

光学向光子学的开拓及其意义

张光寅

(南开大学物理系)

[摘要] 光学向光子学的开拓是现代光学的主要发展趋向。光子学着重光子与物质的相互作用和它的承载信息的能力。为了进一步完善光子学,必须发展微光子工艺技术。80年代中半导体激光器与光通讯的巨大进展已揭开了“光子学革命”的进程。可以预期,微光子与光电子技术与微电子技术的结合将在下一世纪产生出更高水平的未来的信息技术。

光学正经历着向光子学开拓的一个崭新时期。这是当今及今后一个时期光学发展的主流。它十分类似于本世纪上半世纪中电学向电子学的开拓,其科学与技术意义十分深远。

光学是一门较早发展的并在科学与技术的发展史中占有重要地位的学科,今后仍将是一个重要的科学技术领域。然而,在激光出现之前的一个较长时期内,光学的发展是比较缓慢的。相比之下,电子学的发展则是十分迅速,它在技术上的进展更是日新月异。特别是,微电子与计算机的应用迅速地扩及自然科学甚至社会科学的各个领域,并进入千家万户,对当代社会的发展起着十分重大的推动作用,这些都是电学向电子学开拓的结果。当前,光学向光子学的开拓也将会产生类似的影响。

早先的光学主要是利用各种物质的宏观光学特性,如光的折射、反射、成像与照明等特性,而未去深究其微观的物理原因。随着光学的发展,人们逐渐地转向于研究光子与物质(包括光子与光子)相互作用的微观特性,以及与这种微观特性相联系的光与激光的产生、传播和探测等过程;同时,也逐渐地注意研究光子承载信息的能力,以及它在承载信息时的变换和处理等基础问题。光学的这一新开拓的方面是一个十分宽广的领域,我们可以用光子学来概括它。

对光子学的范畴可作两种理解:一是狭义的,即对应于类似电子学的应用基础,它只涉及信息通过光子的承载、变换和处理等基本问题;二是广义的,除上述范畴外,还应包括光与物质相互作用的基本问题,以及光与激光的产生、传播和探测等基本问题,并涉及光子的本质与作用。我倾向于后一种理解。因此,光子学显然应包括如下一些光学分支:光谱学与激光光谱学、非线性光学、光化学、光生物学、量子光学、激光物理、光电子学与信息光学等。

由上述可知,实际上,光子学早已开始于本世纪初光谱学及稍后的光电效应的发现。但自1960年激光出现后方加速了光学向光子学的开拓。

在光子学迅猛发展的情况下,光子学领域内不断涌现出许多新鲜的事物,人们曾匆忙地用各种新名词来描述新发展的方面,如量子电子学、光物理、激光物理、光电子学、光波电子学、非线性光学、量子光学等,但他们都或只反映较窄的个别方面;或描写不够确切。如量子电子学,

本文于1992年6月21日收到

指什么量子?不清楚,如是指光量子,又何必归之为电子学等。而使用光子学这一名词可以更确切更全面地概括上述光学中新发展的整个领域。

光子学的出现与发展,使光学学科迸发出新的青春活力;同时,也迅速地产生出许多十分有用的光子技术与光子工程。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,激光器设计与制造工程,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,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。上述光子技术与光子工程的发展,大大地推动了光子学自身的纵深发展与光学科学技术向各个科学技术领域的渗透,对现代科学技术的发展具有重大的影响。

然而,自激光出现以来的30多年中,尽管光子学与光子技术有了相当大规模的发展,特别是光通讯已走上了大规模的工程实施与推广阶段,但对光子技术的大范围应用与普及仍存在很大的障碍与困难。这主要是因为激光器的激光转换效率低,功耗高,器件体积庞大(除半导体激光器外),各种非线性光学器件也大都需在强光作用下运行。这些都使得它们难以与微电子技术相适配,更难进入千家万户。为了进一步发展光子学与光子技术,有必要走与微电子技术相类似的发展道路,开辟通向微光子技术的各种途径。

大约从80年代初开始,一些科学先进国家的光学科学技术工作者不断调整研究方向,花大力气致力于微光子技术的开拓工作,取得显著成效。他们的努力主要集中在如下一些方面:

1. 从发展半导体与半导体量子阱激光器入手,研究微腔辐射与微腔光子动力学,不断降低激光阈值(接近1毫安),提高激光转换效率($\sim 60\%$)与输出功率(~ 120 瓦/条),扩展波段(兰、绿光),改善模式特性与压窄线宽(10^{-12} 秒),逐步实现阵列化与集成化,进而推动激光器向小型、高效、全固化方向迈进。

2. 探索巨光学非线性(或称弱光学非线性)效应与材料,特别是低维与纳米材料中的光学非线性的增强效应,研制适合于在弱光(毫瓦级)下操作的超高速光开关、(空间)光调制器、相位共轭器、光学双稳器等新器件,推动光学信息处理与光计算技术的发展。

3. 研究光纤与波导中的光孤子传输,光频转换,光子开关,光振荡与光放大等非线性导波与激发现象,发展光子学集成器件,推动光通讯技术的进一步发展。

4. 研究光致相变、磁光、光色、光子回波与光谱烧孔等效应,发展高密度光存储技术与器件。

5. 探索凝聚态物质中的超快现象,研究超短光脉冲的非线性压缩方法,发展 10^{-12} 秒与 10^{-15} 秒超短光脉冲技术与激光器,发展超高速光探测器、光电子开关、以及它们的小型化。

6. 研究高度平行处理与互联的理论及光学实现的方法,仿效神经网络的功能,发展光学神经网络,光计算算法与结构。

除上述外,微光子技术的重要支撑技术:(1)远紫外与软 X 射线的光学成像与超微光刻技术;(2)光学近场显微镜(或称光学隧道扫描显微镜)与共焦扫描显微镜技术也有了快速的突破性发展。这保证了微光子器件的顺利实现的可能性。

在80年代的十年中,上述技术的迅猛发展已使微光子技术初成体系;同时也极大地深化了光子学的内容。这些也为90年代的加速发展和夺取更大成效奠定了很好的基础。可以预期,90年代将会有如下重大突破:

1. 从紫光至中红外波段的激光器将基本上完成小型、高效、全固化的换代。这十分类似于 50 年代电子管向晶体管的换代,从而使激光技术的应用范围明显扩大,并开始走向普及化。

2. 光通讯将有效地解决长距离通讯及进入家庭的有关技术措施(如中继放大,孤子传输,光交换系统等),其使用将更为普遍。

3. 光盘、三维光存储器、空间光调制器、光互联器、相位共轭器、光双稳器等将较普遍地应用于平行处理的超级计算机中;同时,一些专用的光学计算机将开始投入使用。这些应用将极大地提高计算机的运算速度,并扩大其智能功能。而光盘则将较普遍地进入千家万户。

4. 激光与光纤传感技术将较普遍地得到应用,特别广泛地应用于工业与医学领域。

5. 以激光二极管加光纤组成的灵便的光谱测量系统将走出实验室,广泛进入生产车间、野外与空间。

总之,90 年代将是第一代微光子技术日益趋向成熟的一个时期。当然,以后还会有第二代与第三代等的继续发展时期。顺便指出,原有的成像光学技术也正在向微光学技术的方向迈进。只有先进的微光学与微光子技术才能更好地与高度发展了的微电子技术相适配与相结合,从而有可能发展出更高水平的新一代信息技术。应当说,由于光学固有的高度平行处理能力和高的载频能力,已获得最短的电磁脉冲($\sim 10^{-15}$ 秒),以及光子的传输速度远比电子的快等优点,光子技术必将在信息技术中占有重要地位。可以预期,下一世纪的信息技术将是以微电子技术、微光子技术及其间交叉的微光电子技术为它的基础技术支柱。它们在各自的发展中将相互渗透,相互结合,相互补充,相互促进,因而交相辉映。

发展光子学、微光子技术是光学科学技术今后一个时期发展的主流。它们的发展已充分地展示了光学的广泛的应用前景。从发展的战略上考虑,我们有必要加强对它的研究与紧密地跟踪,以更好地推进我国光学科学技术的发展。

THE EXPLOITATION OF OPTICS TOWARDS PHOTONICS AND ITS SIGNIFICANCE

Zhang Guangyin

(Department of Physics, Nankai University)

Abstract

The exploitation of optics towards photonics is the main trend of modern optics. For create of photonics the invention of laser is a great event. The photonics gives emphasis to the interaction of photon with matter and its ability of carrying information. For further perfection of photonics developing microphotonic technology is necessary and important. In fact, the vast advance of semiconductor laser and optical communication in 1980s open up a route of "photonic revolution". It is anticipated that the incorporation of the microphotonic and optoelectronic techniques with the microelectronic one will product the future information technique with high level in next age.