

光子学与光子技术

林敬与

(北京航空航天大学数理系 北京 100083)

在国外“光子学”概念的提出,大约可追溯到20多年以前.早在1970年,在一次国际高速摄影会议上,荷兰科学家波德沃尔特(Poldervaart)首次提出“光子学”(Photonics)一词,并予“光子学”以定义.认为“光子学”是研究“以光子作为信息载体”的科学.事实上,激光二极管的问世,使光子替代电子,成为信息的载体,并促进了光子学的形成.需要指出的是:欧洲以及其后的美国,在促成光子学形成方面表现出极大的兴趣和热情.早在1973年,法国就召开了光子学国际会议,同一年荷兰将原来的“摄影、光化学、光物理学会”合并组成“光子学会”,并于1975年召开了全国光子学会议.经过多方组织和酝酿,欧洲光子学会于1978年正式成立了.其后,一些国际性学术刊物和会议纷纷更名,例如,美国光学学会的会刊“光学通信”改名为“光学与光子学通信”,另一个杂志“光谱”改名为“光子学集锦”.1992年在意大利举行的国际非线性光学会议正式更名为国际非线性光子学会议,等等.此类情况不胜枚举,就连美国的光学学会也受到多方压力,试图更名为光子学会.在我国,1992年,出现“光子学报”(由“高速摄影与光子学”杂志改名),1993年,原名“应用激光联刊”改名为“光电子·激光”杂志;1994年在上海召开了“全国光子学专题研讨会”.1995年,原来的“国外激光”杂志也改名为“激光与光电子学进展”.一些专家认为“光子学是电子学、光电子学发展的高级形式,是科学发展的必然与飞跃”.

对“光子学”这一概念,目前大致有两种理解.其一是狭义的理解(或称狭义光子学),认为它只研究光子承载的信息的传输、变换与处理等基本物理问题;另一则为广义上的理解(或

称广义光子学),认为它除了研究上述问题外,还包括光与物质的相互作用问题,以及光与激光的产生、传播、探测等问题,基于后一种理解,光子学应包括以下众多分支:光谱学与激光光谱学、非线性光学、量子光学、激光物理、光电子学、导波光学、信息光学、以及光化学、光生物学等,从波及的方面来看,几乎包揽了光学、光电子学的大部分内容.美国著名光学专家巴哈(Bahaa)及马尔非因(Maivin)在他们的专著“光子学基础”中,按照自己的理解,认为光子学是以“控制光子”为研究对象的一门新学科,其研究内容应包括:由激光器发射的相干光,由发射光源(如LED)发射的非相干光;光通过光学元部件或通过自由空间的传播;借助电的、声的以及光的控制器件对光进行的调制、开关与扫描等;利用光与物质的相互作用实现光的放大、变频以及对光进行的探测等等.实际上,光子学理论是以“光具有波粒二象性”为出发点,以经典电动力学和量子电动力学为理论基础的.巴哈等人提出,光学的发展历史,光学理论发展的“主线”或基本组成部分是:射线光学、波动光学、电磁光学、光子光学,其最高形式光子光学又是量子光学的一部分,他们认为:“通过量子电动力学引入一些简单关系,可以导出很多量子力学特性,表现出电磁及能量的微粒性、局域性和涨落性等等,这一系列结果我们称之为光子光学”.

光子学的发展,迅速地产生许多十分有用的光子技术与光子工程.大致从80年代初开始,一些科学先进国家的光学科学与技术工作者不断地调整研究方向,花大力气,致力于光子技术的开拓工作.十多年来,他们在这一开拓中取得了显著的成效.主要有:光谱分析与激

光光谱技术、红外与多光谱遥感、激光测距与雷达、激光稳频与波长计准、激光计量与检测、激光器设计与制造、激光医学诊断与治疗、激光通讯、激光分离同位素、光纤传感、光诱导化学反应与气相沉积、激光全息、光记录与光盘技术、光学信息处理与光计算、激光材料加工与处理、激光育种与遗传变异等。

光子学是与电子学平行的一门学科。电子学的应用是电子技术，光子学的应用是光子技术，我国著名的光学专家王大珩先生讲过一句话“如果说光有 a 种特殊的功能，电有 b 种特殊的功能，当把光和电结合使用时，其综合功能不是 $a+b$ 种，而是 $a \times b$ 种，这就大大增加了应用途径”。光与电的结合，光子技术与电子技术的结合（光电子技术），应当是技术的一个发展方向。

1991年初的海湾战争是第二次世界大战结束以来规模最大的一次局部战争。在那场激烈的高技术战争中，星载多光谱相机、机载红外前视、激光制导炸弹、坦克红外夜视和激光测距等一大批光电装备扮演了十分重要的角色。

光电子技术在现代高技术战争中的作用可归纳为四个方面，即：

1. 看得更清。包括高空和地面侦察、夜视、光电无源传感。
2. 反应更快。包括光纤传输、光信息处理、光武器等。
3. 打得更准。包括光电火控、光电制导等。
4. 生存力更强。包括光电子无源传感、无电磁辐射和不怕电磁干扰的光纤传输等。

光电子技术的这些作用不仅表现在单台装备或平台上，更集中地表现在大大提高战术和战略指挥、控制、通信和情报能力上。美国国防部关键技术计划（1992财年）的投资预算，在21项关键技术中，光电子技术（含光子学、部分无源探测和高灵敏度雷达的一部分）竟占了十分之一，可见其重视的程度。当然，在光与电的结合中，光子和电子其各自的地位正在发生着变化，原来以电子为“主角”或与光子“平分秋色”的一些器件、系统及其应用，逐渐被相应的以光

子为“主角”的器件、系统及其应用所代替。例如，在信息技术发展的以往的40多年中，微电子技术一直是它的开路先锋并构成了信息技术的支柱技术。固然，微电子技术在信息技术中的这种几乎独一无二的支柱地位还会延续一个时期，或许一、二十年，或许更长些。然而情况已在发生着变化。早在80年代初，国际上一些科技工作者指出了纯粹电子技术发展的局限性，即纯粹电子型的集成电路在进一步提高其集成度与运行速度上将变得越来越困难，已显出它的极限性；同时，基于前一时期的激光技术与光通讯技术的发展情况，预示了一场“光子学的技术革命”即将兴起。经过80年代的10年的发展，这一观点已为愈来愈多的人所接受，已有相当多的一批科技工作者已投入到这场新的“光子学的技术革命”中去。近来人们开始使用“全光（All-Optic）”这一新词汇。例如，全光通信系统、全光光开关（或称光子开关）等。

目前电子器件及其系统的响应时间最快只能达到 10^{-9} s（即 ns）量级，而光子器件及其系统的响应速度则远比其高，响应时间可达 $10^{-14} \sim 10^{-15}$ s（即 fs）量级；光频在 $10^{14} \sim 10^{15}$ Hz，而且激光束的频宽可窄至 10^3 Hz，因而即使在微米级的光纤内，也能传送大量的信息（ $> 10^{12}$ b/s·km）；加之承载信息的光子又具有可大规模互联与并行传输等许多优异的特性；使用现代光学技术如光谱烧孔、体全息术可能实现三维信息存储，在这些方面电子确实不如光子。利用光子学的优越性和电子学的成熟性相结合，将给我们带来巨大的益处，这是当今人类社会的可贵财富。

光电子工程是科学家们预言的21世纪三大产业之一。（其他的二个产业是生物工程和材料科学。）

随着21世纪的到来，人类即将进入一个科学技术发展的新时代——信息时代。信息技术成为现代科学技术中的关键技术。计算机和通讯技术是构成信息技术的二个核心内容。专家们预言：计算机和通讯研究及发展的未来世界是属于光子学领域。光子技术将是推动今后信

激光控制原子运动

黄 青

(中国科学院安徽光学精密机械研究所一室 合肥 230031)

众所周知,运动是物质的基本属性,运动是绝对的,静止是相对的.对于物质运动表现可以划为两种类型:有规运动和无规运动.在物理学中无规运动即热运动,在不少情况下是力图克服的.对于质量较大的粒子,如原子,热运动一旦极大削弱其量子波动性就表现出来,这成了当今物理学家追求的一种趋势.但怎样才能控制原子的运动,使其无规性得以克服呢?显然必须靠力的作用.广义地说,力是作用,而这种作用无非表现为吸引和排斥.吸引和排斥是物质运动的源泉.如何运用这种作用则是控制物质运动形式的关键.

控制原子运动有其困难性和特殊性.由于原子不带电荷,因此不能像电子、离子一样用电磁场控制其运动;但正因其电中性,它也不受杂散电场干扰.当然控制原子运动使其处于超低温,也因为它与中子相比物质波波长短且它的选择多样性和无放射性等优点.在此基础上已经发展起来一门新学科:原子光学.

激光自1960年发明以来因其高亮度、单色性、方向性一直受到科学家的重视并得到广泛的运用.体现在原子运动的控制上利用的是它的较大的光压冷却、捕获、操纵.关于冷却原子的发展简史如下:1968年V. S. Letokhov首先提出用激光驻波捕获原子的思想,并提出激光陷阱的概念.1975年斯坦福的Hansch、A. Shawlow以及华盛顿的D. J. Winelan和H. Dehmelt(Dehmelt, Ramsey与另一位第一

息时代发展的主要动力.如果说,光子学及光子技术的出现标志着当今的信息科学已开始步入“光子时代”,也就是说,把21世纪称为“光子时代”是并不过分的.因此,我们有必要发挥基础学科的先导作用.特别要组织好多

个做成中子陷阱的德国科学家W. Paul获1989年度诺贝尔物理学奖)分别独立地首先提出激光冷却原子的建议.从此,用激光控制原子的运动成了各国物理学家致力研究的现实的目标.1978年美国贝尔实验室A. Ashkin等用激光光压梯度力首次实现原子束聚焦;1979年莫斯科光谱所V. I. Balykin等首次用激光使Na原子束减速.到1980以后,这方面的研究得到了充分的发展,特别值得一提的是1985年贝尔实验室的S. Chu等首先把原子冷却到 $240\mu\text{K}$ (当时的理论极限)并囚禁在“光学糖浆”中达0.5秒;1989年斯坦福的M. A. Kasevich、S. Chu等用更复杂的技术做成Na原子束喷泉,得到2Hz线宽的Ramsey信号,这对建立高时基意义重大.另外,美国的D. Pritchard, C. Wieman等,法国的Dalibard, C. Cohen-Tannoudji等人在实验上,尤其在理论上都有重要贡献.中国从事该方面研究颇有成绩的是上海光机所的王育竹.最近有关激光冷却原子的研究又取得重要进展,结合用蒸发冷却的方法,美国科罗拉多联合天体物理实验室(JILA)和国家标准技术局(NIST)已冷却铷-87原子到170nK,并在该条件下实现Bose-Einstein凝聚(BEC),麻省理工学院则冷却钠原子达 $2\mu\text{K}$,也完成BEC实验.这是实验物理上的一个重大突破.

一、激光场对原子的作用力

激光场本质上是电磁场.粒子(包括原子)

个学科:凝聚态物理学科、电子学科、光学学科、计算机与信息学科与材料学科的统一联合基础研究,为促进“光子学、光子技术”的发展,为新一代信息技术的兴起发挥开路先锋的作用.