

谈谈自由电子激光

郑好望 任文辉 肖胜利

(西安通信学院数理教研室 西安 710106)

近年来,随着科学技术的快速发展和人民生活水平的不断提高,以激光器为基础的激光技术已被广泛用于工业生产、通讯、信息处理、医疗卫生、军事、文化教育以及科学研究等各个领域,成为日常生活中不可缺少的一部分。然而,对于新型激光——自由电子激光,人们却知之甚少,下面笔者就此问题作一简要介绍。

1. 自由电子激光及其特点

激光(Laser)是受激辐射光放大的简称。普通激光是以一些固体或气体物质(如红宝石、二氧化碳气体等)为工作媒质,光发射机理基于工作媒质中受原子或分子束缚的电子能级的跃迁;而自由电子激光(Free Electron Laser 简称 FEL)是以自由电子为工作媒质的光受激辐射,在特定含义上是指相对论性自由电子束通过一横向周期变化磁场时,产生的光波受激振荡或受激放大。广义地讲,凡利用自由电子与电磁波相互作用所产生的从微波到 X 射线的受激辐射,均称为自由电子激光。

自由电子激光的概念是梅第(John Maday) 1971

年提出的,1976 年梅第和他的同事们实现了远红外“自由电子激光”,观察到了 10.6 μm 波长的光放大,并于 1977 年完成了 FEL 的自激振荡实验,他们的实验预示着一一种新光源的出现。初步研究表明,自由电子激光具有一系列已有的其他光源无法代替的优点:1、工作频率连续可调,其频谱可以从远红外到硬 X 射线;2、峰值功率和平均功率高且可调;3、相干性好且高度偏振;4、具有 Ps 脉冲的时间结构,且时间结构可控等。

自由电子激光器一般由电子束注入器(电子加速器)、横向磁场分量沿轴向周期变化的磁场、光学谐振腔等 3 部分组成,根据工作机理的差别,自由电子激光器大体分为康普顿型和拉曼型,前者注入的电子束能量较高,流强较弱,后者能量较低,流强较强,其光的受激辐射主要靠电荷密度波。

2. 自由电子激光的发展进程及其应用

自由电子激光无可比拟的优点使它在科学、军事和国民经济等方面都有着极其广泛的应用前景。美国在 1983 年 3 月提出的“星球大战”计划中,研究建立以定向能武器(包括化学激光器、自由电子激光器、粒子束武器及 X 射线激光器)为方案的战略防御体系,并在几年内投资数亿美元,使 FEL 取得了很大的进展,到 1985 年 FEL 最高峰值功率已达到 1GW;美国海军多年来也一直在参与开发定向能武器,并且对利用 FEL 激光器保护舰船对付巡航导弹

描述这种混沌系统行为的大量数据信息就会为人们所了解。

四、我们周围的混沌世界

现实的世界是一个有序与无序相伴、确定性和随机性统一的世界,在生物学、地质学、天文学研究范围之间的相互作用远比物理学中复杂得多。世界上成千上万物种的数量受到食物、天敌、气候、环境、疾病等众多因素的影响。例如不经意放到澳大利亚的几只兔子,数十年后爆炸式地繁殖到无法控制的地步。生物群落的个体树木随时代的变化,其他物种如恐龙的突然灭绝都是生物界混沌现象的一种体现。地壳运动和地震孕育系统中同样也存在着混沌。银河系的形体在光滑而稳定的引力场中所做的高速运动以及在漩涡系引力场中的天体都具有混沌轨道。

在日常生活中,混沌行为更是遍及空间的各个

角落。烟囱排出的袅袅涡卷的烟纹、风中树枝的前后摆动、自来水管的滴水花样在稳态与随机之间的变动、有节奏的心跳进入混沌状态后会导致心室颤动、交易所莫测的股票涨跌等等,所有的这一切都使人们认识到:我们周围的世界是一个复杂纷纭的世界,混沌则是处于其中的一种普遍运动形式,而“在中国一只蝴蝶轻轻地扇动一下翅膀,可能会引起大洋彼岸一阵飓风”之说也并非耸人听闻。

作者简介

崔英敏 1977 年 11 月出生,河北省沙河市人。2000 年毕业于河北工业大学应用物理系获学士学位,现在该校液晶物理专业攻读硕士学位,师从杨国琛教授,主要从事液晶蓝相研究。



扫描近场光学显微镜的原理与有源光纤探针

顾书龙

(巢湖学院科技处 安徽 238000)

传统的光学显微镜是以光学透镜为主体,利用透镜能将物体放大成像的功能而制成的。一般地,单级透镜能将物体放大几十倍,级联使用可达到千倍以上。制造放大倍数更大,分辨率更高的显微镜系统将遇到许多不可逾越的技术上的困难。从根本上说,光的衍射效应限制了光学显微镜进一步提高分辨率的可能性。根据瑞利判据,光学成像系统的分辨率 $\delta_x \geq 0.61\lambda/n \cdot \sin\theta$, 其中 λ 为光波波长, $NA = n \sin\theta$ 为光学成像系统的数值孔径,对于单透镜,它等于透镜的直径与焦距的比值。由此可见,提高分辨率的方法,一是使用更短的波长,二是制造更大数值孔径的光学成像系统。前者在可见光范围内没有多少改善的余地,后者也受到许多技术

上的制约。

上世纪 80 年代以来,随着科学与技术向小尺度与低维空间的推进与扫描探针显微技术的发展,在光学领域中出现了一个新型交叉学科——近场光学。近场光学对传统的光学分辨极限产生了革命性的突破。新型的扫描近场光学显微镜(SNOM——near-field scanning optical microscope)的出现使人们的视野由入射光波长一半的尺度拓展到波长的几十分之一,即纳米尺度。在扫描近场光学显微镜中,传统光学仪器中的镜头被细小的光学探针所代替,其尖端的孔径远小于光的波长。当把这种亚波长探针放置在距离物体表面一个波长以内,即近场区域时,可以探测到纳米光学信息,而这些精细结构信息仅仅

一直颇有兴趣。实验表明, $1\mu\text{m}$ 波长的自由电子激光是具有最低大气吸收系数的激光器,它可大大缓解舰载激光器碰到的“热晕”问题,其波长可调性和高功率运行的潜力,可满足海军未来舰载武器系统的要求。目前,他们研制成功的由超导射频加速器驱动的自由电子激光(FEL)波长为 $3.1\mu\text{m}$,其平均输出功率达到 1.7kW (原指标为 1kW),激光脉宽 1Ps ,重复频率 75MHz ,不久后, $0.1\text{—}10\mu\text{m}$ 波长的 FEL 的平均功率将达到 10kW , $0.2\text{—}1\mu\text{m}$ 波长的 FEL 将超过 1kW ,波长调谐范围 $0.2\text{—}60\mu\text{m}$ 。最近,研究人员又设计了“点火反馈再生放大器”,将产生平均功率高达 200kW 的 FEL(在杰斐逊实验室在该领域取得进展之前,最大工作功率只有 10瓦)。

在发展大功率武器用 FEL 的同时,研究人员也在开发小功率 FEL 的中间应用,如研制更适合通信用的激光器和检验硅片中的杂质,2000 年美国防预算拨款 1 千万元给杰斐逊的 FEL 计划,研究利用 FEL 从地面向卫星传输能量。除美国外,法国、日本、俄国、德国、英国、中国及意大利等 10 多个国家纷纷开展 FEL 的理论研究及实验研究,已建成 FEL 装置 40 多台,还有 40 多台在建设中。另外,科学家们利用 FEL 作光源在固体物理、材料科学、表面科

学、化学、医学、分子生物学等方面已做出了一批有意义的成果。

3. 自由电子激光发展趋势

(1) 向短波方向发展 由于技术上的困难,目前建成的自由电子激光器主要工作在远红外与红外区。随着技术的不断发展,特别是加速器技术上的进步,FEL 将不断向短波(真紫外、软 X 射线)方向推动。

(2) 提高峰值功率及平均功率 这主要是出于军事目的(比如定向能武器和军事通信)。

(3) 发展小型化专用装置及工业应用 目前,美国、日本等国的许多著名公司都在积极研究经济实用的专用 FEL 装置。

(4) 提高功率转换效率 目前,FEL 的能量转换效率还很低($10\% \text{—} 20\%$),因此,无论从科学实验、工业应用还是军事目的,都亟待提高总功率转换效率。最新研究表明,将射出的无用电子束送入减速装置回收其能量,回收率可达 95% 。

自由电子激光从出现至今刚刚经历了 20 个年头,尚处于发展的初期阶段,技术还不成熟,但 FEL 性能上无可比拟的优点,越来越引起科学界、军事界、医学界的高度重视。已成为科学技术领域最活跃领域之一。