

自然科学学科发展战略研究之六:光学和光电子学(下)

Strategic Research on Natural Science Disciplines: Optics and Optoelectronics (Second Part)

国家自然科学基金委员会

六、生理光学

生理光学是研究人和动物眼睛的光学和视觉的科学,它是光学与生物科学交叉产生的边缘学科。最初对生理光学狭义地理解为它是研究人和动物眼睛的屈光系统,以及为周围的环境照明及目视光学仪器设计而开展的视觉生理特性的研究。随着科学技术的发展以及科学之间的相互渗透,如今对生理光学则广义地理解为它是研究生物视觉系统与环境的相互作用,以及具有智能的视觉系统对外界光信息进行加工的科学。

当前科学技术已对具有智能的机器以及新的一代计算机提出了迫切的需求,而人和动物的大脑及视觉系统是世界上最复杂、最有效,且具有智能的信息加工系统,因此对大脑以及视觉信息加工的研究越来越受到人们的重视,已形成一个多学科相互交叉与渗透的学科领域。

人和动物的视觉系统(包括眼睛和大脑)是一个具有平行加工能力的、实时处理大量空间和时间信息的智能信息处理系统。对人和动物视觉系统信息加工的研究不仅有重大的理论意义,而且对发展生物传感器、生物医学工程和智能机等高技术有重大的实际意义。

近年来神经网络的研究及其应用已引起国际学术界的广泛兴趣。我国在神经科学领域中关于大脑与视觉系统的信息加工以及神经网络方面的研究已有一定的基础。根据学科的特点和发展,应加强对有重大理论意义和应用前景的前沿研究课题的支持。如:人和动物视觉系统的智能光学信息加工研究,以及环境及物理因素与视觉相互作用的研究。

七、光信息处理

光学,由于其并行、高速和可交叉互联等特性,在信息处理中与计算机图象处理互为补充,甚至在某些处理中,由于其具有独特的优越性,受到人们的极大重视。

模拟光学计算机具有大信息量和并行快速的特点,已在光学信息的许多领域获得了应用。近年来对光电混合的模式识别系统研究,以及对具有记忆、识别及复原等功能的光学神经网络系统的研究取得了重大突破和进展。

数字光学计算的研究不仅是为新一代全光或混合计算机的实现作技术准备,探索各种可能的体系结构、算法,并对光学逻辑元件质量改进提出指导性意见。此外,数字光计算技术还可用于光通信。

根据对国内外情况的分析,在光学模拟计算方面的中、近期战略目标应是:建立一个实时、高速、具有实用功能的光电混合系统的原理性样机,逐步使其在国防、工业自动化、机器人视觉及智能计算机等领域得到应用。研究由空间光调制器、光学存储元件、阈值元件以及微型计算机构成的光学神经网络系统。

在数字计算方面,应首先加强软课题的研究,在算法与结构上下功夫,争取突破现有电子计算机的思路,重点发展二维光计算技术,将符号变换与矩阵运算作为主要研究方向。

在光互连的研究上,应首先将重点放在电子计算机中芯片—芯片、处理器—处理器、系统—系统的连接上,并逐步考虑光计算中的需要。

八、导波光学

导波光学主要研究光在波导中传输、耦合及与外场相互作用引起的各种物理现象和以此为基

础的光波导器件。它是集成光路、光纤、光波导传感器等设计和制造的基础。

激光的出现,带动了光通信、光信息处理与光传感等各种新技术的发展。然而庞大的体光学系统难以实现对光波的有效引导和控制,集成光学为光波传输与处理提供了理想的波导结构形式。

光波导把光束截面约束在光波长量级的范围内,同时光束在波导薄膜表面传输,能有效地与外场相互作用,使器件具有信息容量大、速度快、功耗低、体积小、易集成和稳定可靠等优点。

根据学科发展并结合我国的研究基础与实际需要,应重点开展如下几方面的研究工作:光波导传输理论与互连耦合,波导电光、声光、磁光和热光效应,光波导传感技术与器件,半导体导波器件物理及集成化关键技术,非线性导波光学,以及光纤非线性基础研究。

九、光电子器件

光电子器件是指以光电转换为主要形式完成信息或能量转换的功能性器件。

1. 光源器件。主要是指相干光源和非相干光源两类器件。近年内应研究发展可调谐、窄线宽动态单频半导体激光器,大功率锁相阵列半导体激光器,半导体光放大器,量子阱光电子器件(包括极低阈值单模半导体激光二极管、量子阱皮秒激光器等),Si基片生长GaAs、InP材料及器件,高速调制和超短脉冲激光器,中红外激光器以及光纤(包括掺杂光纤、晶体光纤等)激光器与激光放大器等。

2. 光电子控制器件。包括光调制、光偏转、光开关及光双稳态器件等。近年内应研究发展超高速开关器件和低阈值功率器件,探索具有高非线性系数的材料结构,发展无腔结构器件和空间双稳态器件。

3. 光电子探测器件。近年内应以研究Ⅲ—V族化合物半导体及其超晶格材料的光电子器件为重点,研制实用化的超高速、高可靠性的光电二极管及其组件;以HgCdTe材料为主导,以焦平面阵列器件为重点,研制长线阵、大面阵、双色多元实用化红外探测器件;以研究超高度集成CCD为重点,研制集成度 $>10^6$ 象元、分辨率 $>201/\text{毫米}$ 的彩色实用化CCD。

4. 光电子显示器件。近、中期应重点开展液晶材料及其物理、非晶硅材料缺陷与TFT器件,以及高清晰度彩色液晶显示器件及技术的研究。

5. 光电子集成器件(OEIC)。从基础性研究的角度考虑,近年内应开展的课题有:OEIC新功能芯片设计,新功能光栅器件研究,OEIC光学、电学器

件工艺兼容性研究,Ⅲ—V/Si异质生长研究,OEIC中导波光传输物理问题研究,量子尺寸光器件物理研究。

十、新型激光器

虽然有可能形成上千种不同的激光器,但实际上其中仅很小一部分性能优越或独特的品种得到发展。

CO₂, Nd:YAG, Cu, XeCl, KrF等一类激光器应用广泛,是由于它们在该波段具最高效率而且能获得高平均功率。这两点对实用是最重要的性能。寻找优于它们的激光器是十分有意义的。材料加工或激光对抗之类应用都要求将平均功率作到千瓦以上。

染料激光由于其波长连续可调而有利于光谱研究及选择激发(如分离同位素之类)。固体可调谐激光可能会优于染料激光。远紫外和红外可调谐激光也很重要,为此也许发展自由电子激光是最佳技术路线,它理论上又是高效率的。

高峰值功率且高光学质量的激光可导致高功率密度,如 10^{20} 瓦/厘米²,有利于强场下原子物理和X波段激光的研究。功率 10^{12} 瓦、脉宽小于1皮秒的激光器件规模不大,可在普通实验室建立。

以激光等离子体产生X波段激光已经有很大进展,为实现X射线全息则尚待改善其相干度。这对物质结构研究将是一个突破。自由电子产生X波段激光的可能性也值得探索。

近期应优先开展的前沿课题有:固体可调谐激光器,自由电子激光器,XUV和X波段激光器,高功率平均激光器,以及全固体化激光器。

十一、技术光学

1. 光学工艺与检测

近10年发展起来一种光学表面的机床精加工技术。最典型的是利用数控(或计算机数值控制)车床,配以特殊材料(例如金刚石)的刀具,直接(或接近最后完成)制成光学表面。

计算机数值控制(CNC)技术是目前最新的光学加工技术。它控制车床,不仅可以制出球面和非球面的光学表面,而且可以制出一些形状异常复杂的光学玻璃元件。

用什么办法把制好的光学表面准确地测量出来?古老的干涉测量法已经无法满足这种要求,原因是无法制作一个标准的非球面。采用全息术之后便可以避免这一问题。计算机产生全息图的光学测试方法可以迄今最准确的精度测量非球面的波前。

本领域应重点支持的研究项目如下:

(1) 建立高精度的光学平面基准, 精度在 $\lambda/200$ 以上, 并建立一套有效的加工工艺过程及检验方法与设备,

(2) 计算机辅助抛光技术,

(3) 高次非球面及各种特殊形状非球面的加工与检验,

(4) 光学检验数据处理软件包的建立。

2. 薄膜光学

当前薄膜光学领域的研究工作以把薄膜的光学和机械性能提高到块状材料的水平为目标, 探求薄膜的工艺参数与薄膜的微结构的关系以及薄膜的微结构与薄膜的宏观特性之间的规律性联系。具体的研究方向是:

(1) 光学薄膜淀积的离子束技术。利用高能Ar离子轰击靶材, 在基板上得到致密的、具有极强附着力和极低光学损耗的光学薄膜的离子束溅射, 以及近年正在发展的低能离子镀技术, 是值得引起重视的。可望制备高质量的接近于块状材料的光学薄膜。

(2) 光学薄膜的成核、生长和微结构的模型。近10年来已经先后提出了多种薄膜生长和微结构的理论模型, 并进行了计算机模拟。国内应鼓励开展薄膜生长和结构的理论模型同实验的比较研究。

(3) 薄膜特性的检测和微结构分析。为了改进薄膜的淀积工艺, 薄膜特性的检测和微结构分析是不可或缺的, 除了精确测定薄膜的透射、反射和光学常数以外, 可靠地测定薄膜表面的微粗糙度等统计参数以及晶体结构、化学组份等是必不可少的。

3. 工程光学

光学系统的设计理论和实践是工程光学最基础的内容之一。本世纪60年代开始用计算机, 起初是储存程序式, 近10年多采用人机对话式。近两年, 人工智能技术引进了光学系统的计算机设计。

近年来, 大型光电工程的发展对工程光学提出了特别的要求。以定向能武器为代表的新的武器技术, 要求光学发射系统的口径达10米, 能够自动校正大气湍流、热晕、系统自身的热变形和重力变形, 以及制造误差等, 使能量集中程度接近衍射极限; 要求对几千公里以外的目标进行捕获、识别、跟踪和瞄准, 精度达到 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ 弧度量级; 要求系统能快速从一个目标移向另一个目标, 其再瞄准时间在1秒左右。还有微电子光刻设备, 要求定位对准精度达到几十纳米量级。而这些精密跟踪定位技术, 无论是 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ 弧度的角定位, 还是 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ 米的线定位, 都要求在动态过程中自动实现。

口径达几米的大型光学系统如用整块镜面制成, 是很难保证精度的。因而用以小拼大的方法由许多小镜面组成公共镜面, 或由多个较小的光学系统组合成大系统可以解决这一困难。这些都是靠传感器和执行元件通过控制系统调节光学面形或相位的技术。

4. X射线光学技术

近一二十年来, 由于同步辐射的广泛应用, X射线望远镜和X射线显微术的发展, 高温等离子体和X射线波段激光的研究, 以及超大规模集成电路光刻向短波长发展的需要等原因, 激发了X射线光学研究从长期沉寂而走向复苏, 开辟了X射线在各部门科学领域的各种可能应用。但用于可见、红外、紫外的透镜和反射镜都不能用于这个波段, 因此, X射线波段的开拓, 需要解决许多光学技术问题。

根据国际发展现状和我国尚处于起步阶段的特点, 近期内应重点支持的研究项目有: 多层膜X射线光学元件研究, X射线超光滑光学表面的加工与检测, X射线波段物质光学常数(n, k)及光学元件反射率、透过率、偏振度等测量, 同步辐射X射线计量标准和传递标准的建立, 以及X射线光源及探测器研究。

十二、光学材料与光功能材料

光学材料与光功能材料研究的内容是: 研究在特定波段内具有良好透过、反射、吸收、传输特性, 以及具有发光、激光、光电、光声、光磁、光存储及其他光功能特性的新系统、新材料、新工艺; 研究上述材料的组成、结构、性质变化规律, 改进现有材料性能, 开拓新型光学与光电子学用的玻璃、晶体和功能材料。

光学及光功能材料近期应优先开展的课题有: 光谱极限吸收与色散, 二次色散与组分关系, 稀土和稀有元素的光学性质, 低热光系数、声光、磁光材料研制, 光功能材料的能量转换及失效机理, 光计算、集成光学、光电功能转换元件的非晶及超晶格材料研究。

激光材料近期应优先发展的课题有: 激光参数与材料基质及结构的基础研究, 材料破坏及失效过程机理、金属和有害杂质消除方法等研究, 能量传递过程及敏化机理研究, 新型高功率材料、可调谐材料的研制, 建立光功能材料数据库。

非线性材料近期应优先开展的课题有: 非线性与材料的化学组成及结构关系, 扩展调谐波长范围(特别是短波长区)的低阈值材料并发展有机及非氧化物材料, 提高材料对高平均功率激光的破坏强度、解决大尺寸晶体生长技术, 合成多层电

(下转第4页)

美国的SPEAR和德国的DORIS), BEPC是世界第一。因为BEPC的亮度是SPEAR和DORIS的5倍以上。这一成就的取得首先要追溯到1979~1983年间, 在邓小平的赞成和支持下, 开始培养人才。有40多位学者被派往美国的22所大学和高能物理实验室进行了全面训练。在海外, 这些学者被称为李政道访问学者。1982年, 我和Panorsky提出了建造北京正负电子对撞机的建议。1984年10月7日, 邓小平亲自为BEPC奠基。四年后的1988年10月16日, 正负电子对撞成功。1990年1月, 它的探测器北京谱仪(BES)开始工作, 到现在已采集了八百多万J/ ψ 粒子的事例。现在有40多位美国科学家先后到北京在BEPC上作实验。不仅如此, BEPC也产生高能同步辐射。此外, 从1987年起, 就有高科技产品出口到美国的布鲁克海文和斯坦福国家实验室, 以及韩国等等。值得特别指出的是, 整个BEPC都是祖国的科学家在祖国的土地上自己建造的。

中国高等科学技术中心在意大利政府、中国国家计委、中国科学院、中国国家自然科学基金委员会共同支持下, 取得了很多成果。1989~1991的三年间, 其成员在国际一流期刊上发表了786篇论文, 组织国际学术研讨会12次, 国内学术活动33次, 参加这些学术活动的人数和时间相当于1 325人在中心各工作一个月。自1990年秋季开始, 我们邀请在海外的中国优秀青年学者回国讲学和进行学术交流, 现已有19人次。

所有这些以及其它科学上的成就都应归功于政府对高科技的重视, 中国国家自然科学基金经费的逐年增长清楚地表明了这一点。1990年的科学基金比1989年增长了14.2%, 1991年则增长了16.5%, 而1992年比1991年又增长了28%, 增长率是很快的。现在的问题是, 如用国际通用的研究与发展经费和国民生产总值比较, 美国约为2.8%, 日本比美国大两倍, 而中国仅为0.72%, 说明中国的研究和发展的投资是很低的。由于中国的国民生产总值比较低, 科学经费投入强度更显得低很多。如果把中国国家自然科学基金的支持强度和我们哥伦比亚大学物理系所获纯研究的经费相比就更清楚地说明了这一点(见表1及表2)。在祖国目前这样困难的情况下, 中国的科学基金能作出这样的成绩是非常令人钦佩的。但是, 要发展将来, 尚需继续加强基金的增长率。应随着国民生产总值的增长, 逐年增大国家自然科学基金的投入强度: 如按1993年增长35%, 1994年增长40%和1995年增长45%的速率, 预期将取得更多的研究成果。这是因为, 在目前中国研究经费的支持强度范围内, 研究成果的数量与经费并不是简单的正比关系, 而可能近于与经费的平方成正比:

即经费增长一倍, 成果增加成以前的四倍; 经费加两倍, 成果增加至九倍。保持科研经费的持续增长是极为重要的, 是不可忽视的。只有这样, 才能使中国科学更进一步地得到发展。

表1 1992年中国国家自然科学基金支持总强度与美国哥伦比亚大学物理系所获纯研究的总经费对比

1992年	教授 (termed)	其他科研人员 (研究生、博士后等)	(纯)研究经费
哥大物理系	17人	41人	800万美元
受自然科学基金支持的中国科学家	6万人	2万人	2.26亿人民币 (约4000万美元)

表2 中国国家自然科学基金支持的人均强度(研究经费/研究员)与美国哥伦比亚大学物理系所获纯研究的人均经费对比

	中国自然科学基金	哥大物理系	比例 (%)
教授	约3700人民币 (684美元)	约47万美元	1.46
教授加博士后、研究生等	约2825人民币 (514美元)	13.8万美元	3.72

(《中国科学基金》编辑部供稿)
(责任编辑 刘先曙)

(上接第37页)

介质膜及有机薄膜非线性材料, 根据分子模型、计算方法及非对称中心取向排列等理论开展材料普查与测试。

我国的光学研究有较好的基础, 但由于过去对基础工作重视不够, 理论和技术储备不厚, 以致大多数科研工作处于向国外模仿的状态, 很少独创。因此, 必须加强基础研究和应用研究中的基础性工作。到本世纪末, 光学与光电子学领域总的战略方向是: 建立一支结构合理、精干和稳定的光学和光电子学队伍, 在多数领域基本上跟上国际的研究水平, 解决国内发展中的重要科学问题, 推进光学和光电子产业发展, 在少数领域形成优势, 重点突破, 处于国际领先地位。

属基础研究、探索未知、认识科学规律的项目, 不能急功近利, 不能用是否有重大应用前景和经济效益作为设题判据; 属应用基础研究的项目, 有明确的应用目标, 但属原理性研究, 不应强调直接的经济效益, 使基础研究与应用基础研究有一个全面的、持续的发展。

(责任编辑 刘先曙)