

太赫兹科学技术研究进展及其发展趋势

重庆邮电大学光电工程学院 何稼均

DOI:10.19353/j.cnki.dzsj.2019.03.031

引言：近年来，太赫兹技术由于其重要的理论研究价值和广泛的应用前景而在科学界引起了广泛的关注。随着电子科学技术的进步，太赫兹波技术取得了突破性进展，太赫兹技术的应用研究也迅速扩展到越来越多的领域。本文就太赫兹相关概念、研究进展及其发展趋势进行了简要介绍。

1. 揭开太赫兹神秘的面纱

电磁波、震动波、 γ 射线、X射线...想必这些光波的名字对许多人来说并不陌生，那么太赫兹波呢？它是现如今人类了解得最少、开发得最少的一个波段，但它却有着不可衡量的价值。2004年，美国将太赫兹评为“改变未来世界的十大技术”之一；2005年，日本将其列为国家支柱的十大战略目标之首，并积极研发，太赫兹也是本世纪最重要的新兴学科之一。

那么，太赫兹波究竟是什么？实际上，太赫兹波是0.1-10THz之间的电磁波，其波段处于微波和红外波之间。随着科学技术的进步，太赫兹波技术取得了突破性进展，太赫兹技术在医学诊断，天文学，物体成像，通信，雷达探测等诸多领域都显示出其巨大的科学价值和实用前景（Rainsford T J, Mickan S P, Abbott D. T-ray sensing applications: review of global developments. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2005.）。

由于太赫兹波具有很强的穿透性，良好的定向性以及带宽高等特点，且太赫兹释放的能量极小，是完全非电离的，不会对人体产生有害的光致电离（光致电离是光子与原子或者分子相互作用形成离子的物理过程，该过程要求光子的能量大于或等于原子电离能量），也不会破坏物质。因此相比于现有的光波射线来说，太赫兹更具优势。

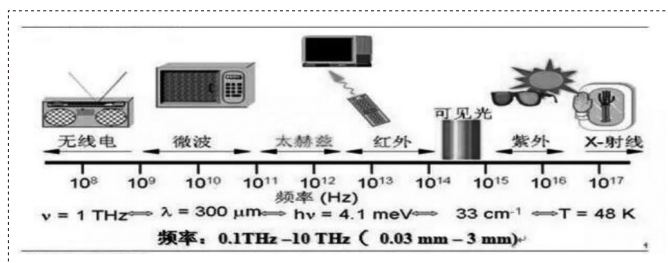


图1 太赫兹频谱位置

2. 太赫兹技术的初步应用

诸如美国、日本以及欧洲的一些发达国家，都在积极开展太赫兹技术的科研工作，并且在一些方面取得了重大进展，近几年，我国科研界也在高度关注太赫兹技术，同时也已经创建起十几个太赫兹研究中心。

2.1 太赫兹在安全方面的应用

安全检测可以说是现阶段太赫兹最吸引人的应用。由于太赫兹具非电离性，且穿透能力强，因此可以对隐藏在机场，车站和其他等地的爆炸物、武器、毒品等危险物品起到远距离大范围的预防警示作用。它的本质就是利用太赫兹电磁信号的穿透性和对金属等特

殊材料的强反射特性进行实时快速透视成像。许多有机大分子在太赫兹频段表现出很强的吸收和谐振，形成具有生物特异性的太赫兹特征吸收光谱。例如大多数毒品都是有机大分子，因此大多数毒品在太赫兹波段都有特征吸收光谱，再加上它们的振动和转动能级以及分子间弱相互作用引起的吸收频率都在太赫兹波段。因此，太赫兹技术可据此收集它们的特征吸收光谱和结构信息，以达到快速检查药物的目的（郑晓雨, 赵彦彪, 杨虹贤等. 太赫兹技术在毒品检验中的研究进展. 刑事技术, 2017.）。

太赫兹安全检测仪主要是利用了人体与物体之间的温差。且仪器仅仅只是接收人体发射出来的太赫兹波，仪器本身并不会辐射电磁波，所以它对人体没有伤害，适合对活体生物或组织进行实时检测，因此太赫兹安检也成为了迄今为止最安全有效的安检方式。再加上其成像分辨率小于5mm，简而言之就是一个蚂蚁大小的物体都能被其识别到。便携式的太赫兹安检仪已经处于后期研发测试阶段，有希望在20cm外自动快速检测危险物品，并实时生成高清三维图像。因此未来有很大可能将广泛用于机场、海关、高铁、地铁等领域。可以想象，在不远的将来，机场火车站将安装大量的太赫兹安全设备（赵国忠, 申彦春, 刘影. 太赫兹技术在军事和安全领域的应用. 电子测量与仪器学报, 2015.）。

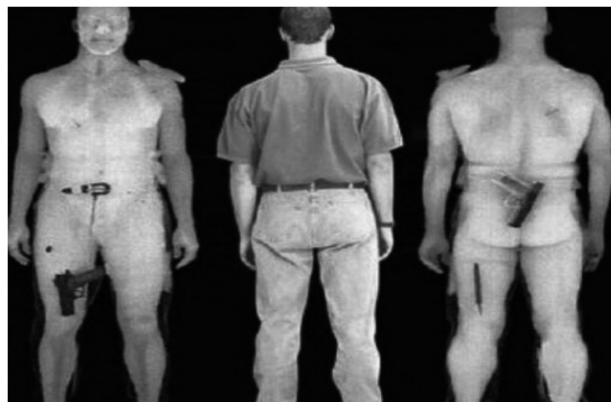


图2 G20上使用的太赫兹安检仪成像效果图

2.2 太赫兹在医疗领域的应用

太赫兹和X射线之间的最大区别在于，在远红外区域，太赫兹光子能量比X射线大约多一百万倍，并且没有离子化辐射问题。太赫兹频率段处于分子相互作用段，它能提供关于位置和密度的信息，可以用于分子活性研究，并提供高的空间分辨率（ $\sim 300\mu\text{m}$ ），还可用于分子尺度的材料测定，用于诊断疾病，比如可以早早地检测到癌症，从而给患者提供了宝贵的治疗时间。太赫兹射线可以用于计算机照相，太赫兹射线CT可以获得分辨率高达 μm 量级的三维分子或化学图像。根据不同的检测方法和信号处理方法，将太赫兹分为两大基本领域，即太赫兹成像技术和太赫兹光谱技术。太赫兹技术在医学科学领域的蓬勃发展，其中要属生物大分子检测和组织成像最深入人心。太赫兹成像技术的理论基础是水含量和结构的差异，可用其检测并识别生物组织。

太赫兹成像检测是最近几年涌现出来的一种新型的光电成像探

测技术。由于太赫兹电磁辐射的穿透深度极大,因此不会对人体组织造成辐射损伤。且其具有极高的成像分辨率,因而可有效鉴别出光谱段中许多传统方法所无法鉴别的伪装,隐形和欺骗性措施。它的方式是属于通过非接触式地快速成像诊断并检测,来识别由金属或无机材料制成的隐藏物体或埋藏物体。成像检测系统包括太赫兹电磁辐射发射器和与光学系统耦合的成像检测装置。在目标被发射器发射的太赫兹辐射照射之后,它会经反射被发送到检测装置以完成成像检测。太赫兹成像检测技术作为一项新兴技术而出现,具有广阔的发展潜力和应用前景(叶麾,郝明蓉,曹寒雨等.太赫兹技术在医学科学中的应用及研究进展.光电工程,2018.)。

2.3 太赫兹在通信的应用

与现有通信手段相比,太赫兹波具有通信传输容量更大,方向性更好,抗干扰能力更强等优点。因此,可以在诸如灰尘和烟雾的恶劣环境中执行正常的通信工作。太赫兹波在空间通信和短程战术通信等防御领域具有很大的应用前景。

在当前的太赫兹通信系统中,主要使用太赫兹无线通信系统的设计和研发。通过微波通信捕获,跟踪和定位子系统。由于太赫兹波的高频带接近光频率并且光束窄,在一些特殊使用环境中,需要用到ATP子系统来实现信号捕获,跟踪和瞄准。

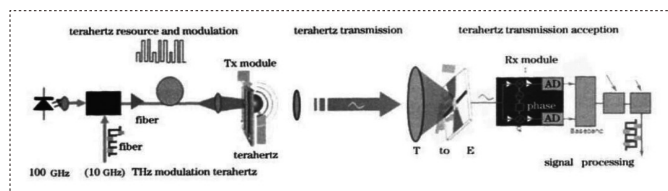


图3 太赫兹通信框图

事实上,太赫兹技术的应用领域远不止这些,而且在我国,太赫兹的研究领域也数不胜数。例如,中科院物理研究所的太赫兹时域光谱和成像及高功率太赫兹脉冲源,中国科学院上海微系统研究所的新型半导体太赫兹源-QCL,来自西安理工大学的新光电导THz器件,首都师范大学的生物样品的太赫兹检测和层析成像,中国电子科技大学的新型太赫兹源和微波技术等等(姚建铨,迟楠,杨鹏飞等.太赫兹通信技术与展望.中国激光,2009;杨鸿儒,李宏光.太赫兹波通信技术研究进展.应用光学,2018.)。

3. 太赫兹的发展趋势

太赫兹相关技术不止上述所说,它还有更多广泛的应用。比如太赫兹遥感、太赫兹无损检测等技术在环境监测、航空航天、军事国防、国家安全等方面的应用都得到了一定发展。

尽管如此,仍有许多值得探讨的理论和实践问题。只有太赫兹光源,探测器和太赫兹功能器件的进一步改进和发展才能使太赫兹应用得到更广泛的应用。因此,太赫兹科学技术的研究和发展任重而道远。太赫兹技术涉及许多学科,如物理学,半导体,光学,材料科学,信号处理,激光技术,制冷技术,微波纳米波电子学等。这是一个典型的交叉前沿领域。太赫兹波从被命名到现在也不过短短三十年左右,尽管我们对它的探索还很浅显,但它巨大的优越特性和发展前景正吸引着无数的科研人员努力挖掘着。相信在不久的将来,太赫兹技术能够广泛应用并造福人类社会!

作者简介:何稼均(1998—),女,重庆人,重庆邮电大学光电工程学院,电磁场与无线技术专业本科在读。

(上接第63页)

核,具体的考核形式应该是以任务为导向,通过构建一个任务场景,设计综合实训项目,考察学生对所学知识的掌握程度和运用所学知识解决实际问题的能力。

每节实训课都应明确实训目标和实训方法、实训步骤,要求学生在课堂上完成实训报告的书写,通过实训报告考察学生对知识的理解程度。将实训报告的书写作为一项考核内容,这就使学生在每节实训课中都能积极参与,勤于思考,很好地锻炼了学生的理论联系实际的能力。要求学生在思考和创新方面有自己的见解和想法。在期末综合实训考核时,提出一个综合案例,该项目涵盖了各模块的核心内容,在考核时注重培养学生的动手能力。最终的实训成绩应为实训报告书写的成绩与期末综合实训考核的成绩加权求和。

在平时成绩的计算上,综合考虑课堂提问、学生课堂演示、查阅资料书写调研报告等方面的评价分数,并进行加权求和。结合知识点的学习,在课堂上通过提问的方式考察学生对知识的掌握情况,同时通过提问使学生能够更好地集中注意力、认真听讲。对于教材上的一些项目,通过让学生参与到课堂教学中,由学生来完成项目任务的讲解和演示的,培养学生的表达能力。查阅资料书写调研报告培养的是学生的写作能力和利用网络进行检索以获取所需资料的能力。

(4) 以必须、够用为度,加强学生实践技能的培养

采用网络多媒体电子教室现代化教学手段,结合教学实践和课程的需要,设置网络多媒体电子教室的各项功能,安装红蜘蛛多媒体网络教室等软件,方便教学。项目教学演示案例时,同时录像,

方便给学生回放;在实践教学中采用分组教学方式,教师遥控辅导并监控学生机项目的完成情况,适时调整教学进度,进行个别指导,提高学生的动手能力。

3 基于“教学做”一体化的教学创新

将创新思维应用于“教学做”一体化的教学实践中。以学生为中心、以就业为导向。通过情景教学,启发学生思考,学生理论联系实际能力增强;通过信息技术与数字化教学资源的使用学生对理论知识的掌握程度更好;“做中学,学中做”,学生动手能力增强,职业技能水平提高;通过分组讨论,团队协作,学生课堂参与活跃度增加。探索基于MOOC和SPOC的线上与线下混合式教学;构建适应“教学做”一体化的教学评价模式;使用丰富的信息化教学手段;开发课程相关数字化教学资源。

参考:郭文颖.“教学做”一体化教学模式的教学效果分析——以“基础护理技术”课程为例:萍乡学院学报,2017(6);王燕军.高职高专医学卫生信息管理专业平面设计课程“教学做”一体化项目构建及优化:科学中国人,2017;刘敏.“教学做”一体化教学模式在计算机应用专业的应用思路探讨:中国培训,2016(6):61-61;侯晓霞.“教学做”一体化教学模式的构建——以大连职业技术学院老年服务与管理专业为例:辽宁高职学报,2015,17(9):31-34。