

光子学及其发展¹⁾

于 荣 金

(中国科学院长春物理研究所激发态物理开放研究实验室, 长春 130021)

摘要 光子学是继电子学之后正在迅速发展的一门新学科。本文就光子学的诞生、定义、内容和范畴进行了讨论,提出了个人之见。介绍了与光子学有关的理论、材料、器件和应用的研究进展。

关键词 光子学,光子学理论,光子学材料,光子器件

Abstract Photonics is a rapidly developing new science after the development of electronics. The birth, definition, content and category of photonics are discussed and presented according to the viewpoint of the present author. The progress in theories, materials, devices and applications of this novel field is related.

Key words photonics, theory of photonics, material of photonics, photonic device

可以认为光子学是随着 1960 年红宝石激光器的问世而诞生的。它是一门正在迅速发展的前沿学科,关系到信息社会的进程,也关系到国防、科学、生产和生活的发展水平,具有重要的战略地位^[1]。这一点已逐渐被国际上愈来愈多的人们所认识。当然,由于这个学科的发展历史还不长,人们对它的认识要有一个过程。光子的历史,可以追溯到 80 多年以前,爱因斯坦在普朗克关于黑体辐射的假设基础上,于 1906 年就提出了“光子”的概念。1917 年,爱因斯坦又为解释黑体辐射定律,提出了关于光的发射与吸收可经由受激吸收、受激辐射与自发辐射三种基本过程的假设,但是有关受激辐射的研究并未引起人们的重视,所以光子器件的研究和应用,一直没有实质性的进展。直到 1960 年,具有划时代意义的第一台红宝石激光器诞生,以及随后一系列光子器件和有关新领域的出现,需要一个能够科学地综合反映这些分支学科和技术的名字。人们曾从不同角度提出过一些名字,如开始时,因为激光器是从微波受激发射器发展而来的,所以称其为量子电子学。钱学森教授早在 70 年代就指出,量子电子学好像是电子学的一个分支,是不够妥当的^[2]。有不

少人则称其为光电子学,“光电子学”一词大家又有不同的理解,一种认为它是光学与电子学的结合,一种认为它是光频电子学,这两种理解都有其一定的根据和道理。但是,似乎称其为光子学更为合理而有益。尤其是当我们把光子学看成是一门与电子学平行的学科时,可以进一步加深对这一独立学科战略地位的认识,并从已经成熟的电子学中得到启发和借鉴,更好地把握和推进这一学科的发展。国际上,一些杂志、刊物、会议和机构也先后采用或改名为光子学,说明了人们在这个名字问题上的态度。

光子学的定义有多种提法。在 1970 年第九届国际高速摄影会议上,荷兰科学家 Polde-rvaart 教授首次给出了光子学的定义,认为“光子学是研究以光子作为信息载体的科学”。后来又提出过一些内容或表述方式不同的定义。在这些不同的定义中,作者认为钱学森教授提出的“光子学是研究光子的产生、运动和转化的科学”比较合适^[2]。如果再具体一点,可以广义地说“光子学是研究光子的产生、放大、传导、控

1) 1994 年 4 月 11 日收到。

制、探测,光子与物质相互作用,以及把这些技术和规律应用于能量产生、通信、信息处理等的一门科学”。基于上述定义和理解,作者认为光子学现在已是一个比较庞大的专业和学科体系,并还在继续发展和充实之中。在这个体系中,包含着自光子学诞生以来众多的分支学科,它们有机地结合在一起,形成光子学的统一整体。这些分支按性质可分为四大类:(1)基础理论与基础技术,它包括激光物理、非线性光学、激光光谱学、电光学、声光学、集成光学、导波光学、纤维光学、全息光学、量子光学、相位共轭光学、激光技术、超短光脉冲技术、激光光谱技术、激光放大技术、激光谐振腔技术、激光选模技术、激光调Q技术、激光调谐技术、激光锁模技术、激光稳频技术、变频技术、滤波技术、外差接收技术、调制和解调技术、编码和解码技术、光纤技术、光(子)集成技术等;(2)元器件、材料与工艺,它包括激光器、发光二极管、光电探测器、光纤、光波导、光开关和光调制器、光存储器、光学传感器和光纤传感器、集成光路、光电子集成回路和光子集成回路、光子材料和光电子材料,以及有关生产技术等;(3)系统技术,属于这一类的分支学科有光通信技术、激光加工技术、激光雷达和精密测量技术、激光制导和光纤制导技术、光信息处理和光计算技术、激光全息技术、激光分离同位素和激光引发核聚变技术、光学遥感技术等;(4)交叉专业和学科类,它包括激光化学、激光生物学和激光医学等。

光子学是一门以应用为主要目标的科学和技术,具有鲜明的技术性和实用性。由光子技术、光子元器件或光(电)子集成回路,已经或正在实现众多的光子工程,其中最突出的就是光纤通信工程。随着光子学的进一步发展和成熟,将使许多可能的光子工程变成现实,并形成不断增值的光子产业。

下面将概要介绍与光子学有关的理论、材料、器件和应用方面的情况及进展。

1 理论

几个世纪以来,人们在探索光的本性以及对某些实验现象进行观察和解释时,发现光具有波粒二象性,即光同时具有波动性和粒子性的本性。光的波动性指光是电磁波,粒子性则指光的量子性。这是处理光子学问题的一个出发点。另一方面,以描述电磁场基本规律的麦克斯韦方程组和洛伦兹力公式为基础构成的经典电动力学,以及后来在解决光电效应、原子结构等微观世界物理现象所遇到的困难时,又建立的量子电动力学,为光子学提供了处理各类问题的理论基础。

任何一个理论都是以能否反映或预见客观规律为标准,并且各种理论往往都带有不同程度的近似,这不仅是由于认识上的原因(人们的认识总是不断深化、不继接近客观的过程),而且也是考虑到对问题便于处理。人们在承认光同时具有波动性和粒子性的前提下,对那些着重表现出波动性的宏观光学现象(如光的传播),就用经典电动力学加以描述,这就是光的电磁理论(或称电磁光学);而对那些明显具有粒子性(量子性)的微观光学现象(如光与物质相互作用),就用量子电动力学加以描述,这就是光的量子理论(或称量子光学)。量子电动力学理论可同时概括光的电磁理论和光的量子理论。

在电磁光学中,电磁辐射以两个相互耦合的矢量波(一个电场波和一个磁场波)的形式传播,而有些光学现象可用位置和时间的单一标量函数(波函数)来近似描述,这就是标量波动光学,或简称波动光学。波动光学是电磁光学的一种近似和简化,它适用于某些条件下的近轴波。当我们所研究的物体或空间的大小比光波的波长大得多时,光的波动性并不明显,此时光可以当作服从几何规则的射线来处理,这就是射线光学,或称几何光学。射线光学是光波长无限小(零波长近似)时的波动光学。因此,电磁光学包括了波动光学,而波动光学又包括

了射线光学。电磁光学可以成功地处理经典光学范围内的大量光学现象,如反射、折射、干涉、衍射、偏振以及光在晶体中的传播等。

导波光学是随着光纤、集成光学等发展而出现的。它是建立在麦克斯韦方程组基础上的介质波导电磁理论,通过麦克斯韦方程组和连续性边界条件,求解本征值和场分布等问题;也从射线光学角度,建立了锯齿波模型的介质波导理论;另外,还经常采用耦合模理论来处理介质光波导中导模之间、导模与辐射模之间的各种耦合问题。

量子光学是应用量子电动力学理论研究光辐射的产生、传输、检测、相干统计性质以及光与物质相互作用中的基本物理问题。它可以解释所有已知的各种光学现象,特别象激光的相干统计性质等,只能用量子光学理论来处理。

激光理论针对不同的问题,已形成三种理论体系:(1)经典理论。它是把激光场看成可用麦克斯韦方程组描述的经典电磁场,把与激光场相互作用的物质体系看成是经典谐振子的集合;(2)半经典理论。它是把激光场看成可用麦克斯韦方程组描述的经典电磁场,而把与激光场相互作用的物质体系看成是服从量子力学规律的微观粒子(原子、分子、离子或电子)的集合;(3)量子理论。它是把激光场看成遵循量子化规律的光子群的集合,把与激光场相互作用的物质看成是遵循量子力学规律的微观粒子的集合,统一由量子理论处理。它能对激光与物质相互作用过程中出现的各种现象与效应给出严格而又全面的描述。

光子光学是在电磁光学基础上,从量子电动力学引入一些描述电磁场和能量的微粒性、局域性和涨落性的简单关系而构成的。它可以处理超出经典理论研究范围的光学现象,得出光及其与物质相互作用的许多量子力学性质^[3]。

在光子学中,针对不同的问题,可以采用上述不同的理论来处理。

2 材料

光子学所涉及的材料较广,有激光工作物质,非线性光学材料,光的传输介质和光波导材料,电光、声光和磁光材料,光子探测和光电转换材料,光存储材料和显示材料等。它们包括各种玻璃、晶体、半导体、铁电体、有机和聚合物等。

2.1 玻璃材料

这二三十年来,玻璃材料有很大的发展,主要表现在以下几个方面:(1)石英光纤。由于光通信传输介质的需要,自从1966年高锟博士提出他的理论以后,对石英玻璃材料进行了有效的提纯,使有害的杂质(过渡金属离子、羟基和其他杂质)含量降低到ppb量级,从而使石英光纤的传输损耗也由原来的~1000dB/km下降到零点几个dB/km;(2)红外光纤。由于石英光纤的损耗受瑞利散射和红外多声子吸收的限制,损耗不能低于0.1dB/km,因此从70年代后期开始,又对适合于2—6 μm 波长传输的卤化物玻璃、硫系玻璃和重金属氧化物玻璃等进行研究,它们的理论损耗值分别为 $\sim 10^{-3}$ 、 10^{-4} 和 10^{-4} dB/km。不过要使这类光纤达到其最低的理论值,还有很大的难度。目前已达到的传输损耗仅大致相当于石英光纤传输损耗的水平;(3)把玻璃(硅酸盐玻璃、磷酸盐玻璃、石英等)作为基质,掺入各种稀土离子,发展各种激光玻璃(如钕玻璃)以及近几年作为放大器用的掺铒光纤等;(4)在80年代,发现掺半导体(CdS₂、Se_{1-x}等)微晶的玻璃,由于它具有较大的非线性($n_2 = 10^{-4}$ — 10^{-3} cm²/MW)、开关速度快(~ 10 ps)、材料便宜、制备光波导方法简便等优点,引起了人们的重视,详细研究了它们的成分、制备工艺条件与非线性光学性质、半导体微晶中量子尺寸效应的关系,并实现了简并四波混频、光双稳、光功率限制等非线性效应。此外,还研究和发展的掺CuCl微晶的玻璃。

2.2 半导体材料

III-V族化合物半导体 GaInAsP/InP、

GaAlAs/GaAs, 在光子学及其今后的发展中占有重要的地位。这类半导体具有良好的光电性能,是目前光纤通信和微型光信息处理器件的主要材料。与单晶 InP 晶格匹配的 GaInAsP 四元合金的研究,最早是 70 年代初受夜视领域制作较长波长光电阴极的推动,现在这类材料和 GaAlAs/GaAs 都已比较成熟。

1969 年 L. Esaki 等人^[4]提出了“超晶格”的概念;70 年代初之后,随着分子束外延(MBE)、金属有机物化学气相淀积(MOCVD)和化学束外延(CBE)等新的半导体外延工艺的相继诞生,并成功地应用于上述 III-V 族化合物半导体超晶格量子阱结构材料的生长,使这些 III-V 族化合物半导体如虎添翼,获得了一系列重要特性,为光子学的发展开辟了广阔的前景。这些外延技术,可精确控制超薄层半导体材料的生长,实现“能带工程”。人们可以以原子尺度设计和改变材料的结构参数和组分,改变材料的能带结构和物理性能。例如,由量子阱材料构成的半导体激光器,其阈值电流可以很低;又如,在 GaAs 量子阱材料中,由于势垒的限制,电子和空穴被限制在 $\sim 10\text{nm}$ 宽的范围内,它们之间的强库仑作用使激子束缚能增大,激子在室温下也能存在。而在 GaAs 体材料中,由束缚的电子和空穴所形成的激子,其束缚能低(4.2meV),室温时早已由热振动而解离,因此 GaAs 体材料中的自由激子只有在低温和高纯的条件下才能观察到。利用量子阱材料的室温激子非线性光学效应,可以构成室温下工作的低功耗、超高速光控双稳态器件;半导体量子阱材料,也是光调制和开关器件的优质材料,在量子阱结构中的电吸收效应可比大块半导体增加近 50 倍,并且采用多量子阱构成的高速开关,比一般电光器件的长度要短得多,有利于提高器件集成的密度。这些都说明,III-V 族化合物半导体,尤其是它们的低维结构(量子阱、量子线和量子点)材料,在光子信息技术中已经展现了重要地位,有可能成为“光学硅”。80 年代开始,采用异质外延,例如利用 MBE 和 MOCVD 技术,在 Si 衬底

上生长 InP 或 GaAs,在 InP 衬底上生长 GaAs,以及在 GaAs 衬底上生长 InP。生长出来的这些非晶格匹配材料,为发展光电子集成回路提供了新的材料体系。

硅是间接带隙材料,使其在光电器件的应用中受到了限制。80 年代开始,由于用 MBE 技术能在硅衬底上生长 Si-Ge 应变超晶格材料及化合物半导体材料,构成直接带隙材料;Si-Ge 应变超晶格材料也能呈现线性电光效应。因此,硅作为光电子材料的研究又引起人们的注意,取得了显著进展,实现了光、电器件的单片集成。最近几年,又发现了多孔硅的可见光发光现象,并已成为一个热门课题,它从另一条途径激发人们在硅材料中探索研究光、电器件的单片集成。

2.3 非线性光学材料^[5]

随着激光的出现,人们对二阶和三阶非线性光学效应和材料进行了大量的研究,涉及的材料有无机非线性材料、有机和聚合物材料、半导体及其多量子阱结构材料、光折变和液晶材料等。

常用的非线性光学晶体有: KH_2PO_4 (KDP), KD_2PO_4 (KD*P), $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$ (ADP), LiIO_3 , LiNbO_3 , KNbO_3 , $\text{Ba}_2\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$ (BNN), $\text{Sr}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBN), KTiOPO_4 (KTP), BaTiO_3 , Te , Ag_3AsS_3 , InSb , InAs , GaAs , CdSe , CdS , HgCdTe 等。值得指出的是我国在发展新型非线性光学晶体(如中国科学院福建物质结构研究所生长的偏硼酸钡和三硼酸锂优质晶体)方面,走在世界的前列,得到国际学术界的公认。

这一二十年来,人们发现有机和聚合物材料的开关速度快(ps—fs)、非线性系数大、光损伤阈值高,并且通过对分子结构作一些小的改变,可控制材料的物理和化学性质,因此这类非线性材料的研究受到极大重视。有机和聚合物材料中非线性的起因,是由于分子内非定域的 π 电子。 π 电子易受外场极化,且随着 π 电子共轭体系的增大,非线性系数也增大。例如丁二炔,其聚合物的三阶非线性极化率 $\chi^{(3)}$ 比单体大 1000 倍。目前已知具有较大二阶非线

性系数的材料,主要是苯基环体系,如 MNA, POM, NPP, LAP, DAN 等;具有较大三阶非线性系数的材料,主要是共轭 π -电子聚合物,如聚乙炔、聚二乙炔、刚性棒状芳香族聚合物、金属有机化合物和富氏烯。整个说来,这类材料还远没有无机材料成熟,某些性能有待改进和提高。例如,需要探索材料的共振增强效应,以提高三阶非线性系数。有机材料中的苯衍生物,它们是分子晶体,分子间的结合靠范德瓦耳斯力,机械强度比较差,而聚合物则靠共价键结合,机械强度较高。所以,通过有机物与聚合物、有机物与无机物的结合,可使某些性能得到互补和改善。采用不同的材料和不同的结合方式,还可以发展新的材料。在光子信息技术中,液晶也是一类重要的材料。液晶显示、显象器件以及液晶空间光调制器,早已成为商品。液晶材料的主要问题是响应速度慢,过去已形成商品的器件,大都采用向列型液晶。为改善响应速度,这几年正在大力开发铁电液晶等。

铌酸锂是一种铁电材料,它有极好的压电、电光和光波导性质。在铌酸锂中掺入稀土离子(Nd^{3+} , Er^{3+})之后,可制成波导激光器和放大器。针对 LiNbO_3 材料的抗光损伤能力差,采用掺入 $\sim 5\%$ 的 MgO ,使其性能得到改善。一般商品为声学级,近几年国际上已有光波导级商品,其组分均匀,同成分组成 $48.55\% \text{Li}_2\text{O}$,变化范围要求 $\pm 0.02\text{mol}\% \text{Li}_2\text{O}$,折射率变化小于 ± 0.0001 。

3 器件

光子学涉及的器件有:激光器(固体激光器、半导体激光器、气体激光器、液体激光器、自由电子激光器等),发光二极管,光的调制、开关和偏转器,光倍频和混频器,光学参量放大器,光电探测器,光纤、光波导及各种无源元件,液晶器件,光存储器,光学传感器和光纤传感器,微小光学元件,集成光路、光电子集成回路和光子集成回路等。电子学在其发展过程中,经历了从真空管器件的真空电子学 \rightarrow 晶体管为基础

的固体电子学 \rightarrow 集成电路为标志的微电子学。光子学则有与电子学类似的发展过程,因此在文献[1]中曾指出:半导体激光器在光子学中的地位和作用,相当于电子学中的晶体管;而集成光路在光子学中的地位和作用,则相当于电子学中的集成电路。

半导体激光器与晶体管有相似的特点:体积小、重量轻、功耗低、可成批生产、成本较低、可靠性较高。但是把半导体激光器这些潜在的特点,完全变成现实,是经历了30多年不断发展和完善的过程,并且现在还没有结束。这个过程是在高技术和市场需求的推动下进行的。世界各国一批科学家,在原理、材料、工艺、器件结构等方面进行了大量的改进,解决了一系列的问题,使最初性能极差的半导体激光器成为能在室温长期连续稳定工作、模式特性好、可调谐、高功率、低阈值、多波段、多种结构和功能的器件。例如,在结构上,由最初的同质结发展成单异质结、双异质结,后来又发展成量子阱和应变量子阱结构,并正在向量子线、量子点结构迈进;外延工艺,由原来的液相外延,进入 MBE, MOCVD 和 CBE;谐振腔由原来两个平行的自然晶体解理镜面,发展成分布反馈(DFB)型和分布布拉格反射(DBR)型;激光输出,除了平行于衬底方向外,后来又开创了垂直于衬底发射的面发射型激光器;为了获得单横模和单纵模工作,提出和发展了各种类型的模式控制激光器,如隐埋异质结构(BH)、台面衬底隐埋(MSB)异质结构、台阶式衬底(TS)等激光器。半导体激光器的阈值关系到功耗,只有低阈值的器件才谈得上低功耗。经过多方面的改进,一般的半导体激光器,其阈值电流已降至 \sim 几十 mA,已报道量子阱和面发射型激光器的最低阈值电流小于 1mA,进一步的目标是使阈值电流小于 $10\mu\text{A}$ 。输出功率方面,一般的半导体激光器是 mW 量级,采用大光腔、双凸条衬底、量子阱等结构,室温连续工作的光输出功率已达 100mW 以上,而采用锁相列阵,其连续输出功率已大于 100W,为了满足光纤通信的需要,集中力量研制了 $0.8\text{--}0.9\mu\text{m}$ 的 GaAs-GaAlAs 半导体激

光器和 $1.3\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ 的 InP-GaInAsP 半导体激光器,不仅使器件的推测寿命达到 10^6h ,而且还研制出了适合高速长途单模光纤通信需要的动态单模 (DSM) 激光器,以及适应波分复用系统和相干光通信系统等需要的波长可调谐的动态单模激光器。为满足掺 Er^{3+} 光纤放大器的光泵需要,开发了 $1.48\mu\text{m}$ 和 $0.98\mu\text{m}$ 的半导体激光器。由于光盘、显示、激光打印机和条形码扫描器等需要短波长的可见光激光器,因而开发了 $0.6\text{—}0.78\mu\text{m}$ 波段的可见光激光器,由 II-VI 族半导体构成的蓝绿光半导体激光器也已问世。由于红外高分辨率光谱仪、大气测污和同位素分离等需要,开发了红外波段的铅盐半导体激光器,等等。这几年,半导体激光器已在各类激光器中独占鳌头,形成激光器中最大的产业规模,1990 年的销售量达 2935 万支。半导体激光器除了用于光纤通信、光盘、激光打印机和条形码扫描器外,还可作为雷达、测距、测速、全息照相再现、射击模拟器、红外夜视仪、报警、引信、医疗仪器等的光源,以及用作固体激光器的泵浦光源等。随着半导体激光器波长的扩展、性能的提高、大规模的批量生产、价格的下降,应用领域还会不断扩展。因此,一个国家如果要想在光子学中,占有一席之地,参与国际竞争,形成大的产业规模,必须十分重视和加强对半导体激光器的开发和生产。

在光子学中,受集成电路的启发,也在进行元件集成化的努力,必然会出现一个微光子学时代。微光子学是以半导体激光器等光子元件为核心集成起来,具有一定功能的回路为标志,它包括过去不同时期提出的概念:集成光学 (integrated optics) 和集成光路 (integrated optical circuit 或 optical integrated circuit)、光子集成回路 (photonic integrated circuit)、光电子集成回路 (optoelectronic integrated circuit 或 integrated optoelectronic circuit) 以及微小光学 (microoptics)。构成光子集成回路或集成光路,是一个全新的任务。在实现光子 (或光学) 元件集成化这样一个目标的同时,考虑到有些系统中,从光的产生和调制、光

信号的探测和处理等,都需要辅助电路,因此提出把电子元件也集成在一起,构成光电子集成回路。光电子集成回路是比光子集成回路更困难的任务,因为它除了要制作或集成光子元件外,还要解决材料和制作工艺对光子元件和电子元件的兼容问题。微光子技术和元件的集成化,可以提供尺寸小、重量轻、效率高、功能强、价格便宜及避免电磁干扰等特点的系统,使光子学发生与微电子技术和集成电路同样巨大的革命性变革。自从 1969 年 S. E. Miller 提出集成光学和集成光路之后,已研究和演示了具有一定功能的许多集成化回路。1978 年, A. Yariv 把一个 GaAs-GaAlAs 激光器和一个 GaAs 耿器件集成在一起,构成了第一个光电子集成回路。这几年,光子集成回路也取得显著进展。某些集成光学元件,早已进入商业应用,如 LiNbO_3 光波导调制器,已应用于光纤通信、有线电视、光纤陀螺等方面。GaAs 激光器与 LiNbO_3 光波导倍频器构成的倍频光源,已作为商用 ps 荧光寿命测量系统的备选部件;微型透镜及其面阵,已得到广泛应用。作为上述进展的例子,还有:在一个 LiNbO_3 衬底上,集成了相干探测所需的全部光处理功能元件;集成了用于光纤陀螺的相位调制器、偏振器、3dB 合束器和分束器。在 LiNbO_3 和 GaAs 等衬底上,研制了不同功能和集成度的光开关阵列。在一个半导体衬底上,集成了 10 个 DFB 激光器;实现了 DFB 激光器与光调制器的集成;集成了激光器与驱动电路,构成多种光发射机及多路复用光发射机;构成了多种集成化光接收机及其阵列。光子器件的集成度已达到相当的规模,例如在不到 1cm^2 的 GaAs 衬底上,已集成了一百多万个电泵浦垂直腔面发射微型激光器,器件密度 $\sim 2 \times 10^6$ 个/ cm^2 ;自电光效应器件的面阵,已达 256×256 位。集成化的回路,目前大都还处在研究发展阶段,真正形成产业规模,估计要过多年,甚至要进入 21 世纪之后。

4 应用

光子学的应用范围非常之广^[1]。光子技术已对许多自然科学和技术科学产生深刻的影响;光子作为能量载体,在激光加工、激光医疗等方面,已获得广泛应用,并具有一定的产业规模。激光引发核聚变有可能成为下一世纪的新能源;光子作为信息载体,已成功地用于信息传输(光纤通信)和信息存储(光盘),并已形成可观的产业规模。光信息处理的功能正在不断开发,特别是正在开发研制中的光子计算机,它所具有的潜在优点一旦变成现实,则对未来信息领域的影响是很深远的。因此,光子学不仅与电子学一样,有极其广泛的应用领域,而且正在

电子学最重要的应用领域,又是迫切需要革新的领域——信息领域(特别是该领域中的通信和计算机),做出其积极的贡献。人们已普遍认为:通信与计算机研究及发展的未来世界属于光子学领域,光子技术是推动今后信息时代发展的主要动力,它在今后的信息时代将占有越来越重要的地位。

参 考 文 献

- [1] 于荣金,物理,22-11(1993),645.
- [2] 钱学森,激光,6-1(1979),1.
- [3] Bahaa E.A. Saleh and Malvin Carl Teich, Fundamentals of Photonics, New York, (1991), 384.
- [4] L. Esaki and R. Tsu, IEEE J. Quantum Electron, 22-9(1986), 1611.
- [5] D.H. Auston et al., Appl. Opt., 26-2(1987), 211.

富勒烯在激光科学中的应用

孟志葱 林福成

(中国科学院上海光学精密机械研究所,上海 201800)

摘要 简要评述了富勒烯在激光科学中的研究进展,介绍了富勒烯的非线性光学特性及其潜在应用,展示了富勒烯衍生物和掺富勒烯新型光学材料的研究与应用发展前景。

关键词 富勒烯,非线性光学,光学材料

Abstract The progress of studies on fullerenes in the fields of optics is reviewed. Nonlinear optical properties of fullerenes and their potential applications are described. Fullerene derivatives and doped fullerenes represent a novel class of nonlinear optical materials.

Key words fullerenes, nonlinear optics, optical material

激光科学技术的研究与发展不断地对材料科学提出更高的要求,特别是需要具有特殊非线性光学性质的新型材料。

富勒烯分子的发现为材料科学开辟了崭新的研究领域。自1990年,德国 Kratschmer 等首次用电弧加热法制备出常量的富勒烯代表物 C_{60} 和 C_{70} 以来,为广泛研究其结构与特性提供了物质保证,进而在激光科学领域开拓了广

阔的发展前景。

我们知道,要作为一种有效的光学材料,必须具有较大的非线性光学响应,较高的激光损伤阈值和光学透过率,容易进行化学合成与加工并具有较好的热稳定性与化学稳定性。以 C_{60} 、 C_{70} 为代表的富勒烯综合了以上性质,并以其独特的优点成为一种不可多得的新型光学材料。