

文章编号: 1672-8785(2008)12-0001-04

太赫兹波在军事领域中的应用研究

戚祖敏

(国防科技大学光电科学与工程学院, 湖南长沙 410073)

摘 要: 详细介绍了太赫兹波的优良性质及利用光导天线和光整流产生太赫兹波的方法。从远程监视、成像、爆炸物鉴别及无损检测等方面, 重点介绍了太赫兹技术在军事领域中的应用。

关键词: 太赫兹波; 性质; 产生; 军事应用

中图分类号: TN216 **文献标识码:** A

Study of Application of THz Wave in Military Field

QI Zu-min

(Opto-electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The good properties of THz wave and how to use photoconductive antenna and optical rectification to generate THz wave are described in detail. The applications of THz wave in long distance surveillance, imaging, exploder distinguishing, nondestructive inspection and particularly in the field of military are presented.

Key words: THz wave; property; generation; military application

1 引言

太赫兹 (Terahertz) 波是指频率在 $0.1\text{THz} \sim 10\text{THz}$ (波长在 $30\mu\text{m}$ 至 $3000\mu\text{m}$ 之间) 范围内的电磁波, 其波段位于微波和红外光之间, 属于远红外波段, 见图 1。20 世纪 80 年代中期以前, 由于缺乏有效产生和检测太赫兹波的方法, 人们对该频段电磁辐射的性质的了解非常有限, 因此其发展受到很大限制, 应用潜能也未能得到充分发挥。近 20 多年以来, 电子激光器和超快技术的发展, 为太赫兹脉冲的产生提供了稳定、可靠的激光源, 使太赫兹辐射的产生机理、检测技术和应用技术的研究得到蓬勃发展。太赫兹频段是一个非常具有科学价值但尚未开发的电磁辐射区域。由于太赫兹的优良特性, 其在军事

领域的应用正一步步地被开发研究出来。

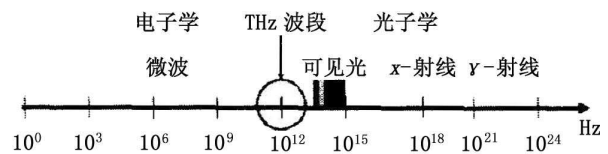


图 1 THz 波在电磁波段中的位置

2 太赫兹波的性质

太赫兹波的一系列独特的优越特性, 主要是由它在电磁波谱中所处的特殊位置决定的, 而这些优越特性又是其应用前景的基础。其主要特点如下:

(1) 太赫兹波具有很高的时间和空间相干性。太赫兹辐射是由相干电流驱动的偶极子振

收稿日期: 2008-09-01

作者简介: 戚祖敏 (1986 —), 男, 江西赣州人, 国防科技大学在读本科生, 主要从事光信息和光电领域的学习和研究。

荡产生、或是由相干的激光脉冲通过非线性光学差频产生的，具有很高的时间和空间相干性。现有的太赫兹检测技术可以直接测量振荡电磁场的振幅和位相。

(2) 太赫兹波的光子能量低。频率为 1THz 的电磁波的光子能量只有大约 4.1meV，约为 x 射线光子能量的百万分之一，因此不会对生物组织产生有害的电离，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。

(3) 太赫兹辐射能以很小的衰减穿透如脂肪、碳板、布料、塑料等物质，因此可用于探测低浓度极化气体，适用于控制污染。另外，太赫兹辐射可无损穿透墙壁、布料，可在某些特殊领域发挥作用；

(4) 室温下 (300K 左右)，一般物体有热辐射，这一辐射大约对应 6THz。从宇宙大爆炸中产生的宇宙背景辐射有 1/2 都在光谱中的太赫兹部分。

(5) 从 GHz 到太赫兹频段，许多有机分子表现出较强的吸收和色散特性，这是由分子旋转和震动的跃迁造成的。这种跃迁是一种特殊的标志，物质的太赫兹光谱 (包括发射、反射和透射) 包含有丰富的物理和化学信息，这使得太赫兹波有类似指纹一样的唯一性特点。

(6) 太赫兹波的典型脉宽在亚皮秒量级，不但可以进行亚皮秒、飞秒时间分辨的瞬态光谱研究，而且通过取样测量技术，能够有效地防止背景辐射噪音的干扰。目前，太赫兹辐射强度测量的信噪比可大于 1010。

3 太赫兹波的产生

3.1 光导天线

光导天线辐射机制利用超快激光脉冲泵浦光导材料，在其内部产生电子空穴对，这些载流子在外加偏置电场的帮助下做加速运动形成一个瞬态光电流，从而辐射出低频太赫兹脉冲。如图 2 所示，光导天线由两个金属电极组成，之间的距离在 m 量级，由实验需要而定，并以几十伏的直流偏置电压，电极安装在半绝缘

的低温砷化镓晶片或者辐射损伤的宝石外延硅 (SOS) 的衬底上。在天线正极附近产生强的耗尽场，再用激光器发出的飞秒激光脉冲照射该区域，就会产生很强的太赫兹辐射，经衬底背面的硅透镜辐射出去。

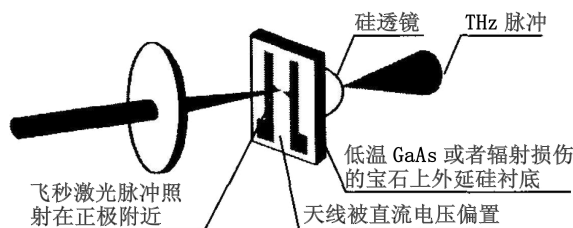


图 2 光导天线辐射机制

3.2 光整流

20 世纪 90 年代初，张希成等人发展了沈元壤等人的工作，发明了基于亚皮秒光整流机制下产生相干太赫兹电磁辐射脉冲的方法。其原理是：利用激光脉冲在电光晶体中的非线性效应，通过远红外差频的方法产生太赫兹电磁辐射脉冲。这种机制利用红外脉冲激光产生太赫兹电磁辐射，类似于利用光波产生静电场，被称为亚皮秒光整流方法。光整流效应是一种非线性效应，利用激光脉冲 (脉冲宽度在亚皮秒量级) 和非线性介质 (如 Zeta 等) 相互作用而产生低频电极化场，此电极化场辐射出太赫兹电磁波。如图 3 所示。电磁波的振幅强度和频率分布决定于激光脉冲的特征及非线性介质的性质。常用的非线性介质有 LiNbO_3 、 LiTaO_3 、有机晶体 DAST、GaAs 和 ZnTe 等，其中用得最多的是 ZnTe 和 GaAs。另外，DAST 是一种很有潜力的有机介质，它是非线性效应最强的物质之一。

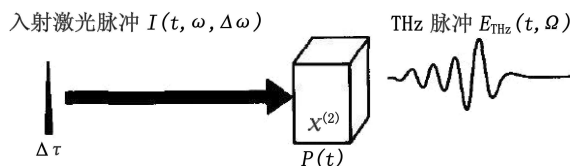


图 3 用 ZnTe 晶体进行光整流

两种产生太赫兹电磁波的方法中，用光导天线辐射的太赫兹电磁波能量通常比用光整流效应产生的太赫兹波能量强。因为光整流效应产生的太赫兹波的能量仅仅来源于入射的激光

脉冲的能量, 而光导天线辐射的太赫兹波的能量主要采自天线上所加的偏置电场, 可以通过调节外加电场的大小来获得能量较强的太赫兹波。但是, 光导天线产生的太赫兹电磁波的频谱宽度较窄, 而光整流产生的太赫兹电磁波的频谱宽度较宽。除了以上两种产生太赫兹辐射的方法外, 目前还有利用耿氏振荡器产生连续太赫兹辐射的方法。

4 太赫兹波及其在军事中的应用

4.1 可进行远程监视与探测

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。因此, 太赫兹雷达在国家安全与军事上有着广阔的应用前景。

在一般情况下, 雷达主要靠接收目标的反射信号来发现目标。如果目标表面能使雷达波被吸收或散射, 就可大大减小被对方雷达发现的概率, 从而达到隐形的目的。通常, 用吸波材料构成的隐形目标只对很窄的一个波段适合, 所以常规的窄带微波雷达无法有效探测雷达截面很小的隐形飞机。而太赫兹雷达发射的太赫兹脉冲包含了丰富的频率, 可使隐形飞机的窄带吸波涂层失去作用。并且, 这种宽带太赫兹雷达波, 对扁平形薄边缘不会像普通雷达那样形成共振吸收而减弱反射强度, 它仅能产生很小的共振面而使反射波增强。这种太赫兹雷达可以 GW 级和成千上万种频率发射纳秒以至皮秒级的脉冲, 因此拥有许多普通雷达所没有的优点和能力。

总之, 由于雷达主要是用来探测空中目标的方位和距离的, 而超宽带太赫兹雷达以其高的距离分辨率、强穿透力、低截获率、强抗干扰性以及优越的反隐身能力, 完全可用于对国家安全的远程监视与探测。

4.2 可进行远距离成像

太赫兹成像所依据的基本原理是: 透过成像样品 (或从样品反射) 的太赫兹电磁波的强度

和相位包含了样品复介电函数的空间分布。将透射太赫兹电磁波的强度和相位的二维信息记录下来, 并经过适当的处理和分析, 就能得到样品的太赫兹图像。太赫兹成像系统的构成如图 7 所示。太赫兹成像系统的构成和工作原理与太赫兹时域谱测试系统相似。太赫兹波被聚焦元件聚焦到样品的某一点上, 收集元件则将透过样品 (或从样品反射) 的太赫兹波收集后聚焦到太赫兹探测元件上。太赫兹探测元件将含有位置信息的太赫兹信号转化为相应的电信号。图像处理单元将此信号转换为图像。另外, 通过测量太赫兹光谱, 不仅可以得到物体光谱的强度 (振幅) 信息, 还可得到其相位信息, 因而可以用来对物体进行三维立体成像, 在战场上用于显示前方灰尘或烟雾中的坦克等。

4.3 利用太赫兹时域光谱技术对爆炸物进行检测与区分

太赫兹时域光谱 (太赫兹 TDS) 是一种非常有效的测试技术, 典型的太赫兹时域谱实验系统主要是由超快脉冲激光器、太赫兹发射元件、太赫兹探测和时间延迟控制系统组成。太赫兹时域光谱包含了关于物质结构的丰富信息, 不同种类的炸药会在特定频率处产生较强的吸收, 我们可以根据这些信息来鉴别炸药。图 4、图 5 所示分别是 RDX 与 HMX 两种爆炸物的吸收谱。

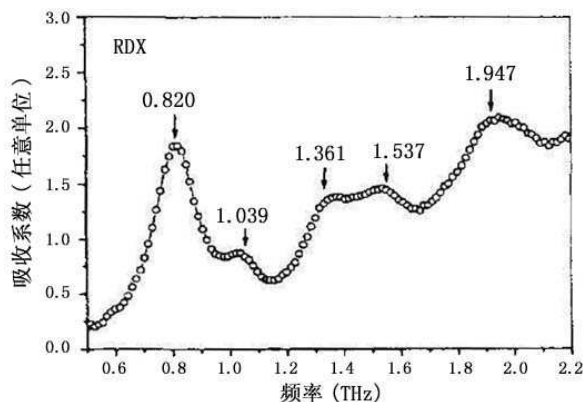


图 4 RDX 的吸收谱

4.4 可进行无损检测

由于太赫兹波有强的穿透力, 且其光子能量低, 只有几个毫电子伏特, 穿透时不易发生电离, 因而可用来进行安全的无损检测。尤其是对

一些塑料泡沫等绝缘材料内部的缺陷和裂痕等进行无损检测和成像，在战略导弹及航空、航天结构材料的检测和评估方面具有重要的应用价值。如对航天飞机燃料舱的隔热材料进行有效的无损探伤，已被美国宇航局选择为发射中缺陷检测的技术之一。

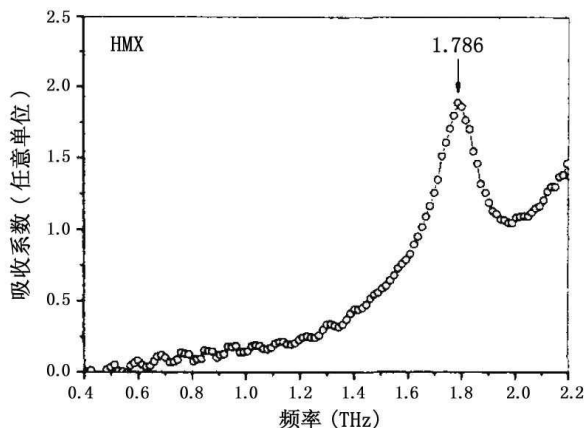


图 5 HMX 的吸收谱

5 结语

太赫兹技术是一门新的极具活力的前沿领域，其应用非常广泛。目前，世界各国均争相发

展自己的太赫兹技术。随着科学技术的不断发展，现在太赫兹技术领域的新理论、新现象、新方法和新应用层出不穷，太赫兹系统已经实现了小型化，连续辐射的产生技术也将使太赫兹技术不再依赖于昂贵的飞秒激光器。显然，其应用前景将非常广阔，相信不久，经过安防科技工作者的努力，自然会应用到安全防范领域中来。

参考文献

- [1] 李玉林, 陈华, 汪力, 等. 太赫兹波的产生、传播和探测 [J]. 现代物理知识, 2006, 105(3): 29-30.
- [2] 江德军, 王光琴, 贾燕, 等. 太赫兹波及其在毒品检测中的应用 [J]. 北京石油化工学院学报, 2006, (12): 84-89.
- [3] 沈京玲, 李宁, 逯美红, 等. 太赫兹电磁波在毒品检测中的应用 [J]. 光学技术, 2006, (9): 747-749.
- [4] 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, (9): 787-791.
- [5] 韩元, 周燕, 阿由来提, 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.
- [6] 王凤霞, 张卓勇, 张存林. 太赫兹时域光谱技术在化学领域中应用的新进展 [J]. 分析化学, 2006, (4): 576-581.

国外专利介绍

多光谱成像

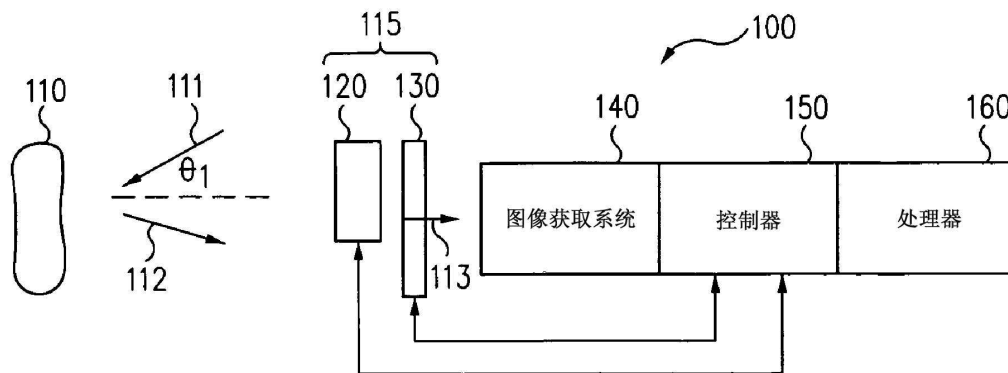
美国专利 US7420678
(2008 年 9 月 2 日授权)

对于某些应用来说，现有的成像系统并不是最佳的。例如，为了准确地测定一个物体（例如处于空间中的一个物体）的一种或多种材料特性，现有的系统可能会提供太多或者太少的图像信息。如果图像信息不足，就

不可能准确地测定材料的特性，而如果信息过多，则需要花费大量图像处理资源和处理时间。还有，虽然高光谱成像系统也可以用来测定材料特性，但是高光谱成像系统的数据获取和分析是复杂的，而且是费时的。

本发明提供一种多光谱成像系统。该系统是利用一个多光谱光学组件接收入射光，然后再将接收到的光以许多个波段传输的。每个波段都有一个约 2nm 至 40nm 的预选带宽，每个波段的预选带宽可能相同，也可能不同。

本专利说明书共 14 页，其中有 6 张插图。



高 编 译