

光 电 子 科 学 技 术

林 秀 华

(厦门大学物理系)

随着物理学对物质的各层次认识的不断深化,对基本粒子运动形态及其相互作用规律的认识日趋丰富,光电子学从经典物理学中脱颖而出,独成体系并迅速发展成为当代物理学中最活跃的前沿分支学科;它是光学与电子学相结合的产物,主要研究光与固体中电子相互作用以及光能与电能相互转换的科学。光电子学是以激光为光源,以近代光学、量子力学为基础,以国计民生为广阔的应用背景,在国民经济与国防军事上的地位与日俱增。值此世纪之交,社会正迈入信息时代,光电子科学技术在各行各业中正扮演着日益重要的角色,可望成为当代新技术革命的主流。

科学研究中谱新篇

一个多世纪来,人们对光的认识经历了从经典到量子这一漫长的认识过程。其中颇有建树的是19世纪麦克斯韦的经典电磁理论和本世纪初爱因斯坦提出的光受激辐射和吸收理论。这些理论奠定了近代光学的基础。1960年,世界上第一台激光器由美国科学家梅曼研制成功,使人类首次获得一种高转换效率、高单色性、高相干性光源,标志着人类对光学认识的一次飞跃、对光能的掌握和利用进入了一个新纪元。鉴于激光的简并度比普通光源高十几个数量级,在研究光与物质(含生物体)相互作用时势必发现新现象,遇到新问题。由此促进了物理学、化学、生物学和医学的进展,并开辟了若干新的边缘学科,例如激光化学、激光生物学、激光医学、激光生物医学物理学等。当今科学技术的蓬勃发展,大大改进了激光器的性能:激光输出波长几乎复盖了从X射线到毫米波段,其中相当一部分连续可调;脉冲输出功率达 10^{19} W/cm²;最短的光脉冲达fs(飞秒, 10^{-15} 秒)量级。激光把原子物理、分子物理、化学动力学等分支学科推进到新的阶段,开创了非线性光

学、激光光谱学、量子光学、信息光学等新学科。自70年代起晶体生长和外延生长技术不断改善,激光晶体,以III-V族为主的化合物半导体研究取得突破性进展,固体、气体、染料等激光器相继问世并不断更新换代,为不同部门的应用创造了条件。基于日臻成熟的半导体平面工艺、集成电路、集成光学和薄膜光学之上的光电子学及技术也由于激光技术的渗透与结合,涌现出更多的新工艺、新技术和设备,为光电子器件的制备奠定了良好的基础。

作为现代高科技重要组成部分的光电子技术是集光学、电子学、微电子技术之大成,发挥在信息捕获、信息加工(存储、处理、显示)、信息传输等方面的优势,成为现代物理学中应用前景广阔的重要分支。例如,研究物质中超快速量子现象、化学反应中的瞬态过程、生物体中的微观动态、极端条件(超高压、强电磁场、极高温、最大光功率等)下的物化效应等。有些科学仪器与设备要求元器件材料尺度之精细与光的波长同量级,纳米材料及纳米科技则适应这种苛刻要求。由于器件微小,加工精度很高,激光技术便大有用场,它有助于微电子工艺革新,可用于研制各种功能的新型光电子器件。光电子集成技术(OEIC)就这样应运而生。OEIC技术是取固体电子器件、光波导、精细加工之所长,开拓了超高速、超大容量、智能化的光通信、光计算机的应用前景。

根据光与物质的相互作用规律,特别是由于物质可以控制和改变光的状态,光也可以改变物质的形态,光电子科学技术研究的范围与应用领域,大至宇宙空间,小到物质的微观结构,牵连的学科领域之多,与之相关的应用广度之宽乃令人惊叹。科学实验中以光电子技术装备的各种测试、分析、监控仪器和设备,不管是在测量精度和灵敏度上,还是在自动化程度上

都是无可比拟的;尤其适合采集数据、处理信息与图像、计算繁杂庞大的数字,具有快速、高效、准确等特点。值得一提的是,用激光为光源来探究光与物质相互作用而产生的热作用、电磁效应,光动力学过程可以使材料改变和提高性能,利用光化学反应可以合成新物质、生产高质量晶体薄膜和超导薄膜。另一方面,借助激光上述物理效应,作用于生物体形成光刺激,丰富了人们对生命物质、肌体、组织及细胞运动规律的了解,使激光在基础医学研究,诊治疾病和预防保健方面大有作为。

信息革命中树丰碑

社会的发展推动了科学技术日新月异,科技的成果又促进了经济的繁荣。人类迈向信息时代,面对着内容繁杂、数量庞大、形式多样的日趋增殖、爆炸的信息,迫切要求信息处理(包括转换、存贮、分析、显示)、信息传输技术从原来依赖于“电”行为,转向于“光”的行为,以便即时、快速、准确地获得有用信息。对此,传统的电子技术显得无能为力。等到21世纪,面对高度发达的社会,智力和信息将成为社会的重要资源。社会的变革和发展也有赖于知识和信息。知识和信息将成为决定生产力、竞争化、综合国力的关键。信息化社会以计算机为核心,以通信为纽带,把家庭与社会联成网络,把区域性与外部世界连为一体。以知识、智力为中心的一系列科学技术和信息产业,其中材料是基础,能源是先导,微电子技术是关键。光电子技术以自己优异的性能旨在促进生产自动化、办公现代化和生活电气化。同时,光电子科学本身会日臻完善,跃居为物理学的带头分支学科。

光电子科技最杰出的成果是在光通信、光全息、光计算等方面,它直接关系到人类的进步和社会的发展。光电子技术主要是光电转换及其应用,其主要产品与设备复盖光学和电子学等领域。如在精密测量与计量、红外探测,宇宙航行、激光雷达、红外夜视、卫星遥感遥测、空中侦察、自动化生产、科学研究以及家用电器等方面。60年代开始提出、70年代迅速发展的光通信,具有容量大、抗干扰强、保密性高、传输距离

长的特点,它已成为当代通信技术的佼佼者。光通信是以频率单纯、相位单一的激光为光源,以低损耗的光纤为传导,激光基频高达 $10^{13} \sim 10^{15} \text{ Hz}$,比微波频率高几个数量级,比电通信容量大10亿倍。一根头发丝的光纤可传输几万路电话和几千路电视;20根光纤组成的光缆(约铅笔杆粗)每天通话可达7.6万人次。光通信开辟了高效、廉价、轻便的通信新途径,弥补了现有微波同轴电缆、越洋卫星通信容量的不足。近期光纤通信干线主要用于综合业务数字网、信息的数据传输以及闭路电视、可视电话、传真和广播等。90年代是通信技术大发展的高峰时期,在80年代窄带综合业务数字网(N-ISDN)基础上迅速向宽带化、智能化、个人化方向发展,以实现多媒体宽带综合业务数字网(BIN-ISDN)。

建立全国性信息网络已引起世界各国的关注与重视。美国政府自1993年正式宣布实施“国家信息基础设施计划”即“信息高速公路”后,引起世界范围的强烈反响,欧洲、日本、新加坡、韩国等纷纷制定了发展计划,他们把发展信息高速公路当作振兴经济、赢得竞争的重大举措。为此,各国竞相投资光通信项目,促使近几年来长距离海底光纤光缆通信进展迅猛。迄今,一个几乎环绕全球的光纤通信系统工程一连接伦敦、纽约、东京、汉城及东南亚的海底光缆,把欧、亚、北美、大洋洲的通信联为一体。现横贯大西洋越洋光缆有2条,太平洋海底已开通使用2条。1987年全世界光纤总长度仅450万km,而今超过1000万km,相当于地球月球间距离的26倍。我国光纤通信近年来发展神速。国家八五重点工程的南方沿海光缆干线2800km已于1992年开通,连接沪粤沿途5个省(市)72个城市,现开通5千—1万路电话。现国内最长的横跨大西北的2976km光缆干线年底可望竣工。今后拟建以北京为辐射中心,纵穿西部、横贯东西、环绕沿海,连接中西部光缆的骨干网,将陆续建成22条总长3.2万km光缆干线并同国际接轨。现正建设的“三金工程”(金桥、金关、金卡),拟借助传输速率为2Mb/s的“中速信息国道”的金桥而启动起来。

光纤通信属于当代信息社会高科技范畴,它的每一步进展都是与光电子科学技术的研究成果紧密相连的。现有的光通信,使用的石英玻璃光纤的零色散波长是 $1.3\mu\text{m}$, 传输速率为 2.5Gb/s 、中继距离为 $30\sim 40\text{km}$ 。未来将使用 $1.55\mu\text{m}$ 的石英玻璃光纤最小损耗波长,传输速率和中继距离都将提高一倍。今后的光纤通信,为了继续扩大传输容量,延长中继距离,形成网络化,拟向相干光通信、光孤子通信迈进;同时,进一步开发超长波($2\sim 5\mu\text{m}$)超低损耗光纤,应用多纤光缆、波分复用技术以提高利用率,进一步与计算机相结合,建立综合业务网络,实现网络化全光通信的宏伟目标。

经济发展中创辉煌

当前激烈的国际市场竞争,归根结底是科技的竞争、经济实力的较量。以光电子技术为主导的光机电一体化产品是高新技术的结晶,它的应用遍及国民经济各个部门、深入到千家万户。包括光电子科技在内的高新科学技术,80年代以来被许多国家列为重点投资的战略发展计划。具有诱人前景的光通信和光计算机是美国“星球大战”计划和欧洲共同体的“尤里卡计划”之核心;经互会成员国“2000年科技进步综合纲要”,日本、独联体等类似规划也相继出台。高技术竞相追逐、蓬勃发展,不断地向社会各领域扩展、渗透,猛烈地冲击着传统的生产方式和产业结构。这必将导致生产力的飞跃发展,从而对世界经济、科技和社会等方面产生巨大而深远的影响。

目前,光电子科技成果正迅速转化为生产力并急剧地开拓各种市场。美国、欧洲市场情报公司(MIRC)一份报告说,全世界光电子元件和显示市场的年收入,1986年为44亿美元,1989年增至82亿美元,1990年达156亿美元;1993年全球光电子产业市场规模可达660亿美元,预计1997年增至840亿美元,本世纪末达到1050亿美元,平均年增长率为7%。光电子技术为主的信息产业,1982年全世界的产值为2370亿美元,1988年上升到4700亿美元;在国民经济生产总值中的比重:美国为32%,

日本是36%,美、日两国的对峙取代了原来美、日、欧三足鼎立的局面。发展中的亚洲“四小龙”更是奋起直追。台湾早在1982年就把光电子技术作为“八大策略性科技”并当作科技升级的一项“国策”,重点投资64亿新台币(折合2.4亿美元)拟建光电子实验室,吸引华裔的美日光电专家回台研究开发,促使其光电科技成绩斐然;不少光电技术产品在海外享有盛誉、出口创汇。1990年仅光电技术设备出口就达8.3亿美元,比1985年增长一倍,跻身于世界重要出口商之列。在发展光通信方面,“四小龙”也不甘落后,台湾铺设了10万km光纤网络;新加坡光缆线路遍及全国,计算机全面投入使用,向建成光纤化城市和高“智慧岛”迈出一大步。

以光盘为代表的信息存储技术是光电子技术的新秀,它以信息存储量大、时间长、易操作、保密性好、低成本而受到欢迎。光盘存储量是一般磁存储量的1千倍,一张 $\phi 18\text{cm}$ 的光盘可存储3年《文汇报》内容。光存储现已扩展到视像和音响,具有保真度高、频带音域宽、立体声强的特点。利用光学方法处理浩瀚的信息、对追捕的信号、目标进行分析、识别和跟踪,这引起各国极大关注。美国已把它列入星球大战计划,并装备在巡航导弹、高空飞行器上,配合先进的计算机对目标比较和判别,已在海湾战争中显示出优势。作为信息高速公路的三大基本要素,除了要有通信容量大、传输速率很高的光通信系统和高存储密度的光存储器外,还要有超快速的计算机及其网络。因此,新一代的巨型计算机、智能计算机和光计算机的研究与开发,已成为国际高科技竞争的又一热点。为满足各种实际需要,旨在提高运算速度的超速巨型计算机相继问世。日本富士通公司研制每秒运算速度为1245亿次,美国克雷公司推出大规模并行系统每秒1500亿次浮点运算,创造1993年新记录。光计算机近年来的研制也不断推陈出新。三菱公司不久前研制每秒20亿次模拟神经卡,为光计算机、智能机展示了美好前景。人们深信,光电子技术在未来的“21世纪——光的世纪”,将更为辉煌。