

# 浅谈远红外技术的应用发展

王 晗

远红外频段属于正在开拓的电磁波段,至今仍是基础研究的热点。但是,正如科学发展的历史所表明,任何一个电磁波段的开发,都会促进技术的发展,并造福人类。远红外的应用发展也不例外。激光作为远红外相干辐射源,频率覆盖面宽、结构简单、频线丰富、投资较少,因此光泵远红外激光的应用较多。迄今为止,远红外技术在下面各个领域不断发展。

## 一、远红外激光

远红外激光很多都是用于军事和国防领域,因此各国对此技术的公开均采取谨慎态度,外界了解不多。超短激光脉冲是远红外激光实验的重要方向。THz(Terahertz,  $1\text{THz} = 10^{12}\text{Hz}$ , THz 频段是指频率从十分之几到十几个太赫兹,介于毫米波与红外光之间相当宽范围的电磁辐射区域)技术是最近 20 年来由于超短激光技术的迅速发展而新兴的一个研究领域,该领域涉及电磁学、光学、光电子学、半导体物理学、材料科学以及微加工技术等多个科学,在信息科学、生物学、医学、天文学、环境科学等诸领域有着重要的应用前景,国外许多国家在此方向上投入巨大。

美国在远红外的应用方面发展很快,例如 1993 年,RPI(Rensselaer Polytechnic Institute, USA)学院中 X. C. Zhang (主要从事 THz 近场成像以及 THz 隐身成像方面的研究)的实验室激光的二次磁场的相关性可以产生 THz 辐射,对 THz 的连续可调的输出有着很大的贡献。俄罗斯的 THz 研究历来走在世界前列,其 THz 探测器也是世界知名的,但是随着其经济衰退,在此方向上的投入减小,研究速度逐渐减缓。日本、瑞典等国也在大力发展远红外激光项目。我国的中科院物理所也进行了一系列的研究,取得了一定进展。在过去 10 年里,远红外激光器作为一个科学研究的工具在各个领域处于重要的地位。

## 二、天体物理研究

由于远红外技术的快速发展,天文学家和天体物理学家可以利用远红外频段进行观测。稳定的远红外激光可以作为外差接受技术的本振源,而采用

外差技术建造的远红外射电天文望远镜可以用于观测和研究天体及星际辐射,研究星际形成过程和星际介质化学性质等。现在世界上已经建造了多座远红外射电望远镜用于研究银河系星际云中复杂的物理状态及结构。德国的马·普射电所和美国的亚利桑那州天文台合作研制了一台 10m 长的亚毫米波射电望远镜,工作波长为  $35\mu\text{m}\sim 3\text{mm}$ ,总反射面精度高达  $15\mu\text{m}$ ,指向精度  $1''$ ;英国和荷兰合作研制的 15m 长的亚毫米波射电望远镜,工作波长最短为  $0.4\text{mm}$ ,总反射面精度高达  $35\mu\text{m}$ ,指向精度  $1''$ 。借助远红外技术,可以研究线性星系的远红外辐射和射电辐射的关系、块状星系为止的高角度分辨率分子线和毫米连续性、内恒星介质、红外宇宙、粉尘分布、超亮度红外星系、螺旋星系、高银纬地域、发光星系合并和进化、从星际尘埃中传播的银河的中远红外辐射的特性、巨蛇座的大规模分子气体的分布及云中心的稠密关系、星爆、宇宙远红外本底偶极子等等。

## 三、通信和军事应用

研究显示,远红外在  $350,450,620,735$  和  $870\mu\text{m}$  波长附近存在着相对透明的大气窗口。与微波通讯相比,远红外光束较窄,波束方向性好,可实现外差接受,可以作定点保密通信或宽频带、大容量的通讯系统,因此是将来多媒体传输大容量无线通讯的希望所在。

80 年代美国的星球大战计划在发展太空通讯设备和雷达时就选用了远红外频段;1992 年美国航空航天局提出从 1995 年到 2010 年要全面占领远红外技术领域。例如 2003 年,圣依莱斯和科泽等人研究在工作环境在对于主战坦克的 X 边带雷达信号特性等等。

## 四、工程应用

工程领域的一个重要方面即是对天线的研究。近年有许多相关研究,例如超快速相干 THz 光谱的光纤耦合天线、光导天线中读解 THz 信号、低噪声双偶级天线 SIS 混频器等研究。2002 年,特拉瑟夫和斯坦帕瑟夫等人研究了天线连结约瑟夫森结的平面阵列在频率范围  $300\text{G}\sim 500\text{GHz}$  下的亚毫米波长

的灵敏度。

探测器是工业应用的又一个重要方面,例如长波长频谱仪、Ge:Sb 封锁不纯带(BIB)检测器、反转测辐射热计、热辐射测量红外检测器、基于液氮制冷的 n-InSb 晶体的 THz 探测器、红外光电探测器等等。

其他的工业应用也还有很多,例如应用光学色散原理,可以使用远红外激光检测塑料产品中的气泡等杂质;利用波谱分析法,远红外可以用于环保监测中对工业气体的分析。远红外回旋管发展迅速;固体状态的 p-Ge 远红外激光器正在向封装成型的可调谐仪器方面发展。根据不同的远红外效应设计出各种不同的器件,例如远红外电磁辐射的分色镜、ISOCAM 中红外相机、CH3F 远红外放大器、微传感器和微驱动器、光频率开关、发射速调管、陀螺仪器、实时 THz 成像系统、衍射的 THz 透镜、双连续变频信号境等。此外,还有在晶体管、接收器、发射器方面的大量应用。

#### 五、医学生物学研究

微波现在已经用于医学和生物学,远红外同样可以运用于这一领域,并有其更卓越的用途。例如激光所产生的中远红外能量可以被组织和肽键所吸收,因此可以用于皮肤涂层和其他的皮肤病外科手术;还可以产生高分辨率软组织成像,同时指导治疗和减少不确定性的成像,更显著的优点是可以将不同类型的组织在 THz 成像中区分出来,可以宏观地鉴定基底细胞癌;利用 THz 时域频谱可以研究 DNA 的组分。现在,远红外在在医学和生物学研究中的应用还在不断扩大。

#### 六、基础学科的研究

因为远红外能谱正好落在分子振动能谱和转动能级跃迁的能谱上,所以远红外激光成为高精度确定极性分子激发振动态光谱学常数的有力工具。因此红外光谱学的应用也随之增加,例如用来研究红外光谱学中 LNSCO 远红外电导性。

远红外技术应用于探索各种量子现象,包括磁激子、远红外量子叶栅激光、远红外猝发辐射等等。其在电子方面的研究主要包括光栅远红外自由电子激光的参数优化、自由电子激光、基于自由电子仪器的 THz 辐射器等等。远红外研究还涉及单炭极小电子管的传输频谱、高电子迁移晶体管、窄束小管中皮秒电子串产生的尾流场、低功率产生的 THz 束、电

子参杂等。

另外远红外线的应用延伸到半导体方面(半导体量子阱、GaAs-(Ga,Al)As 量子阱、半导体激光、超高速 Schottky 二极管、四波混合器、大块半导体表面的 THz 辐射的磁场感应增强、半导体超晶格检测 THz 辐射、远红外半导体激光、半导体超晶格振荡器等等)、超导方面(高温超导体、超导体仪器的传感器、铌超导体-绝缘体-超导体结、高 TC 热电子超导体热辐射计等等)、电介质方面(参量自感应激发效应、电介质共振、无定型的 TiO<sub>2</sub> 薄膜结构、SIN 门电介质氧强化接口等等)。

晶体物质运用远红外线的研究有很多,包括闪锌矿晶体、二维 THz 光子晶体、水晶 Mg-Fe 辉石、单轴 LiTaO<sub>3</sub> 晶体、多晶体合成物 Zn<sub>x</sub>Mg<sub>1-x</sub>Fe<sub>2-3</sub>Nd<sub>y</sub>O<sub>4</sub>-MgB<sub>2</sub> 单晶体、GaSe 晶体等等。

远红外在物理化学上的应用也增加,例如研究离子溶剂效应、n-GaAs 薄膜超外差放大和 La<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>MnO<sub>3</sub> 化合物的巨大磁致电阻等等。

#### 七、其他运用

远红外的其他应用促进了多科学的合作。不久前,哈特肖恩、克伦、迈尔斯和豪威尔斯等人在台湾的中东部利用亚毫米精密度测量河流基岩切口。同年,蒙哥马利和亚伯拉罕等人在真空条件下利用远红外辐射加快威尔士洋葱的干燥。塞利、琼斯和罗芮那布等人归纳了基于作为主要因素的全息图的 CATR 的应用和发展。谢里丹和谢尔顿等人分析调查了当用远红外辐射烹饪时对于细纹牛肉小馅饼的烹饪和脂肪含量的热扩散效应,提出了考虑整个过程的温度分布,并分析了用远红外辐射烹煎牛肉小馅饼的产率。

在未来的 10 年内,激光器作为一个科学工具在远红外领域仍然是不可或缺的。例如,远红外回波管有了迅速的发展,固态 D 型锗远红外激光器正向小型化、可调谐设备转化。目前,远红外激光的应用正在不断开拓和发展之中。随着对远红外激光研究的深入,它将进一步促进固体物理、半导体物理、等离子体物理、超导电子学、无线电波谱学、空间电子学、生物电子学等基础学科和边缘学科的发展,同时将在通信、雷达、国防、工业等方面得到前所未有的广泛利用。

(厦门大学物理与机电工程学院 361005)