

文章编号:1001-5078(2007)09-0876-03

# 连续太赫兹波在安全检查中的实验研究

李海涛,王新柯,牧凯军,张艳东,张存林,李福利  
(首都师范大学物理系,北京 100037)

**摘要:**文章介绍了应用连续太赫兹波成像系统探测隐藏在纸盒、聚乙烯泡沫、毛巾等材料后面的金属刀具的实验研究。实验结果表明使用连续太赫兹波成像系统可以明显地识别出隐藏在这三种材料后面的金属刀具,证明连续太赫兹波在安全检查领域有非常诱人的应用前景。

**关键词:**太赫兹连续波;安全检查;连续波成像;耿氏振荡器

**中图分类号:**TN015 **文献标识码:**A

## Experimental Studies on Terahertz Continuous Wave Related to Security Inspection

LI Hai-tao, WANG Xin-ke, MU Kai-jun, ZHANG Yan-dong, ZHANG Cun-lin, LI Fu-li  
(Department of Physics, Capital Normal University, Beijing 100037, China)

**Abstract:** In this paper, the Terahertz (THz) continuous wave imaging system has been used to inspect the metal-knife which respectively concealed behind the paper box, polyethylene-foam and towel. The results show that THz continuous wave imaging system can be used to clearly distinguish the knife concealed behind the materials above. THz continuous wave has a good future in the field of security inspection.

**Key words:** THz continuous wave; security inspection; continuous wave imaging; Gunn oscillator

### 1 引言

目前,在安全检查领域最常用的方法是用 X 光检测行李物品,用拱形安全检测门和手持的金属探测器来检测旅客随身携带的违禁品。但是在很多情况下,这些检测手段无法达到安全要求,并且效率比较低。随着太赫兹成像技术的兴起,为安检领域注入了新的活力,与 X 光成像等检测手段形成有力的互补。太赫兹(Terahertz,简称 THz)辐射是指频率在(0.1~10)THz 之间(波长范围为 3mm~30 $\mu$ m)的电磁波,其波段处于微波和红外光之间,如图 1 所示。

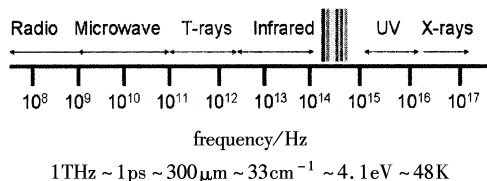


图1 太赫兹波在电磁波谱中的位置

太赫兹辐射具有很多特殊性质。例如,很多相对于可见光和红外光不透明的材料在太赫兹频率范围内却是近似透明的;太赫兹波的波长远小于微波,

从而可以获得更高的空间分辨率;同时由于太赫兹波的能量较低,所以对活性组织无损害性;这些优点使得太赫兹波成像技术有望成为一种更安全、更有潜力的安全检查技术。

本文作者利用连续太赫兹波成像系统对隐藏在几种包装材料后的刀具进行了成像研究。从而表明了连续太赫兹波成像技术在安全检测方面的应用潜力。

### 2 成像原理和实验装置

太赫兹成像技术包括脉冲成像技术和连续波成像技术两种。本课题组曾成功地将脉冲太赫兹辐射用于隐蔽物的安全检测。脉冲成像技术的一个显著特点是信息量大,每一个像素点对应一个时域波形,可以从图像像素的时域信号或它的傅里叶变换谱得到样品的空间密度分布、折射率和厚度分布等信息,

**基金项目:**国家自然科学基金重大项目(No. 10390160)。

**作者简介:**李海涛(1981-),男,首都师范大学在读研究生,在李福利教授等指导下研究太赫兹辐射技术与应用。E-mail: tao-tao531000@sina.com

**收稿日期:**2007-03-21; **修订日期:**2007-04-05

缺点是通常需要较长的数据获取时间。

不同于脉冲太赫兹成像技术,连续太赫兹成像技术是利用样品所反射或透射的太赫兹波的强度信息进行成像,其原理如图2所示。由于连续太赫兹发射源能够提供比常见的太赫兹脉冲更高的射线强度,因此在通常情况下更能满足应用要求。而且,由于连续太赫兹成像系统不需要采用泵浦探测方法,系统的复杂程度大大降低,成本也大大地降低,能够更加容易普及。再者,由于连续波成像记录的是太赫兹波透过样品或经样品反射后的强度信息,无需时间延迟扫描,所以成像速度极大的提高。

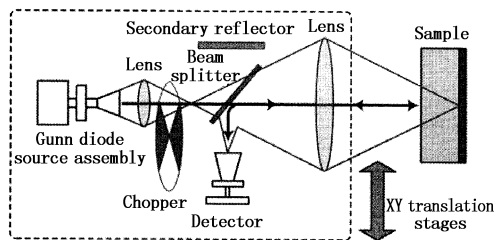


图2 太赫兹连续波成像原理

实验中使用的仪器是首都师范大学太赫兹波谱与成像实验室的连续太赫兹波成像系统。它以耿氏二极管振荡器为辐射源,肖特基平面二极管为探测器,采用反射式的光路设计。主要包含五个部分:太赫兹单元,电动平移台,电路控制板,电源(内含变压器)和计算机。其中,最主要的部件是太赫兹单元,它集发射器、探测器、聚焦和传导光束的元件于一体。系统太赫兹单元的实物图如图3所示。

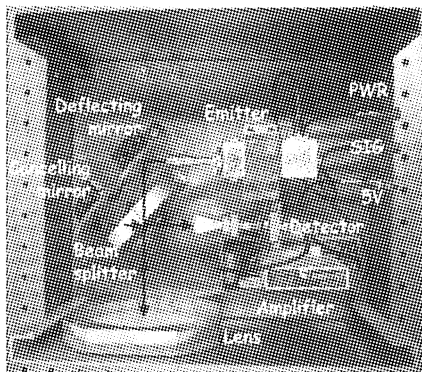


图3 系统太赫兹单元的实物图

发射器(emitter)是由耿氏振荡器和倍频器组成的,其中耿氏振荡器产生出0.1THz波,经倍频器2倍频后,输出0.2THz的太赫兹波。太赫兹波由喇叭天线耦合传输,经反射镜(deflecting mirror)反射后,透过分束镜(beam splitter)(高阻硅片,对太赫兹波半透半反),照射到高密度聚乙烯透镜上。然后,太赫兹波被透镜聚焦,在太赫兹波的焦斑处放置铝制平面反射底板,作为系统的背景反射面。样品放置在反射底板上,严格上不能超出焦点处的瑞利范围。太赫兹波正入射到样品表面。再经样品或金属

底板反射,反射的太赫兹波被同一面透镜收集并会聚,再由分束镜反射到探测器(detector)。探测器是一个平面电极肖特基二极管,探测信号经过低噪放大器(amplifier)放大后,被数据采集卡采集,最后传输到计算机中进行图片处理。在分束镜的背后,放置消光镜(canceling mirror),其主要作用是将来自分束镜的部分辐射反射回到探测器上,以及消除被透镜反射的太赫兹射线形成的驻波影响。

系统的工作频率为0.2THz,输出功率为10mW,空间分辨率为2.7mm。景深为20mm,焦距为180mm。太赫兹单元的移动采样,通过X-Y平移台实现,平移台精度 $30\mu\text{m}$ ,最大速度600mm/s,最大扫描范围 $55\text{cm}\times 55\text{cm}$ 。扫描速度可以调节,通常速度偏低时,图像质量较好。在检测过程中,样品尽量放在太赫兹单元的焦点处,以保证样品处在太赫兹波的瑞利范围内。还要保证太赫兹波正入射到样品表面,防止太赫兹波没有反射到探测器方向,造成信息的丢失,影响检测结果。

### 3 实验结果及分析

本文的第一个实验中,将刀子隐藏在普通的纸盒当中,纸盒壁的厚度为2mm。在第二个实验中,将刀具放在普通的毛巾当中。第三个实验中,我们将刀具放在包装材料聚乙烯泡沫的后面,聚乙烯泡沫的厚度为13mm。利用上述连续太赫兹成像系统进行检测成像实验,如图4~6所示。

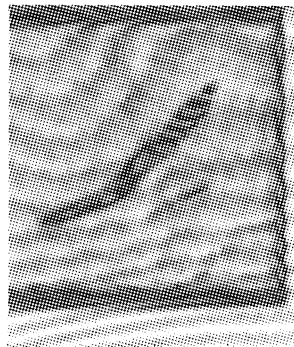


图4 纸盒中的刀具

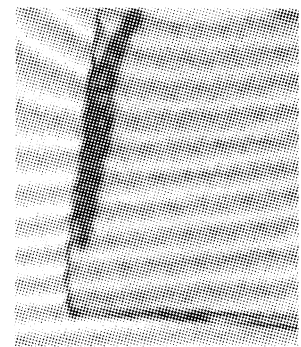


图5 放在毛巾中的刀具

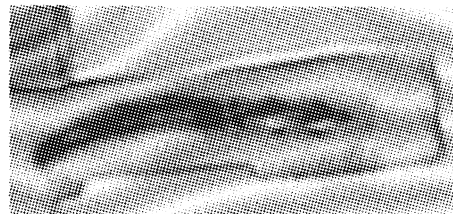


图6 放在聚乙烯泡沫后面的刀具

从图中可以看到,纸盒、聚乙烯泡沫、毛巾对于太赫兹波几乎是透明的。在三个实验中都可以清楚地看出刀具的形状和遮挡物的边缘轮廓。其中在图6中的前端还可以看到两个明亮的地方,对照实物图发现这是刀刃较锋利的两个地方。从实验当中可

以看到,在每一个实验图像中都存在干涉条纹。图像受干涉条纹的影响较大时,甚至可能影响对危险物品的辨别。干涉条纹是多路反射射线在探测器相干叠加的结果,目前从实验装置中还不能很好地去除。

#### 4 结论和展望

以上的实验结果表明,通过连续太赫兹成像系统可以比较清楚地看到隐藏在纸盒、聚乙烯等包装材料以及纺织物——毛巾中的刀具,从而有可能将其应用于安全检查当中。连续太赫兹成像技术仍然处于研究和发展之中,基础研究和技术应用都还在不断地完善和发展。现有的太赫兹成像系统的设备不仅价格昂贵,而且成像不够清晰,存在干涉条纹,信息处理过程较复杂,有待于进一步实用化。但总体来看,小型、低廉、便携式连续太赫兹成像系统在安全检查方面确实有着诱人的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] S Wang, B Ferguson, D Abbott, et al. T-ray imaging and tomography [J]. Journal of Biological Physics, 2003, 29 (2): 247 - 256.
- [2] John F Federici, Brian Schulkin, Feng Huang, et al. THz imaging and sensing for security applications-explosives,

weapons and drugs [J]. Semicond. Sci. Technol., 2005, 20: S266 - S280.

- [3] K Siebert, T Löffler, H Quast, et al. All-optoelectronic continuous wave THz imaging for biomedical applications [J]. Phys. Med. Biol., 2002, 47: 3743 - 3748.
- [4] A Luukanen, R H. Hadfield, A J Miller. A superconducting antenna-coupled microbolometer for THz Applications [C] // Proc. of SPIE, 2004, 5411: 121 - 126.
- [5] Sun Jin-Hai, Shen Jing-Ling, Liang Lai-Shun, et al. Experimental investigation on terahertz spectra of amphetamine type stimulants [J]. Chin. Phys. Lett., 2005, 22 (12): 3176.
- [6] 李福利,任荣东,王新柯,等. 太赫兹辐射原理与若干应用[J]. 激光与红外, 2006, 36(增刊): 785 - 791.
- [7] 任荣东,王新柯,赵国忠,等. 建筑材料的太赫兹实验研究[J]. 量子电子学报, 2006, 23(4): 555 - 559.
- [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实验研究[J]. 激光与红外, 2006, 36(8): 678 - 682.
- [9] 韩元,周燕,阿布来提,等. 太赫兹技术在安全领域中的应用[J]. 现代科学仪器, 2006, 2: 45 - 47.
- [10] 张蕾,徐新龙,李福利. 太赫兹 (THz) 成像的进展概况[J]. 量子电子学报, 2005, 22(2): 129 - 134.

(上接第 875 页)

是采用共平面微带线方法解决的。实现两种组件为  $50\Omega$  阻抗匹配,全频带幅频波动很小,达到了  $\pm 2.5\text{dB}$ ,幅频响应曲线如图 5 所示。

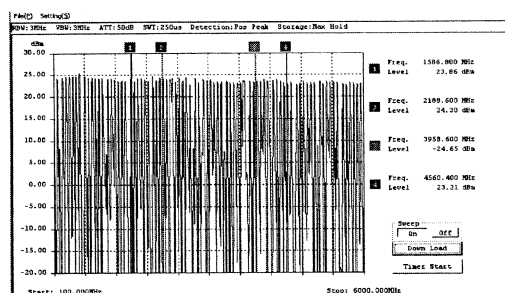


图5 幅频响应曲线

#### 3 测试结果

经过准确的测试,系统在工作频率、幅频波动、三阶交调抑制等指标上已经与国外产品达到了相同的水平,而且达到了更高的输出 1dB 压缩点,从而保证了更大的线性工作范围<sup>[6]</sup>。光调制解调器的主要指标测试结果与国外产品的对比如表 1 所示。

表 1 主要指标的测试结果与国外产品指标对比

技术指标	光调制解调器	1.5 $\mu\text{m}$ DFB 激光器 1741A 型光发射机
工作频率	(0.1 ~ 6) GHz	(0.1 ~ 6) GHz
输出 1dB 压缩点	$\geq 22\text{dBm}$	+13dBm
幅频波动	$\pm 2.5\text{dB}$	$\pm 2.5\text{dB}$
输入输出阻抗	$50\Omega$	$50\Omega$
三阶交调抑制	$\geq 30\text{dBc}$	$\geq 30\text{dBc}$
射频输出功率	$\geq 20\text{dBm}$	$\geq 16\text{dBm}$

#### 4 结论

随着光纤通信系统的不断向前发展,势必要求更加高速稳定的光调制解调器。我们研制的光调制解调器实现了微波信号的高线性、低失真,远距离光纤传输,具有抗干扰能力强、性能稳定好、使用方便等优点,它的微波封装与阻抗匹配方法有独到之处,可广泛地应用于信号传输与信息处理领域,有着十分广阔的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 周震,余重秀,马健新. 一种同时具有高消光比和低插入损耗的新型谐振腔增强型光调制器的理论分析 [J]. 半导体学报, 2006, 27(7): 1305 - 1309.
- [2] 2002 Designers' Reference Manual [M]. Analog Devices, 2002.
- [3] Ortela Division of Emcore [M]. February 24, 2003.
- [4] 黄章勇. 光电子器件和组件 [M]. 北京:人民邮电出版社, 2001.
- [5] Reinhold Ludwig, Pavel Bretchko. 射频电路设计理论与应用 [M]. 北京:科学出版社, 2002.
- [6] Matthew M Radmanesh. 射频与微波电子学 [M]. 北京:电子工业出版社, 2002.