D M. Material Parameter Estimation with Terahertz Time-domain Spectroscopy[J]. *Journal of the Optical Society of America A*, 2001, **18**(7):1562–1571.
- [10] Bigg D M, Mirick W, Stutz D E. Measurement of EMI Shielding of Plastic Composites Using a Dual Chamber Facility[J]. *Polymer Testing*, 1985, **5**(3):169–181.

(上接第24页)

- [4] Zhang Y. Understanding Image Fusion[J]. *Photogramm Remote Sensing*, 2011, **70**(6):657–661.
- [5] Candes E J, Romberg J, Tao T. Robust Uncertainty Principles: Exact Signal Reconstruction from Highly Incomplete Frequency Information[J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2011, **52**(2):489–509.
- [6] Aharon M, Elad M, Bruckstein A. The K-SVD: an Algorithm for Designing of Overcomplete Dictionaries for Sparse Representation [J]. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2006, **54**(11): 4311–4322.

(上接第34页)

- [11] Liu W, Xiang Y, Zheng L, et al. Relationships between Rice LAI, CHD and Hyperspectra Data [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2000, **25**(4): 279–283.
- [12] Yang Y, Tian Q. Principal Component Analysis Method for Retrieving Leaf Area Index of Rice from Hyperspectral Data [J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2007, **73**(3): 47–50.
- [13] Zhang Y, Chen W, Guo Q, et al. Hyperspectral Estimation Models for Photosynthetic Pigment Contents in Leaves of Eucalyptus [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, **30**(3): 876–887.
- [14] Bookchs F, Ku P G, Dockter K W. Shape of the Red Edge Ears Vitality Indicator for Plants [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1990, **11**: 1741–1753.
- [15] Filella D P. The Red Edge Position and Indicators of Plant Chlorophyll Content, Biomass and Hydrics Status [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, **15**: 1459–1470.
- [16] Zou H, Zheng H. The Effect and Method of Quantitative Analysis of "Red Edge" of Vegetation [J]. *Remote Sensing Information*, 2010, **25**(4): 112–116.
- [17] Dong H, Meng Q, Wang J, et al. A Modified Vegetation Index for Crop Canopy Chlorophyll Content Retrieval [J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2012, **31**(4): 336–341.