

基于太赫兹时域光谱技术的伪色彩太赫兹成像的实验研究

鹿文亮 娄淑琴 王鑫 申艳 盛新志

False-color terahertz imaging system based on terahertz time domain spectroscopy

Lu Wen-Liang Lou Shu-Qin Wang Xin Shen Yan Sheng Xin-Zhi

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 114206 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.114206

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.114206>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I11>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

可见光域多波长叠层衍射成像的实验研究

Experimental study on multi-wavelength ptychographic imaging in visible light band

物理学报.2015, 64(8): 084203 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.084203>

基于分块速度域改进迭代运动目标检测算法的红外弱小目标检测

A block-based improved recursive moving-target-indication algorithm

物理学报.2014, 63(7): 074208 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.074208>

基于数字全息及复用技术的全场偏振态测试方法

Full-field detection of polarization state based on multiplexing digital holography

物理学报.2013, 62(22): 224204 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.224204>

单摄像机下基于眼动分析的行为识别

Eye movement analysis for activity recognition based on one web camera

物理学报.2013, 62(17): 174203 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.174203>

联合谱域与深度域光谱相位显微方法

Joint spectral and depth domain spectral domain phase microscopy

物理学报.2013, 62(16): 164204 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.164204>

基于太赫兹时域光谱技术的伪色彩太赫兹成像的实验研究*

鹿文亮¹⁾ 娄淑琴¹⁾ 王鑫¹⁾ 申艳¹⁾ 盛新志^{2)†}

1)(北京交通大学电子信息工程学院, 北京 100044)

2)(北京交通大学理学院, 北京 100044)

(2014年9月20日收到; 2014年12月10日收到修改稿)

提出了一种伪色彩太赫兹成像技术. 通过引入频域色彩区间积分, 建立了一套基于太赫兹时域光谱技术的伪色彩太赫兹成像系统, 实验分别研究了乳糖和对氨基苯甲酸两种不同白色化学粉末的伪色彩成像和灰度成像, 研究了不同颜色区间定义对伪色彩图像的影响, 讨论了利用不同频率信息成像系统所能达到的空间分辨率. 研究表明, 伪色彩成像技术可以将不同的物质信息同时成像在一张太赫兹图像中, 通过不同物质在太赫兹图像中呈现出的颜色差别来区分不同的物质及其分布. 克服了传统的太赫兹灰度成像技术中, 需要多张图像来区分不同的物质的问题, 提高了成像速度, 降低了筛选难度. 利用高频信息进行伪色彩成像, 可以将系统成像的空间分辨率提高到0.4 mm. 伪色彩成像方式可以更直观快捷地显示样品的基本属性, 对于实现太赫兹安检的初检和快速筛选具有重大的现实意义.

关键词: 太赫兹成像, 太赫兹时域光谱分析, 伪色彩成像

PACS: 42.30.-d, 87.63.L-, 07.57.-c

DOI: 10.7498/aps.64.114206

1 引言

太赫兹 (THz) 辐射波是介于红外光与微波之间频率范围在 100 GHz—10 THz 的电磁波^[1,2]. 由于波长的特殊性, THz 辐射波在品质控制^[3]、医药^[4,5]、艺术品鉴定^[6,7] 和安检^[8] 等领域具有广泛的应用. 很多物质在 THz 频段都具有独一无二的指纹特性这些特性与其内部分子结构紧密相关^[9–11]. 通过检测其在 THz 频段下的频率特征就可检测出相应的物质^[12].

THz 时域光谱技术 (THz time domain spectroscopy, THz-TDS) 是广泛使用的一种 THz 光谱分析技术^[13]. 最早的 THz 成像通过检测 THz 辐射通过成像样品后的信号强度变化来实现对 THz 辐射吸收强的物质的检测. 1995 年, Hu 等首次利用 THz-TDS 系统对集成芯片 (IC) 进行成像^[14]. 由于

THz 辐射波无法通过 IC 内部的金属布线, 因此应用 THz-TDS 系统可以对内部金属布线进行成像. 1996 年, Mittleman 等就在实验上使用 THz-TDS 系统实现了对树叶的成像^[15]. 成像结果中可以分辨出含水量不同的叶脉和叶片. 后来 THz 信号的相位延迟信息也被应用于 THz 成像. Mittleman 等利用 THz 信号的反射延迟实现了对软盘的断层成像, 成像结果可以看到软盘的分层结构^[16]. THz 辐射可以和大分子进行相互作用获得每种大分子独一无二的指纹信息, 这是 THz 成像技术不同于其他技术而独有的优势, 利用 THz 频率信息进行成像已成为 THz 成像最重要的成像方式. 2006 年, Lu 等利用不同毒品对 THz 频率谱的吸收不同的特点, 成功实现了四种常见毒品的 THz 成像^[17]. 2007 年, Zhang 等利用相同的方法实现了对四种常见爆炸物的 THz 成像^[18]. 虽然 Lu 和 Zhang 等的成像方式

* 国家自然科学基金 (批准号: 61475016, 61177082) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: xzhsheng@bjtu.edu.cn

可以做到对常见物品和爆炸物的清晰成像,但由于采用了色彩单一的灰度图像的表现方式,要表示出四种不同的材料,则需要变换采样频率范围,通过生成四张灰度图像来呈现四种不同的材料,成像速度受到限制,成像结果的表示不够直观简洁. Fukunaga 等检测名画中颜料和黏合剂材料的 THz 频域信息 [6], 从而分析名画的历史, 为名画的修补工作提供依据 [5], 分析中采用了一种根据谱线特点定义颜色来成像方法, 可以用来对现有单色成像方案存在的问题进行改进.

本文提出了一种伪色彩成像技术. 基于 THz-TDS 系统, 实验上搭建了一套伪色彩 THz 成像系统. 利用构建的系统, 系统地研究了乳糖和对氨基苯甲酸 (PABA) 两种不同白色化学粉末的伪色彩成像和灰度成像. 研究显示, 伪色彩成像技术可以将 THz 成像结果的多张灰度图像转化为一张伪色彩 THz 图像, 将不同位置点的复杂的频谱信息转化成直观的彩色图像来显示, 便于人们快速直观的判断出物体的基本属性, 使 THz 成像的结果更加简洁、清楚、直观, 对被测物品的快速判别具有重大的意义.

2 伪色彩 THz 成像系统及成像原理

伪色彩 THz 成像系统基于 THz-TDS 系统搭建而成, 结构如图 1 所示. 在波长为 532 nm 的抽运激光器驱动下, 蓝宝石锁模激光器发出波长为 800 nm、脉宽为 180 fs 的飞秒激光脉冲. 激光脉冲被分束器分成两束, 一束通过延时线后作用于 THz 发射器, 激发 THz 脉冲; 另一束则作用于探测器, 用于激活探测器检测 THz 信号. 在发射器与探测器

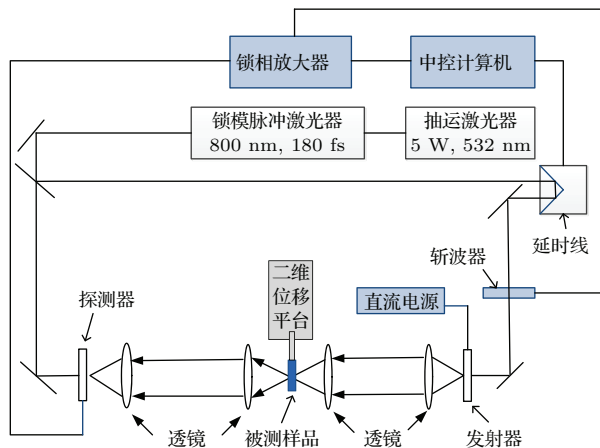


图 1 伪色彩 THz 成像系统的结构示意图

Fig. 1. The setup of false-color imaging system.

之间, THz 辐射被聚四氟乙烯 (Teflon) 材料制成的透镜聚焦到成像样品上. 样品由二维位移平台控制在垂直输入波平面内进行二维栅格扫描, 扫描的每一个点构成 THz 图像的每一个像素.

系统中使用的 THz 信号的时域脉冲如图 2 (a) 所示, 为一个脉宽约为 5 ps 的时域 THz 脉冲, 峰-峰值可达 13 mV. 图 2 (b) 为时域脉冲经过傅里叶变换得到的频率谱. 频域信号的信噪比 (SNR) 最高可以达到 60 dB, 在低于 1 THz 的频率范围内 SNR 均大于 35 dB, 性能足以满足 THz 成像的需求.

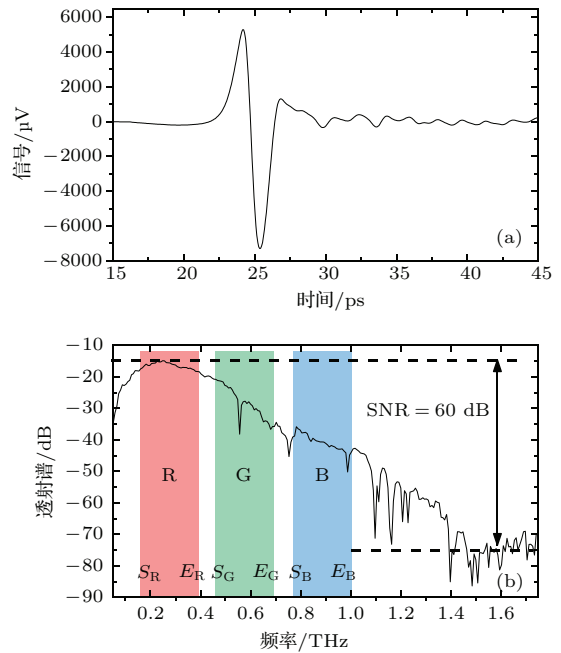


图 2 (网刊彩色) THz-TDS 系统的信号源时域脉冲 (a) 和频谱 (b)

Fig. 2. (color online) (a) The pulse in time domain and (b) spectrum in frequency domain of the THz-TDS.

不同物质在 THz 频率范围内具有不同的特征吸收频率, 该吸收频率同分子自身结构唯一对应. 当 THz 脉冲经过被测样品时, 与样品本征频率相同的频率部分会被物质吸收. 这样, 在接收到的信号的 THz 频谱上, 对应频率位置会出现凹陷. THz 成像就是用频谱上凹陷的位置和强度进行成像的. 传统的使用灰度图像的成像方法需要在 0.1—1 THz 的频率范围内进行扫描, 对每一个频率分别进行成像, 通过生成的 THz 灰度图像来判别物质的组成和分布. 伪色彩 THz 成像则是在频率上建立色彩区间, 利用区间内频域信息生成像素的颜色值, 再生成彩色的 THz 图像. 由于 THz 图像的色彩并非在可见光波段, 而是 THz 频段在信息在可见光波段色彩信息的对应, 所以这种成像方式被称为伪色彩 THz 成像. 伪色彩 THz 成像的流程和具体方

法如图 3 所示. 首先, 需要通过 THz-TDS 系统得到样品每一个像素点的时域函数 $f(t)$. 然后, 通过离散函数的傅里叶变换, 得到对应的频域信息. 每个像素的频域信息具体可以通过如下公式得到:

$$F(\omega_k) = \frac{1}{N} F(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} W_N^{kn} f(n),$$

$$0 \leq k \leq N - 1,$$

$$W_N = e^{-j(2\pi/N)} = \cos(2\pi/N) - j \sin(2\pi/N),$$

其中, N 为时域信号的采样点数, W_N 为变换系数, 是一个复数. $F(\omega)$ 即为每个像素点的频谱函数. $F(\omega)$ 同样为复数函数, 其幅度表示不同频率下 THz 辐射的强度, 幅角则表示相位的延迟信息. 由于本实验基于被测样品对 THz 频率谱的吸收特性进行成像, 所以只利用 $F(\omega)$ 的幅度信息, 即每个像素点的透射谱.

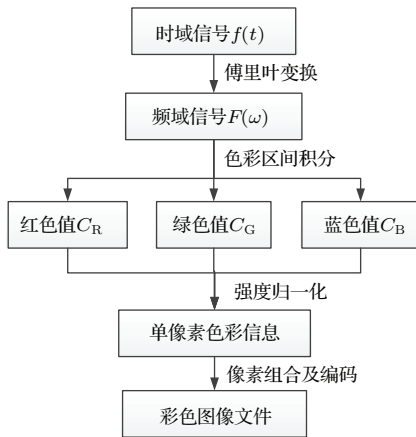


图 3 伪色彩 THz 系统成像流程图

Fig. 3. The flow chart of false-color imaging procedure.

伪色彩 THz 成像色彩区间的定义是伪色彩成像的一个关键步骤. 区间定义方式可以如图 2(b) 所示, 在 0.1—1 THz 的区间内, 定义 $[S_i, E_i]$ ($i = R, G, B$) 为红、绿、蓝三种色彩的频率积分区间. 这样, 三种颜色的强度信息 C_i 即可通过如下的求和公式得到:

$$C_i = \sum_{\omega=S_i}^{E_i} |F(\omega)|, \quad i = R, G, B. \quad (1)$$

由 (1) 式可以看出三原色 C_i 的值只是频率谱透射值的叠加, 仅表示不同像素同一颜色的相对强度, 不具备实际物理意义, 三种颜色的强度值需要进行归一化并进行 24 位彩色图像编码后才能够正常显示. 归一化的方式为

$$P_{m,n}^i = \frac{C_i - \min(C_i)}{\max[C_i - \min(C_i)]}, \quad i = R, G, B,$$

$$P_{m,n} = \text{int}([P_{m,n}^R, P_{m,n}^G, P_{m,n}^B] \times 255),$$

其中, $P_{m,n}^i$ 为图像中位置在 (m, n) 的像素的 R, G, B 颜色信息, int 为取整函数. $P_{m,n}$ 为 (m, n) 点的颜色合成后的像素信息, 由 3 个无符号整型的数组构成 (3×8 位), 满足 24 位真色彩图像编码标准, 可保存为通用彩色图像文件用于显示.

不同物质在 THz 频段具有不同的吸收频率, 吸收强度也会有所不同. 这些特性会直接影响不同像素位置的频谱的特性, 具体表现为 $F(\omega)$ 有所不同, 也就是说 $P_{m,n}$ 的值不同. 每个像素点的颜色和饱和度与物质吸收的频率和强度对应. 对于复杂的被测样品, 通过颜色和强度就可将不同物质的分布和浓度通过一张彩色图, 清晰地表示出来. 这就避免了利用灰度图像成像中需要频率扫描进行多图成像和后期图像筛选的问题.

3 实验结果

实验中采用了乳糖和 PABA 两种白色粉末作为被测样品, 利用 THz-TDS 系统对无样品 (空气)、乳糖和 PABA 进行检测, 得到它们在 THz 频段的特征频谱如图 4 所示. 图 4 中蓝色曲线表示乳糖在 THz 频率范围的透射谱, 可以看出在 0.53 THz 处乳糖对 THz 具有明显的吸收^[19]; 红色曲线表示的 PABA 的透射谱, 在 0.59 THz 和 0.8 THz 两处都有强烈的吸收^[20]; 灰色虚线表示无样品时 THz-TDS 系统 THz 脉冲的频谱, 用来同乳糖和 PABA 的透射谱进行对比. 实验定义红绿蓝三种颜色的频率区间分别为 0.23—0.32 THz, 0.45—0.6 THz 和 0.75—0.9 THz, 如图 4 所示, 红绿蓝三种颜色区域分别对应于三基色的区间. 从图 4 可以清晰看到, 乳糖的吸收频率位于绿色区间, 而 PABA 的吸收频率位于绿色和蓝色区间.

成像实验中, 两种白色粉末装在同一个塑料容器中, 上部分为乳糖, 下部分为 PABA, 如图 5(a) 所示. 塑料容器为长方体, 底面为 10 mm × 10 mm 的正方形, 壁厚约为 1 mm, 内部填充的两种粉末的高度均为 7.5 mm. 样品扫描时, 设定 x 和 y 方向各采集 11 个像素, 每个像素的间隔 2 mm, 一共获得 11 × 11 个像素, 扫描面积为 20 mm × 20 mm. 为了使成像结果色彩过渡更加平滑, 对 THz 图像进行了 30 倍的双线性插值, 最终的 THz 成像结果如图 5(b) 所示.

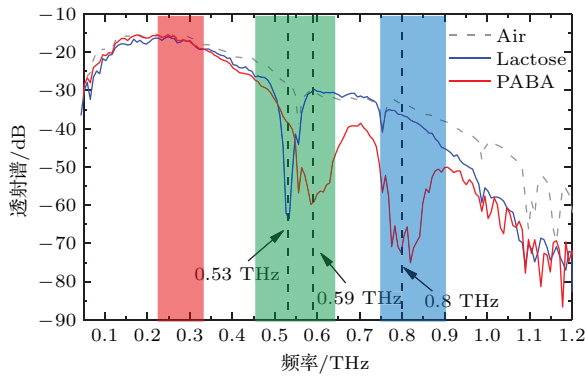


图4 (网刊彩色) 乳糖(Lactose)和对氨基苯甲酸(PABA)的透射谱

Fig. 4. (color online) The transmission spectra of Lactose and PABA.

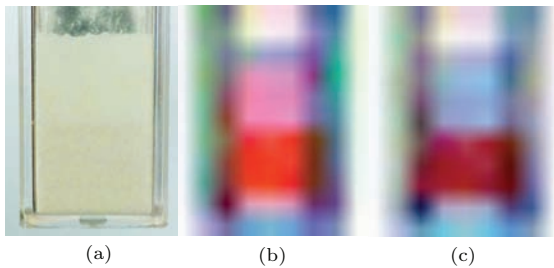


图5 (网刊彩色) 实验被测样品的实物图(a)和两种不同颜色区间定义下的THz成像图(b)和(c)

Fig. 5. (color online) The optical imagery of the sample (a) and two false-color images with different color range definitions (b) and (c).

从图5(b)的成像结果中可以清晰看出背景, 容器壁和容器内两种不同的物质. 乳糖的吸收频率位于绿色区间, 吸收了绿色光, 所以在THz图像中表现为红色和蓝色的混合色——洋红色. PABA的两个吸收频率同时吸收了绿色和蓝色, 所以在THz图像中表现为红色. 容器壁比较厚, 同时吸收了三种颜色的光, 最后表现为黑色. 由此可见, 利用伪色

彩成像的方式, 不需要对每个频率逐一扫描进行成像, 就可以清楚得到物质类别和分布信息. 这样的表示方式, 更加直观.

颜色区间定义不同, THz成像结果也会不同, 为了分析不同定义对成像结果的影响, 变换积分区间的定义, 将红绿蓝三种颜色的频率区间的定义分别改为0.4—0.56 THz, 0.56—0.7 THz和0.7—0.85 THz, 则生成的THz图像如图5(c)所示, 在新的区间定义中, 乳糖吸收的频率范围只影响红色, 所以乳糖部分在THz图像中显示的颜色是蓝色和绿色的混合颜色, 呈现为青色. 而PABA同时影响绿色和蓝色, 所以PABA在THz图像中呈现暗红色. 可见, 在不同的颜色区间定义下, 最终成像结果的颜色会有所不同. 但可以通过不同位置颜色的不同, 将不同的物质快速区分出来.

为了对比伪色彩成像效果, 本文同时也进行了利用灰度图像进行THz成像实验, 实验中利用0.22—0.27 THz, 0.52—0.54 THz和0.58—0.6 THz三段频率范围的数据分别进行成像, 生成了三张灰度图像, 成像结果如图6所示, 图6(a)呈现出了塑料容器的图像, 图6(b)给出了乳糖的成像图像, 图6(c)显示了PABA材料的THz图像. 从图6可以看出, 利用灰度成像的方法需要三张灰度图像才能区分出容器、乳糖和PABA三种不同材料. 而在伪色彩THz成像技术中, 由于引入了色彩元素, 可以将灰度成像的三张THz图像内容集成显示到一张图片中, 如图5(b)或者图5(c)所示. 对比实验研究表明, 同灰度图THz成像相比, 伪色彩THz成像, 将传统灰度成像的多张THz图像内容集成显示到一张图片中, 一方面, 使成像结果更加清晰; 另一

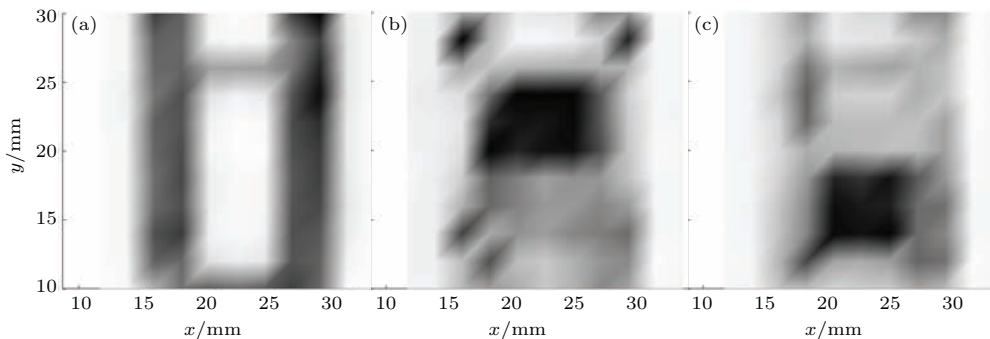


图6 在不同频率范围0.22—0.27 THz (a), 0.52—0.54 THz (b) 和0.58—0.6 THz (c) 下的THz灰度成像
Fig. 6. The grayscale images in different frequency ranges: (a) 0.22—0.27 THz; (b) 0.52—0.54 THz and (c) 0.58—0.6 THz.

方面, 伪色彩 THz 成像免去了灰度图像 THz 成像中需要对频率扫描才能获得所需信息, 提高了成像速度, 降低了筛选难度.

对于被检测样品成分构成复杂的情形, 三基色定义区间需要根据具体情况进行调整, 实现最优的成像效果. 具有复杂成分的被测样品会出现特征吸收频率接近的情况, 成像色彩差异较小, 区分不明显, 这时可以采用通过变换三基色定义区间, 对比不同伪色彩图像的方法来增加辨识度. 实验中采取了两种不同的三基色定义区间: 在第一种三基色定义区间方案下, 乳糖和 PABA 分别表现为洋红色和红色 (如图 5(b) 所示), 两种颜色属于同一色系; 在第二种三基色定义区间方案下, 乳糖和 PABA 分别显出青色和红色 (如图 5(c) 所示), 属于不同色系. 显然, 在第二种三基色定义区间下, 两种物质在 THz 伪色彩图像中的颜色区别更大. 另外, 本方法注重于将不同物质快速的区分, 从而实现在安检中快速的筛选. 对于可疑物质精准的判别, 仍需要通过吸收谱线进行详尽的分析.

4 系统分辨率

空间分辨率是衡量成像系统的一个重要的参数, 表示成像系统能够成像的最小物体的尺寸. 通常用 THz 成像系统能够成像的最细的金属线的宽度作为整个系统的成像分辨率.

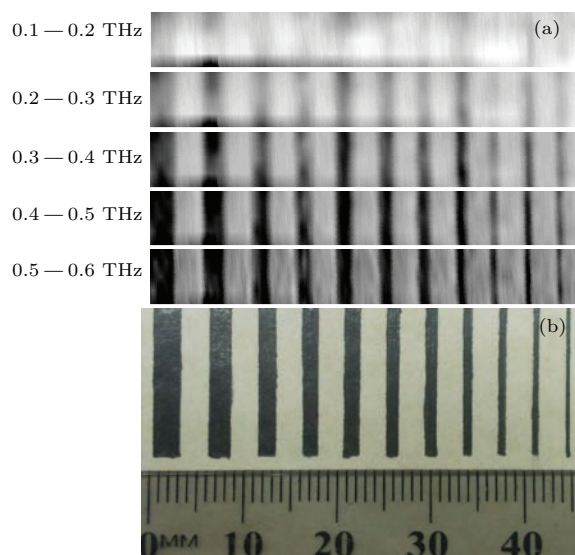


图 7 自制检测样板 (b) 及其在不同频率下的 THz 成像 (a)
Fig. 7. Home-made sample plate (b) and its THz images at different frequencies (a).

实验中, 采用了自制的检测样板, 如图 7(b) 所示. 检测样板上不同宽度的细线由石墨绘制, 用石

墨线来代替金属线, 石墨线之间间隔为 3 mm, 石墨线宽度从左向右依次为 3 mm, 2.5 mm, 2 mm, 1.8 mm, 1.6 mm, 1.4 mm, 1.2 mm, 1 mm, 0.8 mm, 0.6 mm 和 0.4 mm. 利用成像系统对样板进行扫描, x 方向的扫描步长为 0.1 mm. 由于 THz 波的波长较长, 分辨率通常受到 THz 波衍射极限的限制. 也就是说, 不同频率下, 成像系统的分辨率不同. 为了研究不同频率下系统的分辨率, 本实验利用不同的频率的值进行成像. 得到的 THz 成像结果如图 7(a) 所示, 在 0.1—0.2 THz 的频率范围中, THz 波长为 3 mm, 波长已经大于石墨线的宽度, 成像效果很差. 在 0.2—0.3 THz 频率范围内时, 成像结果开始变得清晰, 虽然对于宽度较窄的石墨线成像有些模糊, 但对于宽度大于等于 1 mm 的石墨线成像已经很清楚. 随着频率的升高, 成像效果越来越好. 在 0.3 THz 时, 最细为 0.4 mm 的石墨线都可以清楚地分辨出来. 所以, 如果将系统的最低起始频率设定为 0.3 THz, 系统的空间分辨率可达到 0.4 mm.

对于利用频谱信息成像的 THz 系统, 利用高频信息来成像可以获得较高的分辨率, 但是会遇到低频信息缺失的问题, 而如果为了获得低频的信息, 则不能实现较高的分辨率, 在实际应用中, 应该权衡二者的关系来定义颜色范围. 不过, 对于 0.2 THz 的低频来说, 分辨率仍可以达到 1 mm, 这已经足够满足大多数情况的需要.

5 结 论

本文提出了一种伪色彩 THz 成像技术, 通过定义伪色彩颜色频率区间和进行红绿蓝三基色合成的方式, 生成了伪色彩 THz 图像. 基于 THz-TDS 系统建立了一套伪色彩 THz 成像系统, 并通过具体成像实验, 对伪色彩成像技术进行了实验验证. 研究表明, 由于颜色的引入, 伪色彩图像包含更多的信息. 相比于利用单一信息的灰度成像, 伪色彩 THz 成像可以在同一幅 THz 图像中表现出多种不同的信息, 成像结果更加清晰直观. 颜色定义区间可根据具体情况进行调整, 必要时可根据不同三基色定义区间生成多张图像进行对比, 以适应多种不同应用情况. 在 0.3 THz 以上频率的范围, 该成像系统的分辨率可以达到 0.4 mm. 而对于 0.2 THz 低频的分析, 分辨率约为 1 mm, 仍可满足大多数情况的应用. 该成像方式提高了成像速度, 成像结果更加清晰直观, 提高了判别效率, 对于 THz 成像在安检领域的应用具有重要意义.

感谢悉尼大学物理学院 IPOS 实验室提供实验材料与设备, 感谢 Alexander Argyros 副教授的指导与讨论.

参考文献

- [1] Dragoman D, Dragoman M 2004 *Prog. Quantum Electron.* **28** 1
- [2] Bradley F, Zhang X C 2003 *Physics* **32** 286 (in Chinese) [Bradley F, 张希成 2003 物理 **32** 286]
- [3] Woodward R M, Cole B E, Wallace V P, Pye R J, Arnone D D, Linfield E H, Pepper M 2002 *Phys. Med. Biol.* **47** 3853
- [4] Kawase K, Ogawa Y, Watanabe Y, Inoue H 2003 *Opt. Exp.* **11** 2549
- [5] Liu S J, Yu F, Li K, Zhou J 2013 *Physics* **42** 788 (in Chinese) [刘尚建, 余菲, 李凯, 周静 2013 物理 **42** 788]
- [6] Fukunaga K, Ogawa Y, Hayashi S, Hosako I 2007 *IEICE ELECTRON EXP.* **4** 258
- [7] Siegel P H 2004 *IEEE T MICROW. THEORY* **52** 2438
- [8] Kemp M C, Glauser A, Baker C 2007 *International Journal of High.* **17** 403
- [9] Walther M, Plochocka P, Fischer B, Helm H, Jepsen P U 2002 *Biopolymers* **67** 310
- [10] Li N, Shen J L, Sun J H, Liang L S, Xu X Y, Lu M H, Jia Y 2005 *Opt. Exp.* **13** 6750
- [11] Hu Y, Huang P, Guo L T, Wang X H, Zhang C 2006 *Phys. Lett. A* **359** 728
- [12] Federici J F, Schulkin B, Huang F, Gary D, Barat R, Oliveira F, Zimdars D 2005 *Semicond. Sci. Technol.* **20** S266
- [13] Exter M V, Fattinger C, Grischkowsky D 1989 *Opt. Lett.* **14** 1128
- [14] Hu B, Nuss M 1995 *Opt. Lett.* **20** 1716
- [15] Mittleman D M, Jacobsen R H, Nuss M C 1996 *IEEE J Sel. Top. Quant.* **2** 679
- [16] Mittleman D M, Hunsche S, Boivin L, Nuss M C 1997 *Opt. Lett.* **22** 904
- [17] Lu M, Shen J L, Li N, Zhang Y, Zhang C L, Liang L S, Xu X Y 2006 *J Appl. Phys.* **100** 103104
- [18] Zhang Z W, Zhang Y, Zhao G Z, Zhang C 2007 *Optik* **118** 325
- [19] Byrne M B, Cunningham J, Tych K, Burnett A D, Stringer M R, Wood C D, Dazhang L, Lachab M, Linfield E H, Davies A G 2008 *Appl. Phys. Lett.* **93** 182904
- [20] Palka N 2011 *Acta Phys. Pol. A* **120** 713

False-color terahertz imaging system based on terahertz time domain spectroscopy*

Lu Wen-Liang¹⁾ Lou Shu-Qin¹⁾ Wang Xin¹⁾ Shen Yan¹⁾ Sheng Xin-Zhi^{2)†}

1) (School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

2) (School of Science, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

(Received 20 September 2014; revised manuscript received 10 December 2014)

Abstract

Based on terahertz time domain spectroscopy, a false-color imaging system is demonstrated by experiments. Three frequency ranges are defined as color ranges for three primary colors (red, green and blue). The mixture of the spectral integral values in each color range presents the final color of each pixel on the false-color THz image. Since the absorption frequencies of different materials are different, the spectral integral values in defined ranges are different, leading to different color on the false-color THz image. The false-color THz images of two kinds of white powder which are lactose and 4-aminobenzoic acid are obtained from the imaging system with two different definitions of color ranges. From the first color range definition, the absorption frequency of lactose lies in the green range, so only the green light is absorbed, and the color of lactose is magenta. In the meanwhile, there are two absorption frequencies for 4-aminobenzoic acid lying in the green and blue ranges, so both green and blue light are absorbed, and the color of 4-aminobenzoic acid is red. They can be told easily by different colors on the false-color THz image. From the second color range definition, the colors of two kinds of powder are more different. Both false-color THz images can present the cuvette and two kinds of powder clearly. By comparing the THz imaging with grayscale images, false-color THz imaging can display different materials by different colors in one image, instead of the requirement of many grayscale images. It is no need to generate grayscale images at each frequency, making false-color THz imaging consume less time. The false-color imaging is clearer and more efficient, which is more suitable for recognition in a rapid security check. In the situation of complex materials, more false-color THz images can be generated by different color range definitions to assist the detection. The spatial resolution of the imaging system is also investigated. The resolution of imaging system is investigated by imaging home-made standard sample plate. For the frequency range that is higher than 0.3 THz, the resolution can reach 0.4 mm, which is larger than enough for most practical applications.

Keywords: THz imaging, THz-TDS, false-color imaging

PACS: 42.30.-d, 87.63.L-, 07.57.-c

DOI: 10.7498/aps.64.114206

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 61475016, 61177082).

† Corresponding author. E-mail: xzhsheng@bjtu.edu.cn