

# 连续太赫兹波远距离成像

邓 朝 邢春飞 吕 默 张存林

(首都师范大学物理系, 北京市太赫兹波谱与成像重点实验室, 省部共建太赫兹光子重点实验室, 北京 100048)

**摘要** 简要介绍了连续太赫兹波远距离反射式成像系统及其在安全检测领域中的应用。该系统采用耿氏振荡器作为辐射源; 无偏置的肖特基二极管作为探测器; 工作频率为 0.2 THz; 成像距离为 25 m。样品放在由计算机控制的 X-Y 二维平移台上, 通过控制样品的二维移动来实现扫描成像。由菲涅耳聚乙烯透镜准直后的太赫兹波束在空气中传播, 然后用另一个菲涅耳聚乙烯透镜聚焦到样品上。通过逐点扫描的方法得到样品不同点背向散射的太赫兹波的强度信息, 进而绘制出样品的二维灰度图像。通过对 25 m 远处的多孔铝板、飞机模型以及装在纸盒内的玩具手枪进行成像, 结果表明连续波远距离成像在安全检测领域具有广阔的应用前景。

**关键词** 连续太赫兹波; 远距离成像; 耿氏振荡器; 肖特基二极管; 安全检测

**中图分类号** O439 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/AOS200929s1.0050

## CW THz Standoff Imaging

Deng Chao Xing Chunfei Lü Mo Zhang Cunlin

(Beijing Key Laboratory for Terahertz Spectroscopy and Imaging, Key Laboratory of Terahertz Optoelectronics, Ministry of Education, Department of Physics, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

**Abstract** A continuous-wave (CW) terahertz (THz) standoff scanning imaging system at 0.2 THz is presented. This system works at reflection geometry and the imaging distance is 25 m. A Gunn oscillator is utilized as emitter and an unbiased Schottky diode operated at room temperature is employed as detector. A polyethylene Fresnel lens is used to collimation terahertz wave for standoff propagation. Six aluminum mirrors are employed to increase distance. The sample is placed on an X-Y two-dimensional stage which is controlled by a computer. The collimated THz wave propagates in air and is focused to the sample by another polyethylene Fresnel lens. The back scattered THz wave from the sample surface is collected by the detector along the same path. The two-dimensional image of sample is obtained by a raster scanning fashion. An aluminum plate with holes, an airplane model and a toy gun contained in a box are imaged at 25 m from the imaging unit. The results show that this standoff imaging system has a wide potential to be applied in the area of security inspection and screening.

**Key words** continuous-wave THz; standoff imaging; Gunn oscillator; Schottky diode; security inspection

## 1 引 言

近年来,随着恐怖主义事件的频繁发生,世界各国政府对机场、车站等公共场所的安全检测越来越重视。传统的安全检测系统仍有很多缺点,因而产生了大量的错误警告。为了有效地对公共场所进行安全检测,防范和打击恐怖活动,各国政府投入了大量的人力物力来研究高性能的安全检测技术和系统。目的在于能更加有效的对各种违禁品,危险品进行预警。使人民的生命和财产得到更加有效的保护。

太赫兹 (THz) 辐射通常指的是频率在 0.1 ~

10 THz(波长在 300  $\mu\text{m}$  ~ 3 mm)之间的电磁波<sup>[1]</sup>。太赫兹成像技术是一种新型的安全检测技术。太赫兹波对塑料、纸片、纺织品以及皮革等的材料具有很强的穿透力(这些材料可以完全阻碍可见光和红外线传播);太赫兹波具有比毫米波更短的波长,这使得通过太赫兹波所成的图像具有更高的空间分辨率;1 THz 的光子能量仅为 4.1 meV,同 X 射线相比,它对生物组织不会造成电离损伤;相对于红外线来说,太赫兹波对热背景噪声不敏感<sup>[2]</sup>。可见,基于太赫兹技术的连续太赫兹波远距离成像系统有可能

**基金项目:** 国家 973 计划(2007CB310408)资助课题。

**作者简介:** 邓 朝(1982-),男,硕士研究生,主要从事太赫兹成像方面的研究。E-mail: hncdsydc@yahoo.com.cn

**导师简介:** 张存林(1961-),男,教授,主要从事太赫兹及红外波谱与成像方面的研究。

E-mail: cunlin\_Zhang@mail.cnu.edu.cn (通信联系人)

成为一种有效的,更可行的安全检测方法<sup>[3,4]</sup>。可以和传统的安全检测系统形成有效的互补。

## 2 系统介绍

同脉冲太赫兹成像系统相比,连续太赫兹波成像系统只探测太赫兹波的强度信息,不考虑相位信息,也不需要时间延迟扫描,这使得连续太赫兹波成像系统具有结构简单、光学元件数量少、扫描速度快以及系统价格便宜等优点<sup>[5~9]</sup>。这也使得该系统更接近于实际应用。

图1为连续太赫兹波远距离成像系统示意图。该系统采用耿氏振荡器作为辐射源,无偏置肖特基二极管作为探测器,并且辐射源和探测器都集成在THz单元中。系统的工作频率为0.2 THz;采用反射式成像机制;成像距离为25 m。耿氏振荡器辐射出0.1 THz的电磁波,再经过倍频器使得通过喇叭天线辐射到自由空间的太赫兹波的频率为0.2 THz。可以将辐射出来的太赫兹波束看成为高斯光束。由于要进行远距离的传输,采用了一个菲涅耳聚乙烯透镜<sup>[10]</sup>对太赫兹光束进行准直,透镜的焦距为152.4 mm。由于实验室大小有限,采用了六个反射镀铝的反射镜来增加太赫兹波在空间中传输的距离。但是这样也会相应的增加太赫兹波的损耗。准直后的太赫兹波在空气中传播,然后由另一个菲涅耳聚乙烯透镜聚焦到样品上,透镜的焦距为203.2 mm。样品表面背向散射的太赫兹波沿着原光路传输到THz单元中,由角锥天线接收,再耦合到肖特基二极管中。然后肖特基二极管将接收到的太赫兹波转换成弱电压信号,再通过低噪声的宽带放大器对电压信号进行放大,最后由计算机对数据进行采集。样品放在X-Y二维平移台上,通过计算机来控制样品的二维移动,从而实现对样品的扫描成像。样品在移动过程中,不同位置对太赫兹波的散射是不同的,进而引起探测到的太赫兹波的强度不同。通过

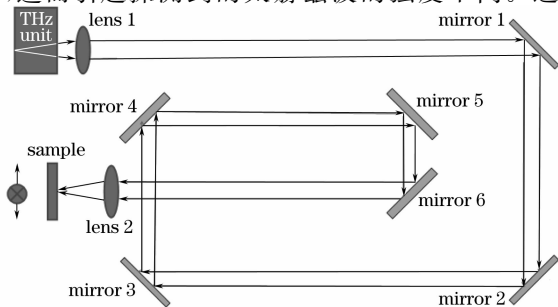


图1 远距离成像系统示意图

Fig. 1 Illustration of the standoff imaging system

记录样品不同位置对应的电压信号的大小来获得样品的二维灰度图。

## 3 实验结果及讨论

为了验证该系统的成像能力及其性能,分别对多孔铝板、飞机模型以及玩具手枪进行了成像。

### 3.1 多孔铝板

样品是一块带有6个圆孔的铝板,如图2所示,上方三个孔的直径都为1 cm,下方三个孔从左到右的直径分别为1 cm,2 cm,2.6 cm。铝板的大小尺寸为:20 cm×16 cm。图3给出了多孔铝板的远距离太赫兹图像。从图像中可清楚地分辨出六个圆孔。圆孔的周围出现暗环,这是由于边缘散射所造成的。圆孔的内部和周围的灰度不同,这是由于圆孔内部没有太赫兹信号反射,全是本底噪声,而周围是铝板反射的太赫兹信号。

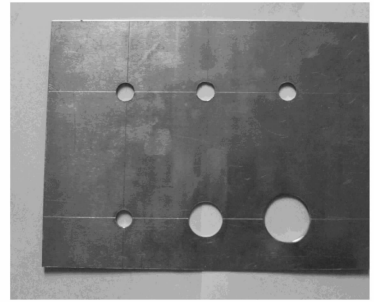


图2 多孔铝板实物图

Fig. 2 Photograph of the aluminum plate with holes

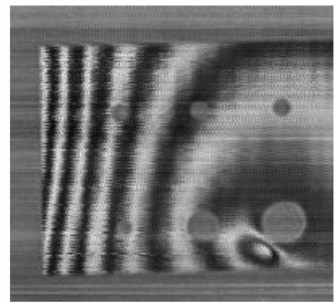


图3 多孔铝板远距离太赫兹图像

Fig. 3 Standoff THz image of the aluminum plate with holes

### 3.2 飞机模型

图5给出了飞机模型的远距离太赫兹图像。飞机模型(如图4)的机身长17 cm,机翼宽14 cm。从图5可清楚地分辨出飞机模型。图像下方的小横条是飞机模型的夹具。机翼、机身以及尾翼上的条纹是由于扫描过程中的机械振动以及透镜、反射镜和飞机模型反射的回波之间的相互干涉所造成的。



图 4 飞机模型实物图

Fig. 4 Photograph of the airplane model

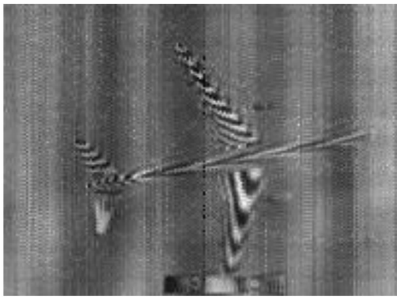


图 5 飞机模型远距离太赫兹图像

Fig. 5 Standoff THz image of the airplane model

### 3.3 玩具手枪

太赫兹波对塑料、纸片、纺织品及皮革等材料具有很强的穿透力。图 7 是装在纸盒内的玩具手枪的远距离太赫兹图像。玩具手枪的大小尺寸为 14 cm×9 cm,如图 6。从图像可以清楚地分辨出玩具手枪。



图 6 玩具手枪实物图

Fig. 6 Photograph of the toy gun



图 7 玩具手枪远距离太赫兹图像

Fig. 7 Standoff THz image of the toy gun in the box

### 3.4 讨论

目前,该系统所用的探测方式是直接探测,只探测振幅信息,而且探测的灵敏度和动态范围都较低。在以后的工作中,可以对探测方式进行改进,采用外差探测,这样既可以探测振幅信息也可以探测相位信息,并且系统的探测灵敏度、动态范围都会得到提高。另外,文中的成像结果都是原始图像,可以采用数字图像处理方法来提高所成图像的质量。

## 4 结 论

介绍了连续波远距离成像系统,并通过对 25 m 远处的多孔铝板、飞机模型以及玩具手枪进行成像,结果表明基于太赫兹技术的连续太赫兹波远距离成像系统有可能成为一种有效的、更可行的安全检测方法。可以和传统的安全检测系统形成有效的互补,揭示了其在安全检测领域广阔的应用前景。

### 参 考 文 献

- Shen Jingling, Zhang Cunlin. Terahertz wave nondestructive test new technology and application[J]. *Nondestructive Test*, 2005, **27**(3): 146~147  
沈京玲,张存林. 太赫兹波无损检测新技术及应用[J]. 无损检测, 2005, **27**(3): 146~147
- Zhang Cunlin, Zhang Yan, Zhao Guozhong *et al.*. Terahertz Sensing and Imaging [M]. Beijing: China Defense Industry Press, 2008. 166~189  
张存林,张岩,赵国忠等. 太赫兹感测与成像[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008. 166~189
- H. Zhong, A. Redo, Y. Chen *et al.*. Standoff distance detection of explosive materials with THz waves [C]. the Joint 30th International Conference on Infrared and Millimeter Waves, 2005, **1**: 42~43
- H. Zhong. Terahertz wave reflective sensing and imaging [D]. Ph. D. thesis, 2006
- Nick Karpowicz, Hua Zhong, Cunlin Zhang *et al.*. Compact continuous-wave sub-THz system for inspection applications[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2005, **86**(5): 054105
- Hua Zhong, Jingzhou Xu, Kuang-I Lin *et al.*. Non-destructive sub-THz CW imaging[C]. *SPIE*, 2005, **5727**: 132~142
- Nicholas Karpowicz, Hua Zhong, Jingzhou Xu *et al.*. Comparison between pulsed terahertz time-domain imaging and continuous wave terahertz imaging [J]. *Semicond. Sci. Technol.*, 2005, **20**(7): S293~S299
- Q. Wu, X.-C. Zhang. Ultrafast electro-optic field sensors[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1996, **68**(12): 1604~1606
- Q. Wu, M. Litz, X.-C. Zhang. Broadband detection capability of ZnTe electro-optic field detectors[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1996, **68**(21): 2924~2926
- Jin Guofan. Binary Optics[M]. Beijing: China Defense Industry Press, 1998. 88~95  
金国藩. 二元光学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998. 88~95