

太赫兹技术在军事领域的应用

杨光鲲,袁 斌,谢东彦,申小丹
(郑州大学物理工程学院,河南 郑州 450001)

摘要:随着超快激光技术的发展,太赫兹波段空隙逐渐被人们所认识。由于太赫兹处在电磁波谱的特殊位置,具有同其他波段的电磁波不同的特殊性质,在诸多行业具有广阔的应用前景。结合太赫兹特点,研究其在军事领域的具体应用前景。

关键词:太赫兹;军事应用;军事侦查;末端制导;侦测空天飞机;高精度雷达
中图分类号: O441 **文献标识码:** A

Analysis on the use of THz technology in the military application

YANG Guang-kun, YUAN Bin, XIE Dong-yan, SHEN Xiao-dan
(Physical Engineering College, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Along with the fast development of super rapid laser technology, Terahertz band gap has been understood gradually. Because terahertz wave is in the special position of the electromagnetic spectrum, it has many different special qualities from the other bands of electromagnetic wave, and has broad application prospects in many fields. Based on the characteristics of terahertz wave, we study the application prospect in the military field. In the end, it is concluded that terahertz wave has application prospects in warning aerospace planes, supersonic aircraft and terminal guidance.

Key words: THz; military application; military surveillance; terminal guidance; detect aerospace plane; high accuracy radar

1 引言

Terahertz Gap(太赫兹空隙)是指电磁波谱上频率在0.1~10 THz范围内的电磁波段。20世纪80年代中期以前,由于认识手段主要是太赫兹波源的限制使人们对这个频段特性知之甚少,使人们在认识电磁波谱的过程中,形成了微波毫米波和红外光

线之间、电子学和光子学之间的一个相对空白,所谓太赫兹空隙^[1-2]。

太赫兹波介于微波毫米波和红外之间,处于宏观理论向微观量子理论的过渡区,电子学和光子学的交叉区域,特殊的位置决定了其具有同其他波段不同的特殊性质。如图1所示。

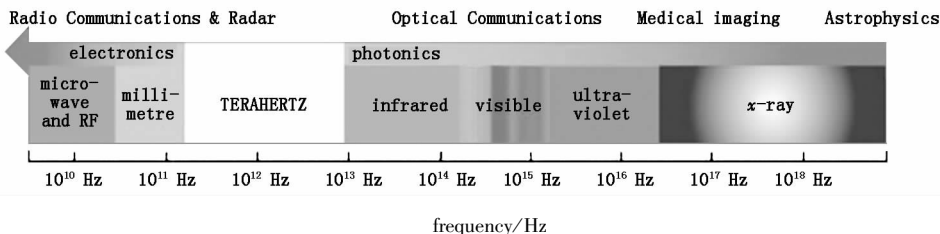


图1 太赫兹空隙在电磁波谱中所处的位置

2 太赫兹波的性质

近十几年来,超快激光技术的迅速发展为太赫兹脉冲的产生提供了稳定、可靠的激发光源,太赫兹检测技术及其应用的研究也得到了蓬勃的发展^[3]。

作者简介:杨光鲲(1985-),男,硕士研究生,主要从事光电方面的研究。E-mail:ygksg@126.com

收稿日期:2010-12-01;修订日期:2010-12-31

太赫兹辐射具有如下特点^[4]：

(1)太赫兹辐射是完全非电离的,其光子能量较低,对大部分生物细胞无害,适合于对生物组织进行活体检查。如利用太赫兹时域谱技术研究酶的特性,进行DNA鉴别等;

(2)太赫兹辐射的频率极宽,覆盖了各种包括蛋白质在内的大分子的转动和振荡频率。许多大分子在太赫兹辐射段表现出很强的吸收和谐振,构成了相应的太赫兹“指纹”特征谱,这些光谱信息对于物质结构的研究很有价值;

(3)太赫兹辐射可以透过各种生物体、电介质材料以及气相物质,这些介质在太赫兹辐射段具有丰富的吸收和色散性质,通过测量并分析样品的太赫兹信号便可以获得关于材料中的物质成分和物理、化学以及生物学信息。另外,太赫兹辐射可无损穿透墙壁、布料,使其可以在某些特殊领域如安全检查等方面发挥作用;

(4)太赫兹辐射的频带宽度是微波的1000倍,是很好的宽带信息载体,特别适合局域网的宽带无线移动通信;

(5)太赫兹辐射的时域频谱信噪比很高。目前,对太赫兹辐射强度测量的信噪比可大于 10^{10} ,通过采样测量技术,能够有效地防止背景辐射噪音的干扰,这使得太赫兹非常适用于成像应用;美国国防高级研究计划署(DARPA)资助的一个项目名称就是太赫兹焦平面成像技术。

3 太赫兹波在军事领域的应用

(1) 军用通信

①单兵指挥通信和军用卫星通信。我军的命令传达体系主要是逐级传达,即由上级指挥机构传达给下级指挥机构。科技发达的美国,已经实现了作战指挥命令直接传达到单兵。太赫兹波的频段宽度是微波的1000倍,较宽的频带宽度,可用于指挥机构与作战行动执行单位多个单兵之间的命令下达。同样,太赫兹波在星际空间,由于频带宽,方向性好,散射小,高频数据流可以提供10 GB/s的无线传输速率,可以提高星间信息交换速度,可为地面决策指挥层提供决策依据。在当代高科技战争的大背景下,节省的时间可极大提高战争胜利的几率。

②战地局域保密通信。太赫兹波具有明显的惧水性,目前尚未发现适合太赫兹波在大气空间中长距离传播的有效窗口。对保密性要求极其严格的军事通信领域,太赫兹波的这一“缺点”或许成为被我们利用的“优点”。

战地范围,各单元通信距离不是很大时,可以布设太赫兹短程地面无线局域网,就可以实现局部区域内通信,宽频率的无线太赫兹网络可以传输不少于有线网络的信息量,而且相对于有线网络而言,布设简单,耗时少,不易损坏。太赫兹波的穿透性可以保证遇到沙尘、烟雾等恶劣环境,太赫兹无线通信网依然可以保证通信质量,实现全天候工作^[5]。目前,由于太赫兹波在空气中传播距离较短,敌方侦听一般无法靠近我方可侦听范围,成为我方通信保密的天然条件,可是同时也给我方侦听敌方带来困难。另外,目前世界各国对太赫兹技术的研究并不是完全成熟,对方也很可能在侦听范围而缺乏相应的侦听手段而实现己方的通信保密。需要注意的是,随着科技的不断发展,反太赫兹技术也在不断发展,我们必须不断提高通信技术的保密手段、优化侦听方法才能应对未来战争的挑战。

(2) 军用飞机导航

海湾战争揭开了现代战争的序幕,以高科技为特点的现代战争要求我们做好全天候战争的准备。太赫兹波穿越云层、浓雾的特性比红外线要强,利用它可以制作全天候的导航系统,为军用飞机导航,指挥飞机着陆^[6-7]。

(3) 安全保卫检查

中国幅员辽阔,沿海城市开放口岸较多,内陆由于与多个国家接壤,海关、边境安检十分繁忙。近年来,中国主办的各项大型国际活动(2008北京奥运会、2010上海世博会、2010广州亚运会等)也给安保工作带来极大压力。太赫兹时域光谱成像可以探测并识别隐蔽的物体,利用时域探测方法,可从时域信号或它的傅里叶变换谱中选择任意一个数据点的振幅或位相进行成像,从而重构样品的空间密度分布、折射率和厚度分布。且由于太赫兹脉冲对大多数非极性电介质材料(塑料、陶瓷、纸张、衣物等)具有良好的穿透性,某些特定的物质,如刀具、炸药、毒品、病毒等等,在太赫兹波段存在特征吸收峰,可用于材料识别。基于这一特点,我们可设计一个安全检查走廊,对通过走廊的人体及行李进行成像,及时发现违禁品,既可以确保公众安全,又可以提高安全检查速度。

(4) 末端精确制导,提高导弹制导精度

目前世界各国主要发展的导弹制导方式是主动寻的制导,制导系统是通过弹上的导引系统(导引头或寻的头)感受目标辐射或反射的能量,自动形成控制命令并跟踪目标,导引制导武器飞向目标。

这种制导方式按感受能量(波长)可分为(微波)雷达寻的、红外寻的、毫米波寻的、电视寻的和激光寻的制导。与微波相比,太赫兹波具有波束较窄,波束方向性更好,可以探测更小的目标,可以大幅提高打击精度。但是水分子氨分子等极性分子对太赫兹波具有明显的吸收性,使用太赫兹波进行制导只能在有效穿透距离内进行。需要在常规方法制导进入近距离攻击范围,采用无缝制导切换技术,近距离使用太赫兹波制导,实现提高打击精度的目的。需要说明的是,必须采用合适的窗口频率,扩大太赫兹波在空气中有效探测距离,为计算系统留出充足计算时间。

(5) 军事装备质量检查

自从人类社会出现战争以来,作为战争工具的武器装备就成为武装力量的物质基础、军队战斗力的基本要素。在高技术条件下,武器装备特别是高技术武器装备,强烈地影响着战争的进程和结局,对战争的胜负正发挥着越来越重要的作用。太赫兹波比微波有着更高的空间分辨率,美国伦斯勒理工学院太赫兹研究中心的张希成等人对美国哥伦比亚航天飞机隔热层泡沫材料样品的各个层面进行逐点扫描,得到每个点太赫兹脉冲的时域波形,然后利用多种图像处理手段分析波形的变化,判断出不同层面缺陷的大小、形状、位置和种类,用太赫兹成像技术分析了美国哥伦比亚航天飞机失事原因^[8]。提供了有力的证据后,现在 NASA 已经将太赫兹成像作为其常规检测的四种手段之一(微波成像,太赫兹成像,激光散斑,X 射线成像)^[9]。一件武器装备可看成是一个由上万个元器件通过复杂联系构成的系统。如果任一个组件出现问题,将会影响整个装备的性能,很可能造成非常致命的后果。利用太赫兹探测器,检测人员可以得到被检测元器件的完整信息。包括厚度、内部结构、密度分布、内壁情况等,如图 2 所示。准确掌握了器件情况,检测人员就可以在发现问题时,采取正确的补救措施。总之,利用太赫兹成像检测无损探伤技术在武器装备质量检查领域前景十分可观。

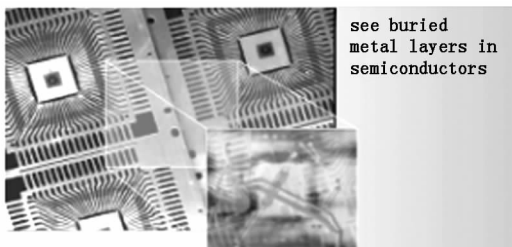


图2 检测半导体内部缺陷

(6) 军事反恐“穿墙术”

愈来愈开放的国际环境,恐怖主义的威胁时刻存在。实验证明,证明了太赫兹辐射可以穿过砖片、土片等建筑材料,而得到位于它们后面的物体的图像^[10]。太赫兹的“透视”能力如图 3 所示。

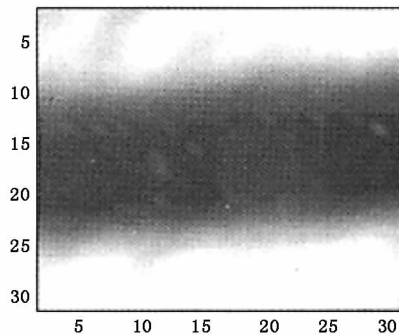


图3 宽度为 2 mm 的砖片遮蔽的刀片的太赫兹成像

如太赫兹探测器可直接发射太赫兹波透过墙壁,于室外对室内进行探测。可从墙外掌握室内情况,如歹徒位置、武器配置等。这特别适于反恐人员与室内歹徒对峙时,极大的确保反恐人员安全和反恐任务的完成。美国橡树岭国家实验室(ORNL)和田纳西大学合作,已经开展了“穿墙计划(Through Wall Program)”研究,利用太赫兹成像技术从外部获得墙内信息^[11]。

(7) 军事侦查

①全天候敌方军事目标侦察。现代战争要求我军无论是在黑夜还是狂风沙尘条件下,均能迅速发现敌方军事目标,实现精确打击。太赫兹特别的穿透能力可以以极小的衰减穿透如陶瓷、脂肪、碳板、布料、塑料等物质,还可无损穿透墙壁、沙尘烟雾,全天候发现人肉眼所不能发现的目标^[12]。工作原理是以太兹辐射作为探测源,利用电光采样或光电导采样方法直接记录太赫兹辐射电场的振幅时间波形,通过傅里叶变换得到测量信号振幅和相位的光谱分布,进而获得材料在太赫兹波段的吸收和色散等信息^[13],可以对被测目标三维立体成像。根据特征库,可以穿过灰尘和烟雾发现敌方的坦克、装甲车等打击目标,实现远程监视的功能。2010年4月22日晚,美国空军研制的集飞机、搭载器、航天器等多重功效于一身,并直接加速进入地球轨道,既能在大气层内进行高倍音速飞行,又能进入环绕地球太空轨道的飞行器 X-37B 空天飞机在佛罗里达州卡纳维拉尔角空军基地发射升空。空天飞机,将是 21 世纪控制空间、争夺制天权的关键武器装备之一,具有极高的军事价值,其作用甚至不亚于核武器^[14]。2010年5月26日,美国空军试飞了一架绰号“驭波

者”的 X-51A 极超音速飞行器,飞行速度与精确打击能力足以实现“即时全球打击”^[15]。显然,在太空轨道损耗极小的太赫兹波在侦查预警空天飞机与超音速飞行器方面将有广阔的应用前景,具有极大的国防应用价值。

②卫星侦察。由于太赫兹辐射具有比微波更短的波长及更高的时间检测精度,因而可做成太赫兹雷达对目标进行敏感探测与监视,与微波雷达相比,它可探测更小的目标和实现更精确的定位^[16]。根据探测材料分子结构的共振吸收,可以获得探测目标组成材料的相关信息,可用作目标物的识别。由于高探测精度、高距离分辨率及优越反隐身能力,可能太赫兹雷达成为下一阶段的高精度雷达发展方向。

③地雷及生物战剂侦查。由于物质的太赫兹光谱具有指纹特性,因此可运用太赫兹时域光谱技术检测包裹或信封中的毒品、爆炸物以及生物化学危险品等。研究表明,太赫兹透射式光谱测量技术中,不同类型的各种炸药都在太赫兹波段有着明显的特征吸收,将人工神经网络和太赫兹光谱技术相结合,可以实现在较低虚警率条件下识别出隐藏在背景中的炸药和生物战剂^[17]。太赫兹用于探雷及炸药的吸收谱分别如图 4 和图 5 所示。



图 4 战地地雷侦查模型

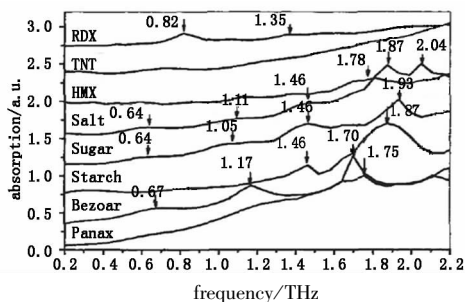


图 5 部分炸药的太赫兹吸收谱

(8) 战地医疗

太赫兹波具有类似于 X 射线的穿透能力,其光子能力较低,对人体组织的破坏也较小,将成为医学成像检验的重要工具。张希成等报道了啁啾探测光的技术太赫兹射线计算机辅助成像探测(T-ray computed tomography),即太赫兹 CT^[18-19]。目前,太赫兹 CT 成像技术更受重视,它与 X 射线比较,可以获

得更丰富的信息来处理图像,不仅可以获得被测物的吸收率的三维分布,而且可以获得折射率或介电常数的三维分布。战场救护中,根据吸收峰不同,可以获知子弹、弹片在伤员身体的深度位置。目前存在的困难在于,太赫兹设备的微型化还需要很长的路要走。

4 结束语

总之,太赫兹波在电磁波谱的特殊位置决定了其特殊性质,太赫兹技术作为一门新兴的科学被誉为 21 世纪影响人类未来的十大技术之一,已得到国际学术界的广泛关注,在世纪之交短短数年内,国际上对太赫兹波的研究机构大量涌现,并取得了很多研究成果。可以预言,太赫兹技术必将在军事领域带来革命性的影响,尤其是在终端制导、侦查预警空天飞机与超音速飞行器方面将有广泛的应用。

参考文献:

- [1] Sun Bo, Yao Jianquan. Generation of Terahertz wave Based on optical methods[J]. Chinese Journal of Lasers, 2006, 33(10): 1349-1359. (in Chinese)
孙博,姚建铨. 基于光学方法的太赫兹辐射源[J]. 中国激光, 2006, 33(10): 1349-1359.
- [2] Dong Qingnan. The brief analysis of terahertz wave's characteristics and application in the national economy[J]. Science & Technology Association Forum, 2009, (7): 78-79. (in Chinese)
董庆楠. 浅谈太赫兹波的特点及其在国民经济中的应用[J]. 科协论坛, 2009, (7): 78-79.
- [3] Zhou Yan. Study of testing application of continuous wave Terahertz imaging[D]. Beijing: Capital Normal University, 2007. (in Chinese)
周燕. 连续太赫兹波成像技术的检测应用研究[D]. 北京:首都师范大学, 2007.
- [4] Wang Yifeng, Mao Jingxiang. Analysis on development status of Terahertz technology and application prospect [J]. 2008, 23(1): 1-5. (in Chinese)
王忆锋,毛京湘. 太赫兹技术的发展现状及应用前景分析[J]. 光电技术应用, 2008, 23(1): 1-5.
- [5] Li Yuye. The research of terahertz wave transmission's characteristics under the condition of simulation dust [D]. Beijing: Capital Normal University, 2008. (in Chinese)
李宇晔. 模拟沙尘条件下的太赫兹波透射特性研究[D]. 北京:首都师范大学, 2008.
- [6] Qi Zumin. Study of application of THz wave in military field[J]. 2008, 29(12): 1-4. (in Chinese)
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.
- [7] Shen Jiné, Rong Jian, Liu Wenxin. Progress of terahertz in communication technology [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, 35(z3):342-347. (in Chinese)
申金娥, 荣健, 刘文鑫. 太赫兹技术在通信方面的研究进展[J]. *红外与激光工程*, 2006, 35(z3):342-347.
- [8] Xie Xu, Zhong Hua, Yuan Tao, et al. Terahertz imaging of defects in space shuttle foam insulation [J]. *Physicals*, 2003, 32(9):583-584. (in Chinese)
谢旭, 钟华, 袁韬, 等. 使用太赫兹技术研究航天飞机失事的原因[J]. *物理*, 2003, 32(9):583-584.
- [9] Zhang Cunlin. Terahertz sensing and Imaging [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2008. (in Chinese)
张存林. 太赫兹感测与成像[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [10] Li Fuli, Ren Rongdong, Wang Xinke, et al. The theory and some applications of Terahertz radiation [J]. *Laser & Infrared*, 2006, 36(supplement):785-791. (in Chinese)
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.
- [11] Liu Shenggang. New developments of Terahertz technology [J]. *China Basic Science*, 2006, 8(1):7-12. (in Chinese)
刘胜纲. 太赫兹技术的新发展[J]. *中国基础科学*, 2006, 8(1):7-12.
- [12] Mu Kaijun, Zhang Zhenwei, Zhang Cunlin. Terahertz science and technology [J]. *Journal of CAEIT*, 2009, (6):221-228. (in Chinese)
牧凯军, 张振伟, 张存林. 太赫兹科学与技术[J]. *中国电子科学研究院学报*, 2009, (6):221-228.
- [13] Li Yuye. The research of terahertz wave transmission's characteristics under the condition of simulation dust [D]. Beijing: Capital Normal University, 2008. (in Chinese)
李宇晔. 模拟沙尘条件下的太赫兹波透射特性研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2008.
- [14] http://xmwb.news365.com.cn/jjlw/201011/t20101104_2870072.htm.
- [15] <http://news.sohu.com/20100426/n271757099.shtml>.
- [16] 中国兵工学会. 2004年光学与光电子学学术研讨会论文摘要集[C]. 烟台:[出版者不详], 2004.
- [17] Zhang Cunlin. Application of THz imaging in homeland security [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007. (in Chinese)
张存林. 太赫兹感测与成像[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [18] 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)
张蕾, 徐新龙, 李福利. 太赫兹成像的进展概况[J]. *量子电子学报*, 2005, 22(2):129-134.
- [19] X C Zhang. T-ray computed tomography [J]. *Hot Topic LEOS newsletter*, 2002:1-4.