《海纳百川·藏书博览》
简装书库·自然科学总论
（自然科学普及读物）

创造奇迹的光
21 世纪的激光技术
01

雷仁湛

上海市黄浦区教育信息中心

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目　录

序 ..... 朱丽兰（Ⅰ）
编者的话 ..... (Ⅲ)
信息高速公路主干线 ..... (1)
　信息和财富 ..... (1)
　信息高速公路计划 ..... (3)
　信息高速传输的载体 ..... (5)
　信息高速处理的载体 ..... (15)
　信息高密度存储载体 ..... (22)
农业丰产的道路 ..... (30)
　农业与科学 ..... (30)
　从种子入手 ..... (33)
　还未解开的谜 ..... (35)
　改良水果 ..... (37)
　让牲畜多子多孙 ..... (39)
　激光养鱼 ..... (42)
　激光渔场 ..... (43)
　激光预报农作物长势 ..... (46)
　除草灭害虫 ..... (48)
神光神医 ..... (50)
　攻克癌症 ..... (51)
　心脏病患者的福音 ..... (53)
　开通血管 ..... (55)
　粉碎结石 ..... (57)
　矫正视力 ..... (58)
　焊接血管 ..... (61)
　激光手术刀 ..... (62)
　激光针 ..... (65)
超级工具 ..... (68)
　激光精密加工 ..... (69)
　精密计量 ..... (81)
　精明的检验工 ..... (91)
　激光制造 ..... (95)
　预报地震 ..... (101)
　监测环境污染 ..... (104)
死光武器 ..... (108)
　海边计划 ..... (108)
　测距能手 ..... (111)
　长了眼睛的炸弹 ..... (114)
　激光引信 ..... (118)
　专打眼睛的武器 ..... (120)
　不会伤人的军事演习 ..... (123)
　激光侦查罪犯 ..... (125)
通往艺术殿堂 ..... (129)

动听的激光唱片 ..... (129)
彩色音乐 ..... (131)
解开千古之谜 ..... (134)
给文物体检 ..... (136)
使文物“延寿” ..... (139)
激光雕刻 ..... (140)
打开科学宝库大门 ..... (142)
设计生物品种 ..... (142)
给核燃料点火 ..... (148)
浓缩铀核燃料 ..... (155)
开辟光学研究新领域 ..... (158)

序

朱丽兰

20 世纪行将结束，21 世纪即将来临。在这新旧交替的时代，人类社会都期待着一个崭新明天的到来。

世界范围内的新技术革命日新月异，促使全球经济、社会的发展乃至人们的生活方式都不断发生重大变革。科技竞争，特别是人才竞争，已经成为世界各国全面竞争的焦点。现在，许多国家都把提高国民的科学文化素质当成是 21 世纪竞争是否成功的关键。为适应世界潮流，迎接新世纪的挑战，普及科学文化知识，正受到社会各界的广泛重视。科技知识的传播，已经成为当前我国促进社会主义物质文明和精神文明建设、维护社会繁荣稳定的一项重要任务，也是今后依靠科技进步，提高全民素质，使我国经济和科技得以持续、快速、健康发展的重要保证。

党中央、国务院最近号召全党、全国人民加强科学技术的普及工作，科学技术的普及程度，是国民科学技术文化素质的重要标志，同时也是全体科技工作者，运用科学技术，在亿万群众中构筑精神文明思想长城的重要任务。

科学技术普及工作的重点之一，是青少年学生。今天的青少年，就是明天的主人。国家的兴旺，民族的振兴，靠他们这一代。由卢嘉锡副委员长和国家科委其他同志发起并编撰的《21 世纪科普教育丛书》，就是面向青少年，力求比较全面、比较系统地展示未来世纪的宏伟蓝图，展望未来，预测未来，勾画未来，瞄准未来，跟踪最新的高技术，重点阐述 21 世纪初叶各学科领域的面貌，全新地描绘下一世纪人类发展的新趋势，描绘未来生活的新特点和五彩缤纷的各项新技术，鼓励、提倡“学科学、爱科学、讲科学、用科学”的社会风尚。这套丛书的出版，有利于宣传、普及科技知识，有利于引导和鼓舞广大青少年发扬爱国主义精神，有利于使他们增强建设祖国、奔向未来的使命感，有利于扩大他们的知识面，启迪他们的智慧，开阔他们的视野，造就他们，培养他们，使他们成为下一世纪的合格主人。相信这套丛书会成为他们的良师益友，同时也寄望这套丛书，在科学技术普及工作的事业中发挥更大的作用。

1995 年 5 月

注：本文作者系国家科委常务副主任。

编者的话

激光是正在走向实用化的高技术，它提高了生产技术水平和科学技术水平，开发了许多新技术和科学研究新领域。

激光终于使光波通信变成了现实，把通信技术带进一个新时代。以激光为传递信息的载体，用光纤做信息传递线路的光纤通信技术，极大地提高了通信容量，一根比头发丝还细的光纤，可以同时传输几万路电话或几千路电视；用 20 根光纤组成如铅笔般粗细的光缆，每天可以通过它传送 7 万多人次的电话。

激光开发了信息存储新技术。用激光写入信息和读出信息的光盘，存储信息密度可以达到每平方厘米 10^8 位。如今，在一张直径 30 厘米的光盘上，可以存储 10 万张标准图象或者 80 万页中文资料，正在发展的其他激光信息存储技术，信息存储密度还将更高。

激光可以做成“超级工具”。它是精密机械加工，特别是微电子工业加工不可缺少的工具。利用它可以在坚硬的材料上打直径 0.1 毫米到几微米的小孔。打孔速度快，打出的各个小孔形状大小不一。用激光可以在硅片上刻出宽度极细的线，不断提高大规模集成电路设计标准。到 1985 年，设计标准已经提高到 1 微米，相当于在一根头发丝大小的截面上制造出 500 个晶体管；预计到 2000 年，刻线设计标准可以提高到 0.1 微米，此时制造出来的集成电路密度又将提高到一个新水平，在一根头发丝大小的截面上可以藏入 50000 个晶体管！激光也为精密加工提供最精密的长度计量，为物质成分分析提供最精确的含量分析。计量长度误差可以达到 0.005 微米，能查出物质内含量仅 10^{-20} 克的杂质。激光也为我们提供准直精度最高、使用又非常方便的准直基线，在 3 公里的长度上对准，误差不到 0.2 毫米。在造船、大型设备安装、矿井和隧道工程中起着巨大的作用。激光测量距离，手续简便，精度极高。测量在 8000 公里远的卫星，距离误差仅 2 厘米；用激光在不用解剖产品的条件下，检验其是否存在缺陷，并可以确定缺陷的位置和大小；用激光还可以在生产线上检查产品是否合格，为我们把好产品质量关。激光也是材料制造的新技术，利用激光能够制造出优质薄膜，制造出优质纳米材料和高温超导材料；用激光可以制造廉价核燃料，激光原子法生产铀核燃料将成为下个世纪的主要生产技术。此外，用激光可以帮助我们监测环境污染，预报地震。

激光为农业生产找到一条提高产量的途径。用激光照射农作物品种，诱导发生遗传变异，生长速率加快，抗病能力增强，收成增加。用激光照射办法培育的粮食作物，在我国推广种植 3000 万亩，增加收成 15 亿多公斤。激光也能加大牲畜繁殖量和发展渔业生产。

从 1963 年开始，使用激光治病，经过 30 多年的研究和实践，激光已成为一种新的医疗技术，用它可以治疗许多病，特别是在癌症治疗和早期诊断、冶疗心血管疾病等方面，获得了令人瞩目的成就。用激光可以矫正近视、远视和散光；用激光做手术刀，动手术时出血量少，使医生敢于做过去认为是手术禁区的肝脏手术。

激光圆了我们死光武器的梦。用激光制造的炸弹、导弹，仿佛是长了眼睛，打击目标的准确率几乎是百分之百。在 1991 年的海湾战争中，

需要全本请访问 www.ertongbook.com

用激光制导炸弹，准确地从地下室的通气口进入，炸毁地下室的一幕，让老百姓惊奇，让武器专家惊呼：武器进入了新时代。

核聚变是当代世界范围的重大研究课题，激光是实现核聚变希望最大的技术路线，预计在下一个世纪初，将会实现用激光使氘、氚核发生聚变，打开和平利用核聚变能量的大门。

激光和物质相互作用出现了许多以前没有出现过的现象，比如饱和吸收、多光子吸收、自感应透明、光倍频、光和频及光差频、光学自聚焦和自散焦、多光子电离、光学双稳态、光回波、光学章动、受激散射等，开辟了科学研究新领域，丰富了我们的科学知识，提高了我们对自然的认识水平。

激光也为我们带来了新的艺术享受，激光唱片、激光视盘、激光彩色音乐、激光音乐喷泉、激光全息照相，丰富了我们的文化艺术生活。激光也是保护文物和识别文物赝品的好帮手。

激光技术大有可为，我们期望通过这本小册子的介绍，认识激光技术，了解激光技术，从而开发利用激光技术，提高我们的生产技术水平和科学技术水平。

编者

1995 年 5 月

信息高速公路主干线

建设信息高速公路是有划时代意义的计划，它将给我们的工作和生活带来极大方便，推动高技术发展；带来就业机会和创造财富。建设信息高速公路需要激光技术，激光和信息高速公路同行。

信息和财富

信息是以知识为基础的资源，获得财富的源泉。这一点企业家们的体会更深刻。美国太阳微电子公司利用信息技术，同 11 个国家的大型仓库联网，使该公司的生产周期从 8 个月缩短到 6 个月。美国通用汽车公司利用信息技术，使 5 年来生产零售额上升 60%，库存由 30 天降至 6 天，运输时间缩短了 80 天，从而降低了成本，增强了竞争力。飞利浦石油公司利用信息技术进行决策管理，使他们能够更迅速地对市场作出反应。过去可能要数天才能作出的决策，现在大约数小时或者数分钟便可以作出。信息也能帮助我们改进保健，选择机械设备，改进食品和医药分配。

在今天的社会，时间的价值越来越宝贵。节省了时间，也就等于获得了财富。在我们现在的日常生活和工作中，有不少事还可以节省时间。比如说，图书馆藏有大量图书资料，是我们获取知识的宝库。现在，我们要阅读图书馆藏的图书资料，需要到那里去办手续，然后再借阅。如果利用个人家庭电脑和图象显示设备，则随时可以调阅馆藏的各种图书资料及最新的期刊，便可以省下往返图书馆和办理借阅手续花的时间。又如购物，现在是必须到商场去挑选。倘若不用到商场，利用家庭电脑能够了解商场的商品规格、价格，并进行选购和订货，也可以节省许多时间。工厂企业的商品推销员，现在必须跑各地找客户。如果不用出门，利用手中的电脑能够了解用户的需要，签订购货合同，同样既节省了时间，又节省了财力。利用通信网络系统给行驶中的汽车司机和调度中心之间建立瞬间双向联系，使司机可以进行计划外的挑选，减少“ 空载 ”里程。

因为掌握信息有这么一些价值，所以企业家都肯花钱投资搞信息收集、传输、处理的工作网。有关统计资料显示，在 1982 年世界各大公司用于信息技术研究的资金，平均占它们的总支出的 27.2%，到 1992 年又上升到占 35.2%。

信息高速公路计划

大约在 24 年前，一位在华盛顿当过记者、后来成为未来学家的托夫勒在他所著的《未来的冲击》一书中描绘了一幅工作图画：“ 将来会一改往日上班办公、上学校学习、上图书馆看书、上商店买东西的习惯，用家庭电脑可以办自己要办的一切 ”。这个设想不久将会得到实现。1993 年 9 月，美国副总统戈尔和商业部长布朗宣布了一项世界为之瞩目的计划：国家信息基础结构行动计划，俗称信息高速公路计划。高速公路也是美国先提出来的。1955 年，美国国会通过一项法案——洲际高速公路法案。随后建成的洲际高速公路，大大地提高了车辆流量。交通运输能力的提高给经济发展带来了好处。今天，高速公路已是家喻户晓的事。我国现在也建成了好几条高速公路，上海的沪嘉高速公路，广东的广佛高速公路，……。不过，信息高速公路不是供汽车跑的，它是快速大容量传输信息的干线。

专家们说，信息高速公路计划无论从投资和对社会经济发展产生的作用来说，都远远超过美国先前的阿波罗登月计划。它给人们最深刻的印象将是给生活和工作带来极大的便利，给生产发展带来动力，给社会带来就业机会。克林顿政府是这样描绘信息高速公路的：“ 设想您有自己的一套电话、电视机和电脑装备，那么，您无论走到哪里，都可以看到您喜爱的球队最新比赛的录像，您可以浏览图书馆中最新书刊，可以找到市里食品、家具、衣服及所需要的一切物品的最佳价格 ”。看病会方便得多了，利用家庭电脑可以向医生直接咨询，了解自己大概患了什么病；医生和护理人员则可以通过电脑和电视屏幕跟市里其他医院的医生，或者跟远在千里之外的医生共同对病人会诊。如果需要病人在其他医院看病的诊断结果、检查报告，通过信息高速公路马上就会得到。建设信息高速公路也将给社会带来就业机会。根据克林顿政府的介绍，在以后的 10～15 年中，实施信息高速公路计划将创造 30 万个就业机会，每年为产业部门新增 3000 亿美元销售额。日本邮政省估计，日本的信息高速公路计划建设将增加就业人员 240 万。

实施信息高速公路计划需要资金，但更需要人才和技术。关键的技术有：通信技术、计算机技术、信息处理技术、信息存储技术。这些技术的发展离不开激光技术。激光技术在上述各项技术中扮演什么角色？请看下面的介绍。

信息高速传输的载体

在现代社会中，生产、工作、生活都离不开通信。也正因为通信技术的进步和发展，才使得我们今天办事有这么方便迅速。有事挂个电话，要说的事马上就可以告诉对方；要送一份资料、数据、报表，传真机能够立即传给对方。它们的声音、文字、图象是用电磁波传递的，电磁波每秒钟走 30 万公里，传播 1000 公里也只不过千分之三秒，在我们的感觉中是一瞬之间。不过，用电磁波传递信息也会遇到“交通阻塞”的现象。马路上同时行驶的汽车多了，车辆拥挤，行驶速度下降，出现交通阻塞。在同一条通信线路上打电话的人多，要传递的文件、图象等信息数量多，通信线路也会出现类似交通阻塞那样的现象。拓宽马路可以增大汽车流量，解决交通拥挤。对于通信线路来说，如何才可以扩大它的容量？科学家的研究指出，提高信息容量最经济有效的方法便是采用频率高的电磁波做通信载波。也是这个原因，自发明用电磁波传递信息以来，就不断地开发用波长短的电磁波做通信的载波。开始时用的电磁波波长为几千米，称为长波通信；后来开发使用电磁波波长为几百米的通信，称为中波通信；以及用波长几十米的短波通信。到本世纪 50 年代，又进一步开拓了用波长为厘米数量级的通信，称为微波通信。如果使用波长再短的电磁波做载波，就进入到光波波段了。所以，光波通信也是通信技术发展的必然趋势。光波频率比微波频率高万倍，按照通信理论，光波通信容量又可以提高万倍！

激光打开光波通信大门

但是，用普通光源发射出来的光波是不能做通信载波的。原因是普通光源发射的不是单种波长的光，光束中夹杂着许多不同波长的光，按光学上用的术语，光辐射单色性太差。用这种光波做广播用的载波，实际上等效于同时有许多套广播频率的节目到达您的接收回路，许多声音重叠在一起，结果我们实在无法听清在说些什么了。如果是用来传递图象信息，接收到的将是许多不同载波频率传送的电视图象的叠合，我们看到的也将是模糊一片的图象，让人什么也看不清楚。所以，要有如同无线电振荡器产生单个电磁波长那样的单色光源，才能进行有效的光波通信。激光器发射的光束单色性非常好，用发射出来的光能够做通信用的载波。

到本世纪 70 年代，人们又发现用玻璃材料做成的光学纤维可以做光信号的传输线路。起先制出来的光纤对传输光信号造成的能量损失比较大，通信距离不长，后来经过努力，制造出了光能量损失极低的光纤，同时制造激光器的技术也有了进步，制造出性能好、使用寿命又长的激光器。于是以光波做传递信息的载体，以光纤做信息传递线路的通信技术终于成功了。一根比头发丝还细的光纤，可以同时传输几万路电话或者几千路电视。用 20 根光纤组成如铅笔般粗细的光缆，每天可以通过它传递 7 万多人次的电话，相比之下，由 1800 根铜线组成的通信电缆，每天只能传送约 900 人次的电话。还有，光纤通信还有保密性好，抗干扰能力强，通信质量高等特点。所以，各国都大力发展光纤通信，铺设市内电话、城际电话的光纤通信线路。美国已有 50 多个城市的市内电话采用光纤通信线路，还建了几条城际长途光纤通信线路，比如连接华盛顿、

纽约和波士顿的光纤通信线路，全长 1249 公里；连接美国东、西海岸、全长 1920 公里的光纤通信系统；以及号称“太平洋走廊”、全长 824 公里的光纤通信系统。日本也建立了许多中、短距离光纤通信系统，预计在 1995 年年底建成连接到家庭的光纤通信系统。我国的光纤通信技术发展也很快，到 1995 年，我国邮电公用网一级干线光缆总长度约 2 万公里，二级干线市内电话、农村通信的光纤通信线路 43500 公里。到本世纪末，还将建成 2.8 万公里光缆通信线路。为适应国际往来频繁的需要，各国之间也铺设了许多条国际光缆通信线路。到 1994 年，开通的国际光纤通信线路已有 11 条，预计到 1996 年还有两条线路投入运营。

信息高速公路计划要建设四通八达的光纤通信网，连接家庭和社会各部门。要让大众愿意接受连网建网的价格不能太高。节省投资的基本办法是，利用先进技术增高信息传输速率和尽量减少辅助设备（比如减少中继站）。光波在光纤内传播的过程中总要损耗掉一点能量，因此，为了能让光信号传输到很远的地方还有比较高的信噪比，保证通信质量，需要每隔一段距离给光信号补充点能量。其次，和其他光学元件一样光纤也存在色散（不同波长的光波在光学材料中传播速度不相同的现象），这个现象将导致代表每位信息码 0 和 1 的光脉冲随着传播距离增长而慢慢地展宽，传播过一段距离之后会出现相邻的信号脉冲交迭的事，到了这种情况，通信便也失效。降低通信速率，即让代表 0 和 1 信息码的光信号脉冲间隔拉开大一点，当然可以避免出现这种情况。但这个做法并非上策，它会提高每位传输信息的价格。隔一段距离对光脉冲信号进行一次“整形”，恢复原先的脉冲形状和宽度的做法可以保证在有比较高的传输速率下，又能作远距离通信。中途给光信号脉冲“加油”和“整形”的工作，是由沿途设立的中继站完成的。目前的光通信技术水平是，信息传输速率约 10Gb/s，两个中继站之间的距离为 100 公里。但是，制造中继站的技术比较复杂，要花比较多的钱。能不能有别的办法，既能使传输速率高，同时又能作远距离通信？办法是有的，但需要性能优良的半导体激光器。

对激光器的要求

科学家的研究指出，光纤对波长 1.3 微米和 1.55 微米的光辐引起的能量损耗最低，被称为光纤通信的两个“窗口”，其中又以波长 1.55 微米更好，因为这个“窗口”的宽度比前者宽（见图 3）。现在市场产品最多的是输出波长在 0.9 微米附近的半导体激光器，它的价格比较低，质量也很好。但为了适应光纤通信的发展，需要制造输出波长为 1.55 微米的半导体激光器。

为了增加光纤通信速率，亦即在光纤线路内每秒传送的 0 和 1 的代码数量大，首先要能够高速地把信息载到激光束上，亦即能够对所用的半导体激光器作高速率光纤传输损耗范围与操作波长调制。现在使用的

半导体激光器一般容许的调制速率是 5GHz，或者说，使用它做通信的光源，最高只能获得每秒 5GB 的信息传输速率。科学家们说，如果利用量子阱半导体激光器做光源，可以大幅度地提高调制速率，能达到 30GHz。另外，正如下面我们将要提到的，用光孤子做信息传输载体，还可以提高信息传输速率，同时又能延长中继站距离。实现光孤子通信也需要量子阱半导体激光器。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

量子阱是一种有新型微结构的半导体材料，由它制成的激光器称为量子阱激光器。把厚度很薄（约 10 纳米）、带隙较小的半导体材料夹在带隙较大的材料中时，这薄层半导体材料便构成一个势阱。因为这薄层材料的厚度大约为电子在半导体中的德布罗衣波长，所以，在势阱中的电子沿垂直于势阱平面方向的运动受到阱壁的阻挡，以驻波的形式局域在势阱中，因而称之为“量子阱”。图 4 是由半导体材料 GaAs 和 AlGaAs 构成的量子阱结构示意图。

由量子阱材料做成的激光器峰值增益高，因而激光振荡阈值电流低；其次，它的张弛振荡（由于在激光器共振腔内部电子和光子有各自的弛豫时间常数，它们相互耦合，导致激光输出振荡的现象）高，可达 30GHz，也就是说，它可以成为高速率调制的激光器。它还有一个特 0010 点，激子光吸收几率大，在不太高的光子密度下（约 $10^{17}cm^{-3}$）便发生激子饱和吸收，这意味着利用量子阱材料可以制成输出光脉冲宽度为皮秒的激光器。

构成量子阱的两种半导体材料的晶格常数需要经过精心选择、调整，以保证它们之间有良好的匹配。这种要求限制了选择构成量子阱材料的自由度。为了扩大选择自由度，科学家们最近又研究出一种新型量子阱材料，称为应变层量子阱材料，它就是利用晶格常数不匹配的材料对构成的，分压缩应变层和拉张应变层两种。因为构成量子阱的材料对都非常薄，使界面层保持着在弹性限度内承受由于晶格失配而导致的内部应力，经过调整后会形成统一晶格的系统。应变层量子阱材料的能带间吸收弱，微分增益高，增益谱带宽。因此，用这种材料也可以制成性能很好的激光器，它最显著的一个特点是激光振荡阈值电流低。比如在室温条件下运转的 GaAs/AlGaAs 应变层量子阱激光器，振荡阈值电流只有 17 毫安；In-GaAsP/InGaAsP 压缩应变层量子阱激光器的阈值电流为 20 毫安。现在最好的水平已降低到 0.37 毫安。

光纤放大器和光孤子

利用光纤放大器可以使通信无中继器距离扩大，而同时又保持高传输速率。在光纤内掺入某些稀土元素（对于波长 1.3 微米的放大器掺 Nd^{3+} 或 Pr^{3+}，对于波长 1.55 微米的放大器掺 Er^{3+}），当它们在外来泵浦光源（比如下面谈到的微型半导体激光器）泵浦时，发生能级粒子数反转，会使在这根光纤内传播的光信号得到增强。

光纤放大器由激光二极管、光纤耦合器和一段掺杂光纤组成，图 5 是它的工作原理图。泵浦光通过光纤耦合器使在光纤蕊内的掺杂离子激发到高能态，形成粒子数反转。弱信号通过光纤耦合器也进入这段光纤，掺杂离子产生的受激辐射给这弱信号增加能量，使它的强度增大，而信号的频率、相位和偏振态保持不变。图 6 是光纤放大器器件，里面围绕在左边卷轴上的是一根掺杂光纤，它由一只微型激光器阵列泵浦（位于右上方的小金属盒内）。现在使用的有两种光纤放大器：波长 1.55 微米光纤放大器和波长 1.33 微米光纤放大器。它们所用的泵浦光波长是 1.48 微米或 0.96 微米。用功率 10 毫瓦的激光泵浦，可以获得 30～40 分贝的增益。光纤放大器的结构比中继器简单，而且增强光信号的能力也比中继器强许多倍；还能以更高速率传输信息，采用光纤放大器的光通信网络最终有可能每秒传送大约 2000～3000GB 的信息，到现在为止，还没有

其他技术能达到这个水平的传输速率。不过，需要补充说明一点：光纤放大器是起着增强光信号强度的作用，但不能说它是中继器。中继器是把光信号转换成电流，然后把这电流放大，再把它变换成光信号，光纤放大器并没有这种转换过程。由于光纤放大器有这么好的性能，所以在下一阶段的光纤通信技术中将使用光纤放大器替代目前用的中继器。美国电话电报公司和日本国际电信电话公司在铺设横跨太平洋的海底光缆时，就计划使用光纤放大器的光缆。每根光缆可以同时进行 50 万次电话通话的容量，为现有的越洋光纤通信系统的 12 倍。

光孤子是指在光纤中传输的激光脉冲中在满足一定条件之后形成的波包，它有一个非常重要特点：在传播过程中形状、振幅和传播速度保持不变；而且光孤子的宽度很窄，大约为 10 万亿分之一秒（10^{-13} 秒）。这意味着采用光孤子做信息传输载体，可以获得极高的信息传输速率。因为即使用的光脉冲重复率很高（脉冲间隔很小），它们也不会发生交迭。图 7 是普通光脉冲和光孤子的传输情况。

1980 年，美国贝尔实验室第一次在实验室中观察到在光纤中传输的光孤子。1988 年进行了长度达 4000 公里的光孤子传输试验；1992 年在传输速率为 10GB/s 的条件下成功地进行了 100 万公里的光孤子传输试验，其中每隔 8 万公里接一只光纤放大器。科学家们预言，到 1997 年将建成使用光孤子携带信息的通信系统。

为了实现用光孤子做通信载波，对激光器输出的激光波长、脉冲功率和形状都有一些要求。所用的激光波长需要是在光纤材料的负色散区（材料的折射率对于波长长的波反而变小的区域）。从理论和实验上现在已知道，玻璃光纤对于波长 1.3 微米的色散率接近于零。这意味着需要使用波长大于 1.3 微米的激光；其次，激光脉冲功率要足够大，如果使用的波长是 1.55 微米，使用的是硅光纤，那么，对于光脉冲宽度为 1ps 的激光，要求它的功率等于或大于 5 瓦。至于光脉冲形状，则要求它是脉冲宽度接近傅里叶变换极限的对曲线正割形。

信息高速处理的载体

从通信网络线路传送过来的各种文字、图象和声音信息，它们是用“0”和“1”编成的一串数字序列，不加处理和识别，则是我们看不懂的“天书”。把它们还原成我们通常看得懂的文字、图象的工作，是由计算机完成的。同样地，我们要传送的文件、报表、市场信息、科学研究资料，通过通信网络传送之前，也要由计算机变换成计算机使用的语言。人与人之间的对话，在将来是人机对话，以及计算机与计算机的对话。因此，信息高速公路不可能没有计算机，而且还要求有处理信息速度快、存储信息数量大的计算机。

自 1946 年第一台电子计算机问世之后，电子计算机的发展便很快，体积不断缩小，重量不断减轻，运算速度不断提高。第一台电子计算机由 18800 个电子管组成，重量 30 吨，占地面积 180 平方米，这样一个庞然大物每秒钟只能作 5 千次运算。今天，个人使用的电脑，每秒便可以运算 1000 万次，大型计算机每秒运算达 10 亿次；从重量来说，家庭电脑不到 1 公斤，袖珍电脑只有几十克重。不过，从信息高速公路的需要来说，特别是从对图象传输处理的要求来说，现有的电子计算机处理能力还需要更上一层楼方能胜任。

如何进一步提高计算机的工作能力？主要是需要用光子替代电子做信息处理的载体。

光子计算机

现在有的计算机是由电子来传递和处理信息。电子在导线中运动速度虽然比我们看到的任何运载工具运动的速度都快，但是，从发展高速率计算机来说，采用电子做输运信息载体还不能满足快的要求，提高计算机运算速度也明显表现出能力有限了。我们知道，任何金属导线都存在电阻和电容。从电磁学基本知识也知道，电阻和电容的结合会给在导线中传播的电子产生“阻力”，减低它在导线中传播的速度（传播速度大约只有光波在真空中传播速度的千分之一），这个现象又称时钟扭曲。由于存在这样一些问题，相应地也就出现这样的后果：电子对迅速的外来变化反应“迟钝”。当传递信息的载波频率很高（即信号变化速率很快）时，在导线上传递的电信号实际上跟不上要传递的信息信号变化。结果呢，就如同相声演员念口令，念得过快，舌头反应跟不上，念错了或走了调那个样子，被传递的信号要发生畸变，计算机的运算发生错误。其次，电子计算机的中央处理机虽然能够迅速处理数据，主存贮器能够吞吐大量的数据。但因为所有的数据信号都必须经过总线传递，而总线的电流密度如果太大，产生的电磁干扰也大。因此，电子计算机也会出现类似于高速公路交汇口由于狭窄，车辆通行速率受限制的现象，计算机和运算速度也受到了限制。还有，计算机使用的集成电子器件，它们因为受量子效应干扰，集成密度受到限制，理论上的集成密度最高为每块蕊片 10 亿个晶体管（在实际上达到的数量比这个数还要低许多）。

不用电子，用光子做传递信息的载体，就有可能克服前面谈到的那些限制，制造出性能更优异的计算机。用光子做传递信息的载体有以下几方面的好处：

（1）光子不带电荷，它们之间不存在电磁场相互作用。在自由空间

中几束光平行传播、相互交叉传播，彼此之间不发生干扰，千万条光束可以同时穿越一只光学元件而不会相互影响。一只 20×20㎝^{2} 的光学系统，能够提供 5×10^5 条并行传输信息通道；一只质量好的透镜能够提供 10^8 条信息通道。如果用光波导传输，光波导也可以相互穿越，只要它们的交叉角大于 10° 左右就不会有明显的交叉耦合。上述的性质又称光信号传输的并行性。

（2）光子没有静止质量，它既可以在真空中传播，也可以在介质中传播，传播速度比电子在导线中的传播速度快得多（约 1000 倍），也就是说，光子携带信息传递的速度比电子快。

（3）计算机内的蕊片之间用光子互连不受电磁干扰影响，互连的密度可以很高。在自由空间进行互连，每平方毫米面积上的连接线数目可以达到 5 万条，如果用光波导方式互连，可以有 4 万条。

所以，用光子做信息处理载体，会制造出运算速度极高的计算机，理论上可以达到每秒 1000 亿次，信息存储量达到 10^{18} 位。这种计算机称为光子计算机。

光子计算机由光学反射镜、透镜、滤波器等光学元件和设备组成。有模拟式与数字式两类光子计算机。模拟式光子计算机的特点是直接利用光学图象的二维性，因而结构比较简单。这种光子计算机现在已用于卫星图片处理和模式识别工作。美国以前提出的星球大战计划，就打算发展这种计算机来识别高速飞行的导弹图象。数字式光子计算机的结构方案有许多种，其中认为开发价值比较大的有两种，一种是采用电子计算机中已经成熟的结构，只是用光学逻辑元件取代电子逻辑元件，用光子互连代替导线互连。另外一种是全新的，以并行处理（光学神经网络）为基础的结构。

在本世纪 80 年代制成了光学信息处理机，1990 年数字光处理机也获得成功，它由激光器、透镜和棱镜等组成。虽然光子计算机已经成功，但在目前来说，光子计算机在功能以及运算速度等方面，还赶不上电子计算机，我们使用的主要还是电子计算机，今后也发展电子计算机。但是，从发展的潜力大小来说，显然光子计算机比电子计算机大得多，特别是在对图象处理、目标识别和人工智能等方面，光子计算机将来发挥的作用远比电子计算机大。

实现光子计算机的关键技术之一是激光技术，它需要一种性能特别优良的半导体激光器。

垂直腔面发射微型激光器

光子计算机对使用的激光器有很高的要求。首先是它的功率消耗要低，要小于或者相当于一个蕊片中逻辑门消耗功率的总和（大约为亚毫瓦量级），这才能保证整体不致承受过大的功率消耗；其次是噪声低，使得能够保证低的误码率（计算机互连的误码率应小于 10^{-15}）。再一个要求是方便互连。对于后一个要求普通端面输出的激光器，其输出的激光只能靠用光波导来互连。而如果有面发射的激光器，用它就可以实现自由空间光互连，既可以提高互连密度，同时又能使计算机空间尺寸和重量减小。从激光器的尺寸来说，半导体激光器已经是很小的了，它的长度比在超级市场条型码扫描器内用的 He-Ne 激光器短 100～1000 倍。但是，用在计算机内还是嫌它的尺寸太大了，最好还要缩小几百倍。

垂直腔面发射的半导体激光器和普通半导体激光器不同。从外观上看，它如同微型的可口可乐罐，激光束从垂直于衬底的方向出射（见图 8）；而普通的半导体激光器在外观上看是一块砖的形状，工作物质和激光器一样长，激光沿平行于衬底的方向射出。在结构上的这种改进意味着可以在一块晶片上每单位面积上可以安装许多器件。图 9 是在一块衬底晶片上制造的半导体激光器列阵，它总共有超过 100 万个微型激光器，最大的那些激光器的直径约 5 微米，最小的约 1 微米，长度约 6 微米，它们都是从圆形端面输出激光。

为了使激光器的阈值振荡电流低（现在已可以达到百分之几安培），整体消耗功率小，激光器的有源层（发射激光的那一层半导体材料）应做得很薄，一般是百分之几微米。然而这么一来激光增益长度就很短，为了要达到激光振荡，构成共振腔的两个反射面的反射率就需要很大才行（大于 99%），如果和普通半导体激光器那样，用半导体解理面构成共振腔，能获得的反射率一般只有 30%左右，显然是满足不了要求。为达到高反射率，办法是在有源层两侧各交替迭加许多层折射率不同的半导体材料，一个典型的微型器件，迭加的层数超过 500 层。利用多层材料发生的光学干涉原理，提高光的反射能力。所以，激光器的有源层虽然非常薄，但这些迭层加在一起，总厚度就在 5～4 微米了。

垂直腔面发射微型激光器起先是在镜面之间插入一些 1 到几微米厚的砷化镓晶片，然后把它们整体迭加粘合在一起而制成的。后来制造技术有了新发展。现在主要制造技术之一是采用分子外延，它将每个激光器的基材料以一层加一个半导体材料层的方式制造。数以万计或百万计的单个激光，通过深度垂直蚀刻技术切刻而成形。虽然制造技术上和原先的不同，但制造出来的激光器在放大镜下观察，依然能清楚地看到它们形成“罐形”的形状（见图 10）。

信息高密度存储载体

现代化的信息系统是由计算机集中控制管理，需要的数据从计算机数据库取出，显示在终端屏幕上，经过处理的信息又送进计算机的数据库存储起来。今天的计算机，其数据存储器主要是采用磁盘，它存储信息方便，又适合和计算机及现代化通信设备联网。但是，当把它用于图象资料的存储时，就显得有些“力不从心”。因为存储图象要求存储器有很大的存储容量。我们不妨算一算帐，存储一页 1600 汉字的资料需要 3.2KB 的信息存储量，而存储一幅标准影像，就约需 60KB 的信息存储量。因此，要信息高速公路能够高速率传输图象，需要存储巨额信息的存储器。用普通磁盘恐怕比较难胜任，因为需要的磁盘太大了。科学家估计，大概要起用光盘。光盘就是信息存储器的后起之秀。

光盘

这是利用激光写入信息和利用激光读出信息的光学信息存储器，因为它也和磁盘一个样，也是做成盘子状，所以人们把它叫做光盘。图 11 是记录电视图象的光盘（通常又称视盘）。在光盘上写入信息的原理是利用激光照射在记录薄膜上时，在照射的位置上烧出小坑，或者产生磁畴变化、相变，而没有激光照射的地方不发生这些变化。有变化的和没有变化的分别表示“1”和“0”两个状态。激光束在盘面上扫描完毕，也就完成了写入信息工作。

激光在光盘记录介质膜写入的每位信息占的空间尺寸，由作用在记录介质膜上的光斑尺寸确定。因为激光有很好的空间相干性，用光学系统聚焦后可以得到直径小于 1 微米的光点。就以 1 微米直径计，每平方厘米面积上能容纳的信息就可以达到 10^8 位,比磁盘的信息存储密度高两个数量级。现在，一张直径 30 厘米的光盘，可以存储 10 万张标准图象，或者 80 万页的中文资料。

从光盘上读出信息时也是用激光束。这种读出方式与盘面不发生机械摩擦，不会损伤光盘上记录信息的沟道。所以，只要制造光盘的材料化学性能稳定，原则上说它的使用寿命是永久性的。光盘也可以方便地与计算机及现代通信设备联接。因此，光盘技术发展很快，第一张光盘大约是在 1972 年问世，它是用激光在涂有记录介质的盘面上，以烧蚀凹坑的方式记录电视节目的。到 1979 年便出现记录信息速率达每秒 10 兆位，且能不经任何处理即可把记录下的信息取出来的光盘，原生误码率 10^{-5}～10^{-6}，经校正后误码率小于 10^{-10}，已基本上符合计算机的要求。光盘上记录的信息可以保存 10 年，也满足一般的存档要求。

现在已发展了三种类型的光盘。一种称为只读式光盘，盘上的信息是由专业生产厂记录后并复制的。激光唱片、电视唱片和电子出版物就属于这类光盘。光盘出版物的容量很大，有口袋图书馆之称。这类光盘最近又出现两种新品种，带盘和软光盘，它们在性能上又有了很大改进。首先是存储信息密度和容量更大，一只直径 12 英寸的带盘，存储信息容量达 1000 万兆字节，一只软光盘的容量也达 1000 兆字节；其次是价格更低廉，现时的价格是存储 1 兆字节的信息 0.5 美分，盒式磁带每兆字节的成本是 18 美分，用纸张记录一兆字节的费用更高，需要 3～6 美元。

第二类是可随录随放，但不能擦除信息后重复写入信息的光盘（称

需要全本请访问 www.ertongbook.com