

文章编号:1001-5078(2008)09-0921-04

· 光电技术与系统 ·

## 模拟沙尘暴条件下的太赫兹辐射传输研究

李宇晔,王新柯,张平,李海涛,陈艳江,李福利,耿玉珍  
(首都师范大学物理系,北京 100037)

**摘要:**使用太赫兹时域光谱技术研究了太赫兹脉冲对模拟沙尘的透射特性,得到不同沙尘条件下信号的透射光谱。同时还进行了沙尘条件下传送成像信号实验,得到比较清晰的像。结果表明太赫兹脉冲能够在沙尘条件下传输太赫兹图像。

**关键词:**太赫兹时域光谱技术;太赫兹成像;太赫兹通讯;沙尘暴

**中图分类号:**0433.59      **文献标识码:**A

## The Transmission Characters of Terahertz Radiation to Stimulant Sand-dust Storm

LI Yu-ye, WANG Xin-ke, ZHANG Ping, LI Hai-tao, CHEN Yan-jiang, LI Fu-li, GEN Yu-zhen  
(Department of Physics, Capital Normal University, Beijing 100037, China)

**Abstract:** This paper reported the characters of Terahertz pulse radiation to stimulant sand-dust storm by using THz-TDS. The transmission spectra under different condition of stimulant sand-dust storm are obtained. At the same time we experimentalize the transmission of imaging signal under different condition of stimulant sand-dust storm. Clear images were obtained. Above-mentioned results indicate Terahertz pulse can transmit image under the condition of stimulant sand-dust storm.

**Key words:** THz-TDS; terahertz imaging; terahertz communication; sand-dust storm

### 1 引言

随着太赫兹探测器以及调节器的研制在不断进步,太赫兹技术在无线通讯领域的意义也变得重要起来。与光学波长相比,太赫兹波和毫米波在传播过程中由微粒造成的散射损失更少。如果下雨或多云时,毫米波带通信可以作为光线路的备用。同样地,如果空气中存有重粒子,如烟尘颗粒、灰尘颗粒等,太赫兹波可以用于短距离通信。与微波通信相比,运用太赫兹技术的优势在于,太赫兹技术有更大的带宽,因而得到更高的传输率,而不必转换光通信的不同硬件装置,如激光器。从太赫兹载流子到微波中继器,可以直接进行全电子学转化。

大气中含有的气溶胶粒子谱分布<sup>[1]</sup>基本符合 Junge 谱,在粒径  $0.3\mu\text{m}$ ,  $0.6\mu\text{m}$  和  $1.0\mu\text{m}$  处出现峰值。其主要成分包含煤烟、氨化合物、灰尘、硫酸、海洋有机质、海盐、有机质结晶、微生物团、花粉。但是在不同天气条件下粒子谱有很大差异,在沙尘暴天气中,大粒子和巨粒子数有明显的增加,粒子数浓度要比晴天背景大气大了约一个量级。春季气溶胶粒子数浓度最大,夏秋季次之,冬季最小,但相差不超

基金项目:国家自然科学基金重大项目(No. 10390160)资助。  
作者简介:李宇晔(1979-),男,在读研究生,在李福利教授等指导下研究太赫兹辐射技术与应用。  
收稿日期:2008-05-08;修订日期:2008-05-22

过一个量级。Patterson 等的研究表明<sup>[2]</sup>, 大气粉尘粒子的粒度分布实际上是3个不同成因组分的组合, 粒径范围分别介于直径2~20μm(B), 20~100μm(A)和0.1~1μm(C), 其中B代表正常情况下均存在的粉尘, A代表与中等强度搬运相关联的粉尘, 可能与尘暴搬运的粉尘关系最密切, C代表气溶胶粒子的沉积物。

在我国西北和内蒙等地的一些干旱地区经常有沙尘暴发生, 甚至首都北京在前几年也偶有沙尘暴发生。典型的1.5THz的太赫兹波其波长在200μm, 距离大气粉尘粒子的尺度分布不远, 因此, 如果考虑设计、制造太赫兹波通讯设备, 就不可能不考虑太赫兹波在通过扬沙或者扬尘条件下的信号情况。

目前, 对沙尘暴光学能见度研究都集中在可见光波段, 主要理论是Mie散射理论, 该理论主要参数涉及粒子尺度因子、入射光波长以及相应的折射率, 由这三个因素可以计算出沙尘空气对可见光的消光系数, 从而计算出能见度距离。在太赫兹还没有专门的理论研究, 借用Mie散射理论中的尺度因子概念, 可以计算出弱沙尘暴下的尺度因子 $\alpha = \frac{2\pi r}{\lambda}$ 在0.1~1范围内。本文主要是从实验的角度对沙尘条件下研究一定频率范围内入射太赫兹光波对应的折射率和透射率情况, 并对结果作比较分析。

## 2 实验装置和数据分析

太赫兹时域光谱技术(Terahertz time domain spectroscopy, THz-TDS)是国际上近年来发展起来的技术<sup>[3~8]</sup>。太赫兹时域光谱技术就是用太赫兹脉冲透射样品或在样品上产生反射, 测量由此产生的电磁场在时间上的变化, 通过傅里叶变换获得频域上幅值与位相的变化, 进而得到样品信息的技术。

### 2.1 沙尘条件下空气透射率测量

实验使用了首都师范大学太赫兹实验室的太赫兹光谱系统(如图1所示)。实验中使用的激光器是Spectra-Physics公司的锁模钛宝石激光器。激光器平均功率为0.66W, 脉冲的中心波长为810nm, 脉冲宽度为100fs, 激光器重复率为80MHz。本套光路是以InAs作为发射极, 通过耗尽层电压加速载流子而辐射太赫兹波。激光射出经分束器CBS分为泵浦光与探测光两路。泵浦光通过斩波器(chopper)

控制太赫兹脉冲输出频率, 利用电动平移台(stage)上的两面反射镜M3和M4来改变光程差, 并经透镜L1聚焦到InAs晶体上, 进而辐射太赫兹波。实验中使用两组镀金抛物面反射镜来使太赫兹波通过样品, 第一组金镜PM1和PM2将太赫兹波聚焦到被测样品上, 第二组金镜PM3和PM4将携带有样品信息的太赫兹波聚焦到探测器上。由于硅片对太赫兹波几乎是透明的, 所以利用一个硅片将探测光反射到探测晶体上。系统所用的探测晶体是厚度为1mm的ZnTe晶体, 通过太赫兹波对ZnTe晶体折射率椭球进行调制, 将太赫兹信号编码到探测光上。如图1所示, 经过ZnTe晶体, 探测光带有了太赫兹波的信息, 通过渥拉斯顿棱镜分为两束不同偏振的光。经反射镜M13和M14, 照射到双眼探测器上, 通过探测两路光强度的不同来确定太赫兹信号的波形。

为了考察沙尘条件下太赫兹信号的通讯能力, 设计了一个模拟扬尘的密闭空间, 其最外表是一个侧面为15mm×15mm, 厚6mm的有机玻璃盒子, 安装有小型直流电机。可根据实验要求更换其中的沙尘。盒子的位置在PM3到PM4之间的准直光路上。以关闭电机不扬尘时的信号作为参考信号。开启电机, 风扇吹动盒子里的尘源, 在盒子内部模拟扬尘条件, 测量信号通过时的相对吸收情况, 并研究图像信号的传播情况。

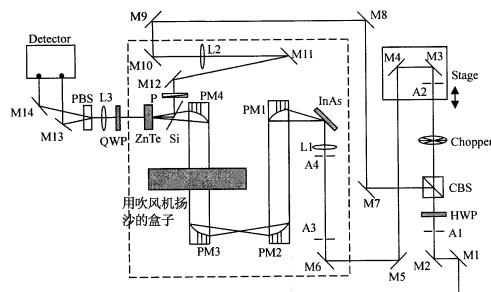


图1 太赫兹光谱系统

选取的尘源分别来自取自长城脚下的尘土(标记为changchengsoil)、校内灌木下的尘土(标记为soil)、球场边的干土(标记为gansoil)以及来自建筑工地的细砂(标记为sand), 且都筛选出最大直径为150μm, 300μm两种规格的粉尘。分别在这八种不同扬尘背景保持大约三级风力且沙尘充足的条件下进行了信号功率透射研究。

得到太赫兹参考信号波形如图 2 所示,与参考信号相比,可见通过弱沙尘的太赫兹信号波形基本保持较好,信息保持比较完整。对图 2 的补充说明:所有四个时域信号都除以参考光信号的最大值以方便比较,同时把各个信号加了不同的常数,以把图像分开,否则信号几乎重叠以致无法区分。

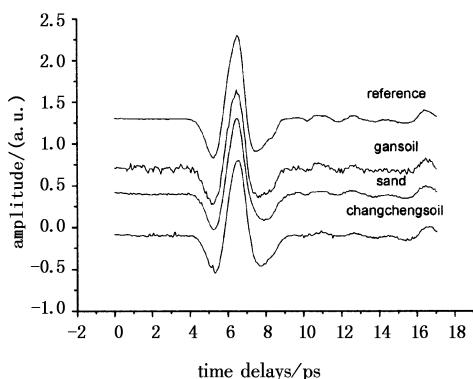


图 2 时域延迟谱

根据波形信号处理得出的参考信号功率谱如图 3 所示,在各种不同沙尘背景条件下的信号功率频谱如图 4 所示,出射太赫兹光能量主要集中在(0.1~0.8)THz 之间。因此在接下来的数据分析中,都只在(0.1~0.8)THz 之间进行分析。

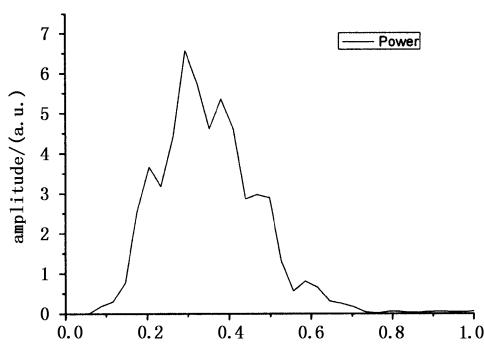


图 3 参考信号功率谱

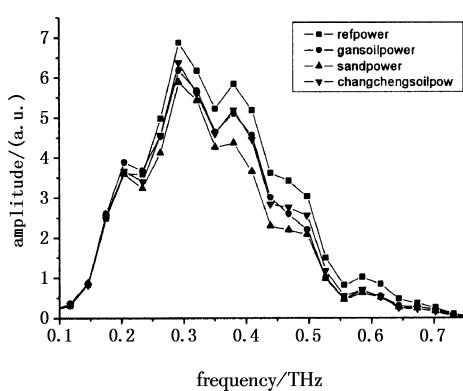


图 4 信号频谱

从图 5 透射率图像可知:在(0.2~1.0)THz 之间,随着入射光频率提高,透射率降低。而全部频率范围都有随机噪声,但是影响不是特别大。由于扬尘电机的震动和沙尘运动带来的随机噪声,在 0.2THz 以下的透射信号测量得不是很准。总体上看,0.2THz 处透射率最高,在 0.8THz 附近有一相对透射较高点。即在风力不太大时,不同来源的沙尘对太赫兹波的消光能力相差不大。太赫兹波对之都有较好的穿透能力。

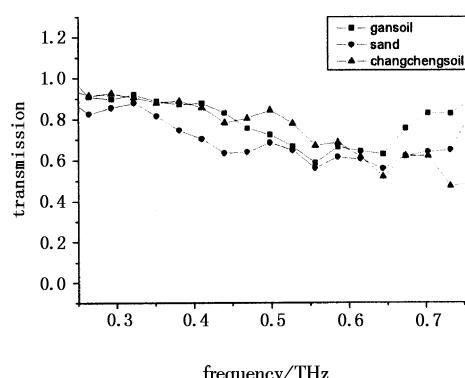


图 5 透射谱

从图 6 折射率图像可知各种不同的沙源的沙尘空气对太赫兹波的折射率影响差别不大,在(0.1~1)THz 之间的折射率都不超过 1.3,并在频率接近 1 THz 的时候折射率也趋近于 1。

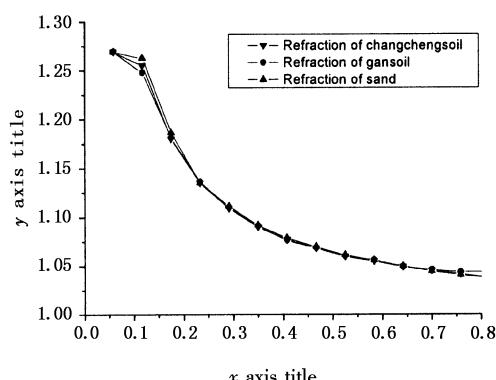


图 6 折射率谱

以上说明:在大约三级的风力情况下,在含沙尘约  $100 \text{ mg/cm}^3$  每立方米的空气对(0.1~1.0)THz 之间的太赫兹波的折射率大约在 1.3 以下,并随着频率的接近 1.0 THz 而逐步降低。同时测得在此频率范围内太赫兹波的透射系数从 0.9 左右开始逐步降低。

## 2.2 扬沙或者扬尘条件下传送成像信号实验

太赫兹成像所依据的基本原理是：透过成像样品（或从样品反射）的太赫兹电磁波的强度和相位包含了样品复介电函数的空间分布。将透射太赫兹电磁波的强度和相位的二维信息记录下来，并经过适当的处理和分析，就能得到样品的太赫兹图像。太赫兹成像系统的构成如图7所示。太赫兹成像系统的构成和工作原理与太赫兹时域谱测试系统相似。太赫兹波被聚焦元件聚焦到样品的某一点上，收集元件则将透过样品（或从样品反射）的太赫兹波收集后聚焦到太赫兹探测元件上。太赫兹探测元件将含有位置信息的太赫兹信号转化为相应的电信号。图像处理单元将此信号转换为图像。

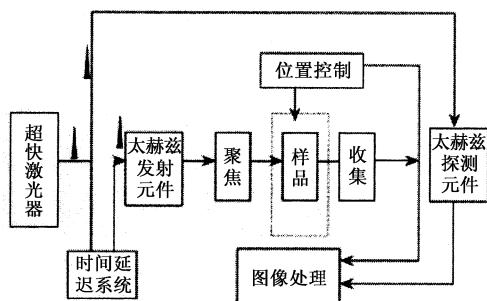


图7 太赫兹成像系统结构图

具体实验中仍用图1所示光路，在PM2到PM3之间的焦点上放置用来成像的物体，实物照片如图8所示。本实验对直径 $300\mu\text{m}$ 的两种尘土和细砂做了成像研究。用铝皮剪成奥运会徽中的人像黏在聚乙烯块的背面作为成像物体。用最大值成像方法成像，结果如图9所示。

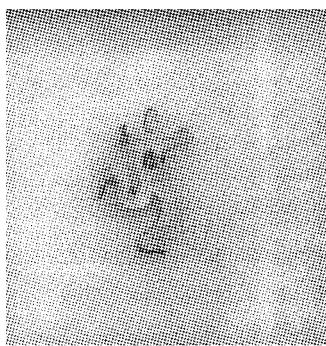


图8 实物图像

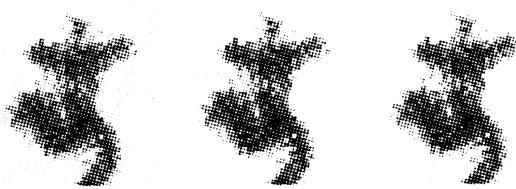


图9 成像结果

由此可见，在模拟沙尘条件下，仍能进行太赫兹图像信号传输。

## 3 结 论

实验表明当风速不超过三级时，空气中各种尘土、细纱对太赫兹波散射和吸收都比较小，在(0.2~1.0) THz之间，随着入射光频率提高，透射率降低。当风速不超过三级时，能够在扬沙、扬尘条件下进行近距离的太赫兹图像传输。

## 参考文献：

- [1] 刘菲,牛生杰.北方沙尘气溶胶光学厚度和粒子谱的反演[J].南京气象学院学报,2006,29(6):775~781.
- [2] Pattersonem, Gilleted A. Commonalitiesin measured size distribution for aerosolshavin gasoil-derived component [J]. JournalofGeophysicalResearch, 1977, 82: 2074 – 2082.
- [3] Wang S,Ferguson B, Abbott D, et al. T-ray imaging and tomography [J]. Journal of Biological Physics, 2003, 29 (2):247 – 256.
- [4] Jiang Zhiping, Zhang X C. Electro-optic measurement of terahertz field pulses with a chirped optical beam [J]. Appl. Phys. Lett. ,1998,72:16 – 20.
- [5] Zhang Lei,Xu Xinlong,Li Fuli. Review of the progress of T-ray imaging [J]. Chinese Journal of Quantum Electronics,2005,22(2):129 – 134. (in Chinese)
- [6] Ren Rong-dong,Wang Xin-ke,Zhao Guo-zhong,et al. Experimental research on terahertz spectrum of architectural materials. [J]. Chinese Journal of Quantum Electronics, 2006,23(4):555 – 559. (in Chinese)
- [7] 任荣东,王新柯,赵国忠,等.太赫兹辐射对建筑材料的穿透特性研究[C]//第十一届全国光电技术与系统年会,北京,2005:890 – 894.
- [8] 王新柯,任荣东,赵国忠,等.与安全检查有关的包装材料的太赫兹谱实验研究[J].量子电子学报,2006, 36(8):678 – 682.