

DOI: 10.13382/j.jemi.2015.08.001

太赫兹技术在军事和安全领域的应用*

赵国忠¹ 申彦春^{1 2} 刘影¹

(1. 首都师范大学物理系太赫兹光电子学教育部重点实验室 北京市太赫兹波谱与成像重点实验室 北京 100048;

2. 唐山学院 信息工程系 唐山 063000)

摘要: 由于太赫兹波处于电磁波谱的特殊频段,属于电子学向光子学过渡区域,具有辐射小、透射性好、方向性强、频谱宽、通信传输容量大、对很多极性生物大分子有指纹谱等特点。因此太赫兹光谱技术、成像技术和雷达通信技术在军事和安全领域具有重要的应用价值。综述了近年来太赫兹技术在国内外军事、安全领域的应用成果,探讨了存在的问题,并对该技术在该领域的应用进行了展望。

关键词: 太赫兹; 军事应用; 安全应用; 太赫兹雷达; 太赫兹成像

中图分类号: TN209 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 510.20

Application of terahertz technology in military and security field

Zhao Guozhong¹ Shen Yanchun^{1 2} Liu Ying¹

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

2. College of Tangshan, Department of Information Engineering, Tangshan 063000, China)

Abstract: Since the terahertz band belongs to the special transition area between electronics and the photonics, Terahertz radiation has a small radiation, good transmission, strong directivity, width spectrum, large capacity of communication and transport, etc. We can also use the fingerprint spectrum of biological polarity molecules in THz. Therefore, terahertz spectroscopy, imaging and radar communications technologies have important applications in the military and security fields. In this paper, the research achievements of terahertz technology in the field of military and security at home and abroad were reviewed and we also discuss the existing problems. In the last, the application of the THz technology in this field is prospected.

Keywords: terahertz; military application; security application; terahertz radar; terahertz imaging

1 引言

太赫兹(THz)波是指频率在0.1~10 THz(即波长为3 000 μm ~30 μm)的电磁波(1 THz = 10^{12} Hz),该波段处于微波和红外光之间的亚毫米波和远红外波段,属于前人研究较少的电磁波谱“空隙”区^[1-3]。

近年来,随着超快激光技术的迅速发展,太赫兹脉冲的激发光源得以更加稳定和可靠,为进一步

研究太赫兹波谱技术创造了条件。另外,太赫兹成像技术也受到了各国政府、科研机构、高等院校等研究单位的高度重视。除了脉冲太赫兹成像技术的发展,连续波太赫兹成像技术包括主动成像与被动成像技术均得到了广泛的研究,其中利用太赫兹波成像进行安全检测和关键部门的安全检查已经得到了一定范围的实际应用。与此同时,各种机制的太赫兹辐射源、探测器以及一些关键功能器件的研究也在飞速发展,为太赫兹技术在化学、生物、材

收稿日期: 2014-03 Received Date: 2014-03

* 基金项目: 国家自然科学基金(50971094, 61171051)、北京市自然科学基金和北京教育委员会科技计划重点(KZ201310028032)资助项目

料、石油、化工、通信等领域的应用奠定了基础,尤其在军事和安全领域,由于太赫兹波所具有的独特的性质以及这一波段的技术空白,使得太赫兹技术有着广阔的应用前景。

2 太赫兹波的特性

太赫兹波独特的波谱特性,使其具有重要的学术和应用价值,其主要特点为^[4-5]:

1) 室温条件下的物体都会存在热辐射,位于 6 THz 频段。

2) 有机分子在从 GHz 到 THz 频段的跃迁过程中,由于分子旋转和震动产生较强的吸收和色散特性,呈现出具有唯一性的太赫兹指纹光谱。

3) 太赫兹光子的能量较低,不会在生物组织中引起光损伤及光化电离,(1 THz 条件下,光子能量约为 4.1 meV)。

4) 太赫兹波的时域光谱技术可以直接测量太赫兹波的时域电场。与传统的光学方法只能测量莫伊频率光的强度不同,通过时域数据的傅里叶变换可以给出太赫兹波的大小和相位。可以直接提供介电常数的实部和虚部,这使得测量与太赫兹波相互作用的介质折射率和吸收系数变得更精确。

3 太赫兹技术在军事领域的应用

3.1 可对爆炸物进行探测和鉴别

鉴于爆炸性物质在安全检测和反恐中的重要地位,其光谱和成像是目前的研究热点。通过对不同爆炸物的电光取样时间分辨光谱进行比较,可以看出不同频率下吸收谱和色散关系有所不同,因此利用太赫兹波独特的吸收性质,对爆炸物进行特征识别和安全检测具有潜在应用价值^[6-7]。

3.2 可进行无损检测

针对哥伦比亚号航天飞机失事事件,美国科研人员采用脉冲中心频率为 1 THz 的太赫兹波对 PAL-Ramp SOFI 绝热泡沫层进行探测和成像,可以成功检测出泡沫层内的缺陷,该技术在战略导弹、航空航天结构材料的检测和评估方面具有重要的应用价值,已被美国宇航局选择为发射中缺陷检测的技术之一^[15-18]。洛克希德马丁公司开发的太赫

兹检测系统,用来确保 F-35 战斗机的生产质量。

3.3 可进行远程探测与成像

由于雷达靠接收回波来发现和确定目标,应用太赫兹技术设计宽带雷达,可以比微波雷达具有更宽的频谱、更高的时间检测精度和分辨率。应用吸波材料设计的隐形飞机、舰船,使得常规窄带雷达对其不能进行有效探测,但吸波材料只能对带宽一定的信号进行吸收,而宽带太赫兹雷达由于具有丰富的频率分量,可以使得隐形军事目标的吸波涂层失去作用^[5]。

太赫兹技术也可以用来对物体进行三维立体成像,将战场上灰尘或烟雾中的坦克、隐蔽的炸弹及地雷等显示出来^[9-11]。美国国防部先进研究项目局(DARPA)投入大量资金,对 THz 成像阵列技术进行研究,并最终成功研制出远距离、便携式 THz 成像雷达,它可以在沙尘暴、浓烟及海上浓雾中探测到目标并清晰成像^[12]。

美国喷气推进实验室(JPL)在 0.56 ~ 0.635 THz, 0.66 ~ 0.69 THz, 0.675 THz 等波段,对太赫兹雷达成像系统进行了研究,取得良好的成像效果^[13-14]。其中,研制的高分辨力雷达探测系统^[15],工作频率 0.6 THz,可实现 5 s 内对 25 m 远、50 cm × 50 cm 视场的视场成像。一维测距分辨率当目标距离为 4 m 时,约为 2 cm^[13],改进的三维成像探测系统,在距离 4 m 条件下分辨率为 0.5 cm^[14],之后进一步研制的 THz 频段的快速高分辨雷达,成功的在 5 s 内对 25 m 外隐藏的武器进行探测^[16]。另有美国西北太平洋国家实验室的 0.35 THz 成像系统^[17],美国马萨诸塞大学的 1.56 THz 成像系统等。

德国应用科学研究所(FGAN)研制的太赫兹 ISAR 成像雷达^[18],可探测到近距离隐藏的武器、军营和舰艇,当探测距离为 500 m,工作频率为 0.22 THz 的条件下,成像分辨力可达到 1.8 cm^[19]。

瑞典 0.21 THz 三维 ISAR 成像系统,以色列 0.33 THz 扫描成像系统,苏格兰 0.34 THz 三维扫描成像系统,都取得了良好的成像效果^[20]。

3.4 可用于太空通信

由于太赫兹波比微波频率更高、频带更宽、容量更大,在系统设计过程中,可以使用更小尺寸的

天线,更高速的数据流,安全性更高。

太赫兹频段在外层空间传输损耗与大气中传输小很多,且能量集中,方向性强,与微波波段相比较更利于太空通信。由于太赫兹波受空气影响比较大,通信时传输的距离比较短,在实际作战中,可以专门进行隐蔽通信,适合配合隐形战机等作战设备形成隐形作战系统^[21]。而国际电信联盟已为下一步卫星通信预留了 200 GHz 的频段,随着卫星通信的进一步发展,必定进入 300 GHz 以上的范围,这实际上就是太赫兹通信^[22]。由于太赫兹波在大气中传输容易受到各种气候条件的影响,且传输距离有限,其实质性应用将会遇到很多困难和挑战^[10-23]。

3.5 可用于末端精确制导

导弹制导方式可分为自主制导、寻的制导、遥控制导和复合制导。其中应用较多的寻的制导可以应用雷达制导、红外制导、电视制导、激光制导和毫米波制导。由于太赫兹波具有波束窄、方向性强等特点,采用太赫兹波与常用制导方式相结合,远端采用常规制导方法,接近目标后,采用太赫兹修正的方法,即提高了制导的准确性,又可以很好的避免大气对太赫兹波的吸收,可以进一步提高导弹攻击的准确性。在实际应用中,由于太赫兹波在空气中传输距离有限,仍然面临很大挑战^[24]。

4 太赫兹技术在安全领域的应用

4.1 可用于安检设备

目前公共场所的安检系统都以 X 射线成像为主,辅助以金属探测器进行人工检查,由于 X 射线本身固有的特点,无法检查出隐藏的非金属危险品、武器、毒品和爆炸物。通过太赫兹技术可以很好的解决这一问题,该技术不仅对人体更加安全,还能够与物联网连接,对城市进行高效的管理。由我国中国电子科技集团公司开发出的太赫兹安检仪可以快速准确的完成安检。新泽西理工学院通过采用 0.1 THz 连续窄带宽辐射太赫兹波进行扫描,在仪器中创建对象点的二维图像,该图像以每帧 16 毫秒的速率被四元检测器阵列重构,图像的分辨率和质量由检测器的数量、检测阵列的结构和基线校准的好坏决定,如图 1 所示^[25]。

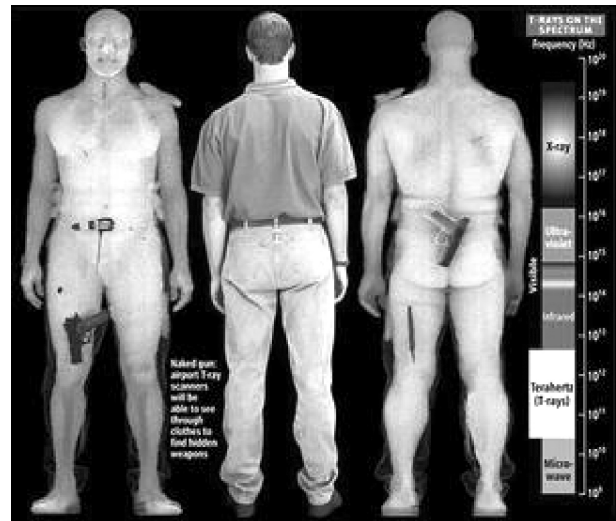


图 1 太赫兹波扫描图像

Fig. 1 Terahertz wave scanning imaging

2014 年 6 月,德国弗劳恩霍夫应用技术研究联合会公布由弗劳恩霍夫物理测试技术研究所 (IPM) 与霍伯纳 (Hübner) 公司应用太赫兹成像技术联合研制的代号为“T-COGNITION”的太赫兹信件安检设备即将投放市场。这款信件安检设备的核心是太赫兹扫描仪,通过分析透过信件的太赫兹信号,几秒钟内可确定其太赫兹“指纹谱”,经过与数据库的比对,确定信件内是否存在危险品如爆炸物、细菌、毒品等。

4.2 用于生物药品检测

由于大部分物质都会对太赫兹波有相应,而且一些分子吸收谱会分布在太赫兹频段,据此可以将太赫兹技术用于生物药品检测,以此防止生物恐怖袭击。例如通过测定“炭疽热”粉末对太赫兹波的吸收情况,来判定样品中是否含有该物质,该技术在反恐和国土安全领域有着一定的应用价值^[12]。

4.3 用于毒品检测

毒品是指具有毒害性质的、能够使人成瘾并且为国家有关法律明令禁止的物品,其对家庭、社会及个人都有非常大的伤害。分为鸦片类、大麻类、可卡类。通常的毒品检测方法已经取得了较好的效果,但也都存在一定的局限性,经实验研究,很多毒品经过太赫兹波照射后,会在特定的频率上产生较强的吸收从而出现吸收峰,形成太赫兹“指纹

谱”,以此可以鉴别不同种类的毒品^[26]。

5 结 论

近二十多年来,太赫兹技术在一些领域已经取得了重要进展,其应用涵盖医学、材料、化学、生物、军事、安全、天文、通信等诸多领域,但整体来说,由于受到光源、探测手段的限制,还无法达到规模化和实用化。随着对太赫兹技术研究的进一步深入,太赫兹技术应用更加广泛,太赫兹技术必将会在更多的领域取得突破。

参考文献

- [1] 刘盛纲. 太赫兹科学技术的新发展[J]. 中国基础科学, 2006, 8(1): 7-12.
LIU SH G. Recent development of terahertz science and technology [J]. China Basic Science, 2006, 8(1): 7-12.
- [2] 赵国忠. 太赫兹科学技术研究的新发展[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(2): 1-20.
ZHAO G ZH. Progress on terahertz science and technology [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2014, 33(2): 1-20.
- [3] 赵国忠. 太赫兹光谱和成像应用及展望[J]. 现代科学仪器, 2006(2): 36-40.
ZHAO G ZH. Application and outlook of THz spectroscopy and imaging [J]. Modern Scientific Instruments, 2006(2): 36-40.
- [4] 姚建铨, 路洋, 张百钢, 等. THz 辐射的研究和应用新进展[J]. 光电子激光, 2005, 16(4): 503-509.
YAO J Q, LU Y, ZHANG B G, et al. New research progress of THz radiation [J]. Journal of Optoelectronics and Laser, 2005, 16(4): 503-509.
- [5] 戚祖敏. 太赫兹波在军事领域中的应用研究[J]. 红外, 2008, 29(12): 1-4.
QI Z M. Study of application of THz wave in military field [J]. Infrared, 2008, 29(12): 1-4.
- [6] 张亮亮, 张存林, 赵跃进, 等. 爆炸性物质太赫兹时间分辨光谱测量[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(8): 1457-1460.
ZHANG L L, ZHANG C L, ZHAO Y J, et al. Time-resolved terahertz spectroscopy of explosives [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2007, 27(8): 1457-1460.
- [7] 陈涛, 李智, 莫玮. 基于模糊模式识别的爆炸物 THz 光谱识别 [J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(11): 2480-2486.
- CHEN T, LI ZH, MO Y. Identification of terahertz absorption spectra of explosives based on fuzzy pattern recognition [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2012, 33(11): 2480-2486.
- [8] 张雯, 雷银照. 太赫兹无损检测的进展 [J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(7): 1564-1568.
ZHANG W, LEI Y ZH. Progress in terahertz non-destructive testing [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2008, 29(7): 1564-1568.
- [9] 岳楦干. 美国伦斯勒理工学院太赫兹研究中心的远距离太赫兹探测技术研究 [J]. 红外, 2011, 32(5): 47-48.
YUE ZH G. Study of remote THz detection technology of the center for terahertz research of rensselaer polytechnic institute in America [J]. Infrared, 2011, 32(5): 47-48.
- [10] 郑新, 刘超. 太赫兹技术的发展及在雷达和通讯系统中的应用 [J]. 微波学报, 2010, 26(6): 1-6.
ZHENG X, LIU CH. Recent development of THz technology and its application in radar and communication system [J]. Journal of Microwaves, 2010, 26(6): 1-6.
- [11] 李晋, 皮亦鸣, 杨晓波. 基于回旋管的星载太赫兹成像雷达设计与仿真 [J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24(10): 892-898.
LI J, PI Y M, YANG X B. Spaceborne imaging radar system based on gyrotron in terahertz band design and simulation [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2010, 24(10): 892-898.
- [12] 姚建铨. 太赫兹技术及其应用 [J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2010, 22(6): 703-707.
YAO J Q. Introduction of THz-wave and its applications [J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications: Natural Science Edition, 2010, 22(6): 703-707.
- [13] DENGLER R J, COOPER K B, CHATTOPADHYAY G, et al. 600 GHz imaging radar with 2 cm range resolution [C]. IEEE/MTT-S International Microwave Symposium, Honolulu, 2007: 1371-1374.
- [14] CHATTOPADHYAY G, COOPER K B, DENGLER R, et al. A 600 GHz imaging radar for contraband detection [C]. Proceedings of 19th International Symposium on Space Terahertz Technology, Groningen, 2008: 300-303.
- [15] COOPER K B, DENGLER R J, LLOMBART N, et al. THz imaging radar for standoff personnel screening [J]. IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology

- gy 2011(1):169-182.
- [16] 冯伟,张戎,曹俊诚. 太赫兹雷达技术研究进展[J]. 物理,2013,42(12):846-854.
FENG W,ZHANG R,CAO J CH. Progress in terahertz radar technology [J]. Physics, 2013, 42(12): 846-854.
- [17] SHEEN D M,HALL T E,SEVERTSEN R H, et al. Stand-off concealed weapon detection using a 350 GHz radar imaging system, passive millimeter-wave imaging technology[C]. Florida: SPIE Proceedings 2010 7670:08.
- [18] ESSEN H,WAHLEN A,SOMMERETAL R, et al. Development of a 220-GHz experimental radar[C]. 2008 German Microwave Conference, Hamburg-Harburg, 2008:1-4.
- [19] 徐刚锋,张岩. 太赫兹成像雷达技术发展与应用探讨[J]. 太赫兹科学与电子信息学报,2013,11(4):507-511.
XU G F,ZHANG Y. Development of Terahertz imaging radar technology and its guidance application [J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology,2013,11(4):507-511.
- [20] 邱桂花,于名讯,韩建龙,等. 太赫兹雷达及其隐身技术[J]. 火控雷达技术,2013,42(4):28-32.
QIU G H,YU M X,HAN J L, et al. Terahertz radar and its stealth technique [J]. Fire Control Radar Technology,2013,42(4):28-32.
- [21] 初洪娜. 关于太赫兹通信技术的综合分析探讨[J]. 硅谷,2011(14):34-35.
CHU H N. Discussion on a comprehensive analysis of terahertz communication technology [J]. Silicon Valley, 2011(14):34-35.
- [22] 曹俊诚. 太赫兹辐射源与探测器研究进展[J]. 功能材料与器件学报,2003,9(2):111-117.
CAO J CH. Research progress of terahertz sources and detectors [J]. Journal of Functional Materials and Devices,2003,9(2):111-117.
- [23] 姚建铨,迟楠,杨鹏飞,等. 太赫兹通信技术的研究与展望[J]. 中国激光,2009,36(9):2213-2233.
YAO J Q,CHI N,YANG P F, et al. Study and outlook of Terahertz communication technology [J]. Chinese Journal of Lasers,2009,36(9):2213-2233.
- [24] 杨光鲲,袁斌,谢东彦,等. 太赫兹技术在军事领域中的应用[J]. 激光与红外,2011,41(4):336-380.
YANG G K,YUAN B,XIE D Y, et al. Analysis on the use of THz technology in the military application [J]. Laser and Infrared,2011,41(4):336-380.
- [25] LIU ZH W. Video-rate Terahertz interferometric and synthetic aperture imaging [J]. Applied Optics,2009,48(19):3788-3795.
- [26] 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.
HAN Y,ZHOU Y,ABUL T, et al. Application of Terahertz technology in security field [J]. Modern Scientific Instruments,2006(2):45-47.

作者简介

赵国忠,1964年出生,首都师范大学教授、博士研究生导师,主要研究方向为太赫兹波谱与成像及光电信息功能材料。

E-mail: guozhong-zhao@cnu.edu.cn

Zhao Guozhong was born in 1964. He is a professor and Ph.D supervisor in Department of Physics, Capital Normal University. His main research directions include terahertz spectroscopy, terahertz imaging, and optoelectronic and information functional materials.

申彦春,1980年出生,首都师范大学博士研究生,主要研究方向为太赫兹波谱与成像。

E-mail: cnsyc@126.com

Shen Yanchun was born in 1980. He is a Ph. D. candidate in Capital Normal University now. His present research interests include terahertz spectroscopy and imaging.

刘影,1989年出生,首都师范大学硕士研究生,主要研究方向为太赫兹波谱与成像。

E-mail: swan201161@126.com

Liu Ying was born in 1989. She is a MSc. candidate in Capital Normal University now. Her present research interests include terahertz spectroscopy and imaging.