

文章编号: 1672-8785(2016)01-0036-04

基于太赫兹时域光谱的壁画信息提取的可行性研究

周 萍¹ 李 贇^{2,3} 齐 扬¹ 周 逊^{2,3}

(1. 陕西省文物保护研究院, 陕西西安 710075 ;

2. 中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 四川绵阳 621900 ;

3. 中国工程物理研究院微系统与太赫兹研究中心, 四川成都 610041)

摘 要: 采用太赫兹时域光谱技术对传统中国壁画的部分制作流程进行了分析, 获得了壁画制作每个流程的太赫兹时域反射谱。研究了传统中国壁画在 0.2~1.0 THz 频率范围内的太赫兹光谱特性, 得到了其在室温环境下的太赫兹吸收谱和折射率。结果表明, 各样品的折射率平均值和吸收系数的峰值频率差异显著。研究结果能为太赫兹时域光谱技术在壁画信息提取领域的应用提供参考。

关键词: 太赫兹; 壁画; 折射率; 吸收系数

中图分类号: O434.3 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.01.007

Feasibility Study of Mural Information Extraction Based on Terahertz Time-Domain Spectroscopy

ZHOU Ping¹, LI Ze-yu^{2,3}, QI Yang¹, ZHOU Xun^{2,3}

(1. Shanxi Provincial Institute for Conservation of Cultural Heritage, Xi'an 710075, China;

2. Research Center of Laser Fusion, Chinese Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China;

3. Microsystem and Terahertz Research Center, China Academy of Engineering Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract: By using terahertz (THz) time-domain spectroscopy to analyze part production processes of traditional Chinese murals, the THz time-domain reflection spectra of each mural production process are obtained. The THz spectral characteristics of traditional Chinese murals in the frequency range from 0.2 THz to 1.0 THz are studied. The THz absorption spectra and refractive index of traditional Chinese murals at room temperature are obtained. The result shows that there is a remarkable difference in the mean refractive index and peak absorption coefficient frequency for each sample. It can provide the reference for the application of THz time-domain spectroscopy in mural information extraction.

Key words: Terahertz; mural; refractive index; absorption coefficient

0 引言

壁画是传承古代文明的主要载体之一, 具

有极高的艺术和史学研究价值。为了避免破坏壁画的原貌, 无损分析技术在壁画研究技术中得到广泛应用。太赫兹 (Terahertz, THz) 通常指

收稿日期: 2015-11-23

基金项目: 国家文物局资助课题

作者简介: 周萍 (1972-), 女, 陕西西安人, 学士, 副研究员, 主要从事壁画泥塑及陶、瓷质文物保护修复研究。

E-mail: 154672553@qq.com

频率在 0.1~10 THz 范围内的电磁波辐射, 其频段位于毫米波与红外之间, 属于远红外波段。太赫兹辐射具有量子能量低、穿透性高、分辨率高和频段包含丰富的大分子振动与转动信息等特点, 在无损检测领域具有非常广阔的应用前景^[1,2]。目前, 国内外学者使用太赫兹成像技术对壁画开展了一系列研究。这些研究表明, 太赫兹成像技术在对壁画表面信息的提取以及壁画深层缺陷的检测等方面有明显的优势^[3-8]。本文采用太赫兹时域光谱技术对传统中国壁画的部分制作流程进行研究, 探讨壁画每个流程中太赫兹时域谱、频谱、折射率和吸收谱的异同, 为进一步的研究提供支撑。

1 实验装置

反射式太赫兹时域光谱的系统框图如图 1

所示。飞秒激光器(型号为 MaiTai HP)所产生的飞秒脉冲经 1/2 波片、分束镜后被分为泵浦光(分束镜反射的飞秒脉冲)和探测光(分束镜透射的飞秒脉冲); 泵浦光被反射镜(置于延迟线上)反射到光导天线上, 产生太赫兹脉冲(锁相放大器输出的 TTL 电平, 经放大器后作为偏置电压施加到光导天线两级); 太赫兹脉冲经离轴抛物面镜准直、聚焦后被反射到样品上; 携带样品信息的太赫兹信号经反射镜、离轴抛物面镜和硅片后被聚焦到 ZnTe 晶体上; 探测光通过反射镜、透镜、偏振片和硅片后被聚焦在 ZnTe 晶体的同一位置; 携带太赫兹信息的探测光经 1/4 波片、透镜和渥拉斯顿棱镜后被聚焦到双目光电探头, 由锁相放大器进行处理, 最后由计算机采集并进行显示。

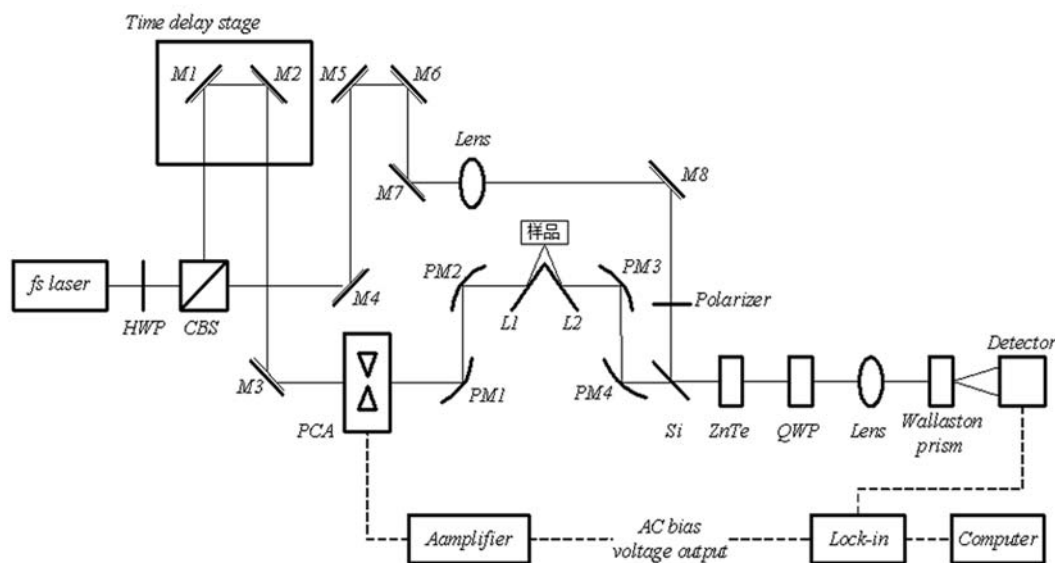


图 1 反射式太赫兹时域光谱的原理图

2 实验过程及数据处理方法

2.1 样品制备

我国壁画制作流程共有八个步骤, 分别是粗泥、细泥、粗灰、细灰、渗油、打白底、起稿和上色。本文针对壁画制作流程中的前 4 个步骤, 在木板上制作了相应的样品, 对样品进行反射式太赫兹时域光谱分析, 如图 2 所示。



图 2 壁画样品

2.2 实验条件

飞秒激光器的中心波长为 800 nm；飞秒激光器的频率为 80 MHz；飞秒激光器的脉宽为 92 fs；泵浦光的平均功率为 100 mW；光导天线的偏置电压为 100 V；环境温度为 22 ℃；湿度为 43%RH。

2.3 实验过程

(1) 系统上电运行，预热 0.5 h，以确保飞秒激光器的输出功率稳定；进入系统的飞秒激光的平均功率为 100 mW。

(2) 利用全反镜获得反射式太赫兹时域光谱系统的参考信号。

(3) 对各样品进行多点测试并取平均值，获得样品的反射式太赫兹时域光谱。

2.4 数据处理方法

(1) 分别对参考样品、各壁画样品的测试数据进行傅里叶变换，获得其振幅及相位。

(2) 在低频阶段，由于噪声的影响，相位会发生 2π 的跳变。为了使零频相位接近零，需对相位进行修正^[9]。

(3) 采用 Dorney 等人提出的物理模型获得壁画样品的吸收系数和折射率^[10]。

3 实验结果及讨论

3.1 参考信号的时域和频域光谱

由图 3 可知，时域光谱的峰值为 1.67×10^{-2} 。

由图 4 可知，该频域光谱图的纵坐标采用线性坐标，与一般太赫兹频域分析时采用的对数坐标不同，其主要原因是线性坐标能更灵敏地反应各测量信号的频域变化。在参考光的频域光谱中，在 0.553 THz、0.757 THz 处有两个明显的水吸收峰；频率的峰值为 8.11×10^{-8} ；峰值的频率为 0.312 THz；太赫兹频域范围为 0.13~0.85 THz。

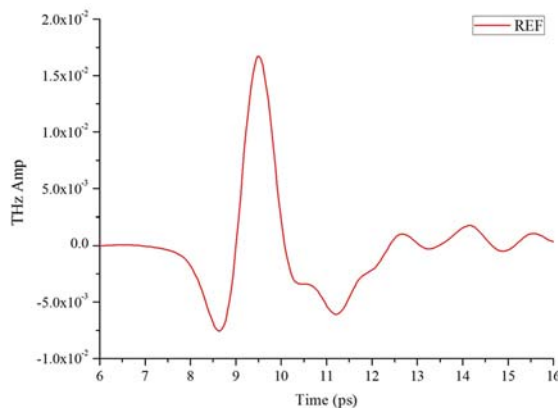


图 3 参考信号的时域光谱

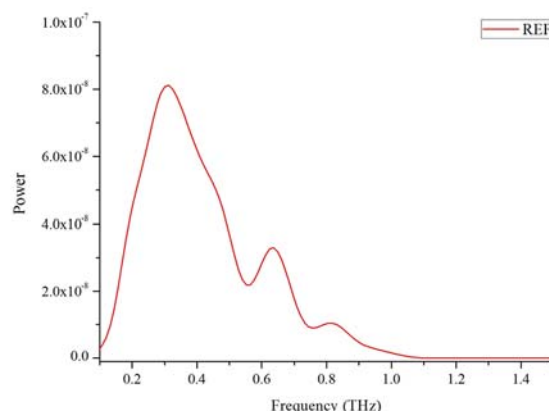


图 4 参考信号的频域光谱

3.2 样品的时域和频域光谱

由图 5 可知，粗泥、细泥、粗灰和细灰的时域光谱峰值分别为 1.91×10^{-3} 、 1.84×10^{-3} 、 1.11×10^{-3} 和 3.43×10^{-3} 。

由图 6 可知，粗泥的太赫兹频域范围为 0.1~0.7 THz，在频率为 0.216 THz、0.276 THz 和 0.637 THz 处存在明显的峰值： 1.71×10^{-9} 、 1.68×10^{-9} 和 2.97×10^{-10} 。细泥的太赫兹频域范围为 0.1~0.5 THz，在频率为 0.276 THz 和 0.637 THz 处存在明显的峰值： 2.30×10^{-9} 和 1.35×10^{-10} 。粗灰的太赫兹频域范围为 0.1~0.5 THz，在频率为 0.264 THz、0.373 THz、0.661 THz 和 0.829 THz 处存在明显的峰值： 9.00×10^{-10} 、 5.80×10^{-10} 、 1.34×10^{-10} 和 5.82×10^{-11} 。细灰的太赫兹频域范围为 0.1~0.7 THz，在频率为 0.276 THz 和 0.625 THz 处存在明显的峰值： 4.76×10^{-9} 和

$1.43 \sim 10^{-9}$ 。由此可见, 粗泥、细泥、粗灰和细灰的频域光谱存在不同的频率峰值。

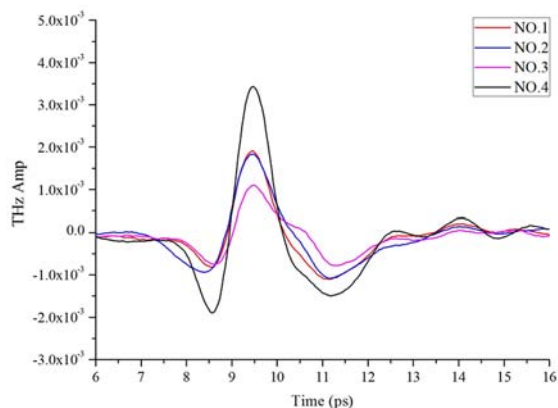


图 5 样品的时域光谱

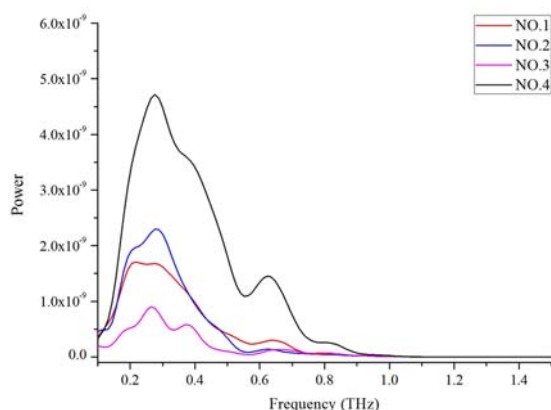


图 6 样品的频域光谱

3.3 样品的折射率和吸收光谱

由图 7 可知, 在 0.2~1.0 THz 范围内, 粗泥的折射率从 1.45 逐渐降低到 1.10; 细泥的折射率从 1.50 逐渐降低到 1.09; 粗灰的折射率从 1.23 缓慢降低到 1.08; 细灰的折射率从 1.75 逐渐降低到 1.17。

由图 8 可知, 粗泥在频率为 0.937 THz 处存在明显的峰值 $5.23 \sim 10^{-9}$; 细泥在频率为 0.733 THz 处存在明显的峰值 $3.00 \sim 10^{-9}$; 粗灰在频率为 0.697 THz、0.853 THz 和 0.949 THz 处存在明显的峰值: $2.13 \sim 10^{-9}$ 、 $2.76 \sim 10^{-9}$ 和 2.98×10^{-9} ; 细灰在频率为 0.252 THz、0.433 THz、0.577 THz 和 0.709 THz 处存在明显的峰值: $8.03 \sim 10^{-10}$ 、 6.77×10^{-10} 、 0.75×10^{-9} 和 3.80×10^{-9} 。

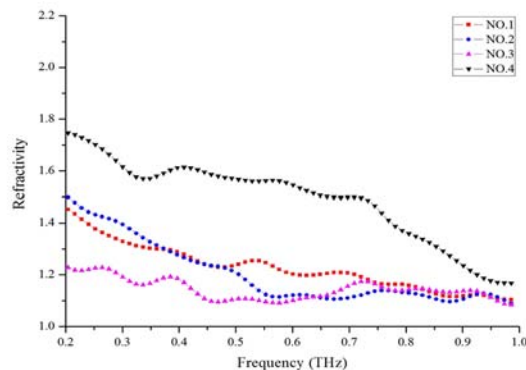


图 7 样品的折射率

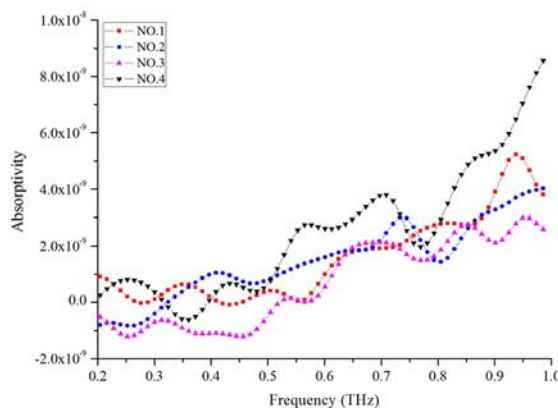


图 8 样品的吸收光谱

3.4 测试结构比较

经分析可知, 粗泥、细泥、粗灰和细灰样品的时域光谱之间的区别较小, 因此时域光谱不能用于区分各样品。由表 1 可知, 各样品的折射率平均值均不相同, 吸收系数的峰值频率也各不相同。因此, 可以根据频域光谱的峰值频率、折射率平均值、折射率峰值频率和吸收系数峰值频率对样品进行区分, 特别是折射率的平均值和吸收系数的峰值频率,

4 结论

利用太赫兹时域光谱获得了壁画中粗泥、细泥、粗灰、细灰的反射光谱。由实验结果可以看出, 壁画制作中各步骤的折射率平均值都不同, 各步骤的吸收系数的峰值频率均不相同。样品的厚度、表面形态和平滑度等因素对太赫兹时域波谱有显著的影响。因此, 可将太赫兹时域光谱技术应用于壁画检测与分析研究, 并可推广应用到其他艺术品的检测分析。

(下转第 44 页)