

序 言

——加强太赫兹科学技术基础和应用研究

张 健

(中国工程物理研究院 电子工程研究所)

太赫兹(Tera-Hertz, THz)波是指频率在 0.1 THz~10 THz(波长在 3 mm ~ 30 μ m)范围内的电磁波,该频段介于毫米波与远红外光之间,是一个人类尚未充分认知和利用的频段。同微波相比,亚太赫兹和太赫兹波具有高出 1~4 个数量级的带宽,同光波相比,太赫兹波具有更高的能量转换效率和烟雾穿透能力,因此太赫兹波作为通信和雷达的新手段,可以极大地提高通信系统的容量和雷达的分辨率,以及保密性和抗干扰抗截获性能等。太赫兹波具有比 X 射线更低的能级和对非金属材料的穿透性,可以广泛应用于医学成像、安检、材料检测与结构分析、特殊过程测量等领域。

太赫兹科学技术研究包括基础研究和应用研究。太赫兹波处于宏观经典电磁理论与微观量子理论的过渡区,要实现太赫兹波的充分开发利用,须从物理、化学、材料科学、电子学、光子学等学科出发研究太赫兹频段的特殊现象和规律,建立太赫兹波的基础理论。太赫兹波的主要应用包括:太赫兹波的宽带应用(超高速率太赫兹通信、超高分辨率太赫兹雷达等)、太赫兹波谱光谱应用(光谱特征分析、成像等)、太赫兹波的近距应用(近距无线接入与局域互连网;利用大气衰减频率实现几公里级范围的保密传输和抗干扰抗截获应用,如战场区域高安全作战探测与通信系统等)、太赫兹波反隐身应用等。太赫兹波基础和应用研究的突破,必将推动人类生活方式和科学技术的重大变化,因此世界发达国家争相将太赫兹科学技术列为战略性科技方向。

从研究方法来说,太赫兹科学技术包括太赫兹电子学、太赫兹光子学、太赫兹光电子学等。太赫兹电子学侧重于 0.1 THz~3 THz 左右的太赫兹低频段,太赫兹光子学侧重于 1 THz~10 THz 左右的太赫兹高频段。国内外过去对太赫兹光子学和基于超短激光的太赫兹光电子学的研究较多,其应用主要表现在波谱(光谱)分析与成像方面,部分技术已达到实用水平。近年来,随着太赫兹通信和雷达可能产生的广泛应用前景,太赫兹电子学的发展引起了高度重视,成为太赫兹研究的前沿热点。太赫兹电子学主要基于太赫兹波的波动性,基于 InP, GaAs, GaN 等化合物半导体的固态微纳电子学器件和真空电子学功率放大器件,基于宽带复杂信号理论和超高速数字信号处理技术,研究太赫兹通信、雷达等电子系统。太赫兹电子学包括 3 大方面的共性基础研究:太赫兹波在自由空间、大气、水、金属等媒质中的信道传播特性以及与目标相互作用的散射特性;太赫兹固态调制源、固态与真空功率放大器件;宽带复杂信号理论和超高速实时信号处理技术。太赫兹通信、雷达所需的太赫兹源与太赫兹波谱特性应用的太赫兹源有较大区别,通信和雷达所需的太赫兹源要求很宽的瞬时带宽,其频率、相位、幅度具有瞬时的线性可调制性,这种太赫兹源一般基于半导体固态器件实现。固态太赫兹器件的输出功率在 μ W 到 mW 量级,然后采用固态功率合成和电真空放大器提高输出功率。基于微电真空行波管放大器,其连续波功率可达到 W 级;基于回旋行波管放大器,其脉冲功率可达到 kW 级。国外 0.5 THz 以下的固态太赫兹电子器件逐渐成熟;2009 年美国 DARPA 计划启动了“太赫兹电子器件”的研究,重点研究达到 1THz 的晶体管器件和功率放大器模块等;美国 Sandia 等国家实验室开展了太赫兹固态集成收发器件及其应用研究。

中国工程物理研究院在国内较早、较为全面地开展了太赫兹科学技术的研究。中国工程

物理研究院电子工程研究所、应用电子学研究所、激光聚变研究中心、应用物理与计算数学研究所、流体物理研究所、化工材料研究所等单位开展了太赫兹频段的通信、雷达、固态源与功率放大器、RF-MEMS 无源器件、微电真空放大器、大功率电真空器件、自由电子激光器、量子级联激光器、超宽谱太赫兹源、光谱成像与材料检测等研究，并取得了一系列重要成果，如：2005 年，基于射频直线加速器自由电子激光技术，研制出我国第一个 2.6 THz 可调谐相干太赫兹光源，被评为 2005 年度中国基础研究十大新闻成果；2010 年，基于固态太赫兹电子学，研制出我国第一个 0.14 THz/10 Gbps 无线通信传输系统实验样机，并完成了 500 m 无线传输试验。在太赫兹雷达、量子级联激光器、光导开关、太赫兹科学仪器以及 0.3 THz 以上的太赫兹固态收发模块与电真空器件等方面也取得一定进展。2011 年 2 月中国工程物理研究院在四川绵阳召开了太赫兹科学技术研讨会，刘盛刚、范滇元、周寿恒、张锡祥、彭先觉、徐志磊等院士到会指导，刘盛刚院士和周传明研究员分别做了大会报告，提出了太赫兹基础研究和应用研究的重要发展思路，本期专辑刊登了该学术研讨会的部分优秀论文。

无论从基础研究还是应用研究来说，太赫兹科学技术都还存在很多问题需要解决。太赫兹波的波动性和粒子性如何表现？太赫兹波的量子特性如何表现？与量子电子学、量子光子学的关系是什么？在固态器件、真空器件及其工艺、测试等方面需要什么样的原理和技术突破才能在太赫兹频段实现？等等。太赫兹科学不仅是微波电子学的向上延伸和光子学的向下延伸，而应该是一门不同于传统的微波电子学和光子学的新科学。太赫兹电子学、太赫兹光子学、太赫兹光电子学等不可能严格地区分，正是它们之间的交叉融合，才产生了真正的太赫兹科学技术。

作为一门跨学科的新兴交叉科学，太赫兹科学技术的形成需要 3 大领域(电子、光子与量子理论；电路、电磁场与电磁波理论；信号、信息与系统理论)的结合及其实现技术的综合应用。中国工程物理研究院愿与国内外专家同行一道，以应用研究为牵引，加强基础研究和关键技术攻关，共同努力，推动太赫兹科学技术的迅速发展。