

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

创造奇迹的光—21世纪的激光技术



目 录

序	朱丽兰 ()
编者的话	()
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、治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，

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。

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，它的弛豫振荡（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芯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），它们也不会发生交叉。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芯片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 $20 \times 20\text{cm}^2$ 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），这样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形码扫描器内用的 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 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ ，经校正后误码率小于 10^{-10} ，已基本符合计算机的要求。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

DRAW 光盘)。这类光盘主要用于文件档案存储、图纸资料存档、计算机外存、办公室文件编辑等。

以上两类光盘目前主要采用激光在记录介质上烧蚀凹坑写入信息。把要存入的信息数字化，变成二进制码后调制激光束。当激光束照射到光盘上的记录膜上时，便在它上面烧蚀出间距变化着的一串小坑，每个小坑的长度和相邻小坑的间隔按信息码连续变化。图 13 为光盘上的小坑轨迹示意图。

第三类是磁光盘，这是一种可以擦除信息，随录随放的光盘。它是利用激光束加外部辅助磁场在磁性多层膜上写入信息，而利用磁光效应读出信息。聚焦的激光束照射在磁性多层膜上，被照射点的温度上升，矫顽力下降。当温度超过居里温度时，在外加的磁场作用下会发生磁通反转，这便实现了信息写入。读出信息时用平面偏振的激光聚焦到读出区。因为表示“1”和“0”两种信号的磁体矢量相反，因此它们使反射的平面偏振光的偏振面产生不同角度的转向。经过检偏棱镜后得到的光强将不一样，探测器就可以识别收到的信息编码是“1”还是“0”，然后再由计算机对它们处理，就还原出存储的信息来。

第一代磁光盘使用的存储材料是非晶稀土、过渡金属合金膜，其中以铽铁钴和钆铽铁三元非晶合金膜的性能最佳。这类材料不足的地方是长期热稳定性比较差，对短波长激光的克尔转角减小的势头比较大。第二代磁光盘存储材料是石榴石膜，钇钆多层膜，它们有很强的垂直膜面磁化方向。对长波长（~800 纳米）激光的克尔转角比非晶膜高，对短波长激光的克尔转角则明显比非晶膜大。

光子选通烧孔存储器

调谐入射到介质的激光频率，从物质吸收谱的一侧扫描到另一侧，会发现透射光强度在几个频率位置上出现峰值，而在吸收光谱带上相应的地方出现凹陷，如图 14 中 a, b, c, d 表明的地方。这些凹陷的地方叫“光谱孔”。有孔和无孔的地方可以代表“1”和“0”两个状态，亦即利用这个现象可以实施信息记录。在光斑平面位置不变的情况下，调谐激光频率可以在吸收带上烧出多个孔。也就是说，在一个光斑位置上可以存储多位信息。因此，利用这个办法可以获得比光盘更高的信息存储密度，估计有 1~3 个数量的提高。

用同一频率的一束激光写入“孔”和读出“孔”，反复读写后会使原来的孔变得模糊，降低了信噪比。后来采用选通光谱烧孔材料，即写入时用频率 ε_1 和频率 ε_2 的激光共同作用于材料上，而读出时则只要用频率 ε_1 的激光照射就行，而且所用的光功率比写入时低许多。用这个办法可以使多次重复读写后也不影响原先烧的孔的质量，保证了读出的信息有比较高的信噪比。用这种信息记录方法时使用的记录介质由两种材料组成：客体 and 基体。客体是光学活性分子，在光子作用下能量状态会发生变化，随后即引起某种物性变化，记忆写入的信息。基体的作用主要是控制客体分子的光谱宽度，其次是给光学活性分子提供作用场，使它在有信息输入时发生正向反应，抑制反向反应。

需要短波长激光

提高光学信息存储器信息记录密度的方法可以从几方面着手，从对光源方面来说，主要做法是缩短使用的激光波长、增大聚光透镜的数值

孔径和采用光学超分辨技术。激光束经光学系统聚焦，能得到最小光斑直径 d 由衍射极限规定，数值由下式计算：公式中的 λ 是激光波长，NA 是光学系统物镜的数值孔径。显然，使用波长短的激光可以在记录介质上产生直径较小的光斑，因而也就可以减小每位信息所占的空间尺寸，提高信息记录密度。表 1 列出采用几种不同波长的激光记录时，得到的信息记录密度变化情况，其中取采用波长 780nm 的激光记录时的信息记录密度为 1。从表中列出的数字我们看到，用蓝光记录时得到的信息记录密度将比现时用波长 780nm 记录高 5 倍。

表 1 几种不同激光波长记录信息时得到的信息记录密度的对比

激光波长 (nm)	780	670	532	419	266
数值孔径 (NA)	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
光斑尺寸 (μ m)	1.59	1.14	0.90	0.71	0.45
相对信息密度	1.0	2.0	3.1	5.0	12.5

现在获得短波长激光的办法有两种，一种是把输出波长 830nm 的半导体激光器（它是目前输出功率高、使用寿命最长的半导体激光器）输出的激光通过非线性晶体，利用光学倍频效应，产生波长为 415nm 的相干光。利用这种波长的激光现在已在 5.25 英寸双面光盘上获得每英寸 2.5GB 的信息记录密度，数据存储容量比先前提高 5 倍。第二种办法是制造输出波长在蓝绿波段的半导体激光器，比如用 II-VI 族材料（例如 ZnSe）可以制作输出在这个波段的激光器。用这个办法有可能获得体积比用倍频方法小巧、价格更低廉和功率损耗更小的激光器件。蓝绿波段半导体激光器的研究进展情况大体上是这样。1991 年在温度 77K 的条件下获得脉冲激光输出；1992 年在室温条件下获得脉冲激光输出，在 77K 低温条件下获得连续输出；1993 年初在 200K 温度条件下获得连续激光振荡，到秋天在室温（23℃）条件下获得连续激光，但工作时间很短，只有几秒时间。从实用的要求来说，必须能在 0~70℃ 的温度范围内工作万小时以上。现在人们正在朝这个方向努力，估计到 2000 年可以实现这个目标。

光学超分辨技术是通过改变激光聚焦的焦点在光盘记录介质上的功率分布，即把功率最高点的位置从光束中心向边缘移，同时通过衍射效应产生直径更小聚焦光斑的技术。用这个办法也可以在不增大数值孔径 NA 或者减小激光波长的条件下提高信息存储密度。

农业丰产的道路

我们吃粮食、蔬菜、水果和鱼肉；穿的衣服和盖的棉被，都是靠农业生产出来的。要丰衣足食，农业需得搞好。提高农业生产技术水平的基本出路在于采用新技术。激光技术能帮助农业生产走向现代化。

农业与科学

近百年来，依靠了科学技术的力量，农业生产技术水平不断提高。在 19 世纪初，大约要 9 个农民种地生产的粮食才可以养活 1 个城镇的居民；今天，农业生产技术水平比较高的美国，平均 1 个农民种地打的粮食足够养活 100 个城镇的人，前后相差多大！墨西哥原先是一个缺粮国家，自己生产的粮食不够用，每年要从国外购进大量的粮食（大约占全国用粮的 15%~20%）。原因很简单，小麦产量低，平均一亩地打的小麦只有 60 公斤左右。可是，到了 1967 年，墨西哥的粮食生产发生巨大变化，打的粮食不仅自己够用，还有剩余，成了粮食出口国。

前面说的这些变化，是科学技术使农业生产技术水平不断提高的结果。以墨西哥来说吧，针对小麦产量低的问题，他们的农业部和美国洛克菲勒基金会的一个农业小组联手合作，研究如何提高小麦产量。他们采用杂交技术培育小麦新品种，经过多年的科学实验，终于在 1961 年培育出一种新的小麦品种，它的产量比过去高许多。到 1969 年，小麦平均亩产就达到 200 多公斤，比 1950 年的产量增加了 2.3 倍。利用科学技术提高农业产量的事例还不只是墨西哥。1965 年，菲律宾国际水稻研究所，在广泛搜集世界水稻品种的基础上，进行了大规模的杂交试验，培育出了一种水稻新品种，它一季种植的收成，每亩可打 600 公斤。在热带地区一年可以种植三季，也就是说，一亩地一年可以收获 1800 公斤的粮食；菲律宾在全国大面积推广种植这个水稻品种，全国粮食产量大幅度增加，也成了大米出口国。日本为了提高农业产量，建立了先进的选育良种、繁殖体系及制度。他们每隔三年全面更新一次种植的种子，水稻生产产量水平不断提高，在 50 年代至 70 年代中期这段时间内，水稻平均亩产量每亩递增 5.5~8.2 公斤，到 1975 年，平均亩产量高达 412 公斤。美国也十分重视农业生产技术，从 1933~1963 年这 30 年时间内，美国的玉米平均亩产量增加了 188 公斤，其中有 75 公斤是采用了杂交技术，改良了玉米种子的结果。科学家们作过估计，美国采用了杂交技术，至少使它每年多打 190 亿公斤的粮食。

我国农业科学家采用的新技术，在提高农业生产技术水平方面也取得了许多成就。我国农业科学家袁隆平利用杂交的办法培育的水稻新品种，已推广到世界上差不多所有的水稻生产国种植，而且普遍获得增产，增产的数量比在菲律宾培育的那个品种还高！我国用光助素（含有作物生长所必需的多种微量元素以及能够发射供作物选择吸收的光辐射的农用肥料）、农用调光膜和光辐射转换膜等，也使农业作物的产量提高。在松江平原、三江平原和黄淮一带推广使用，农作物平均增产 10%~15%，谷物内含的粗蛋白增加 3%~6%，淀粉增加 5%，维生素 C 也增加。化肥经过磁化处理后再使用，也有使农作物增加产量的效果。有人作过这样的试验，把尿素、重过磷酸钙、磷酸二铵等几种化肥，经磁化处理后给小麦施肥，结果发现小麦的穗长增加，颗颗饱满，产量增加 10% 左右。

我国人口众多，已达到 12 亿；而可耕种的土地面积却又不多。有关绘测数字显示，我国平均每个农业劳动力负担种植的面积不到 5 亩，远远低于国际水平。美国每个农业劳动力平均负担种植的面积是 1250 亩，

日本也有 10 亩。要让我国自己生产的粮食够自己用，同时又能满足人口增长的需要量，必须重视农业生产，采用科学技术；开发和利用农业资源；培育新的农作物品种，提高农作物的产量和质量。在这些工作中，激光技术会给我们一些帮助。

从种子入手

我们都知道，好的苗种出来作物，以后长势好，产量会高。好的苗要有好的种子，所以，选种也是农民十分重视的工作。在播种前对种子作适当处理，也可以育出好的秧苗。

激光器发明之后，科学家凭着“万物生长靠太阳”的经验，开始试验在播种前用激光照射处理的工作。试验发现，在播种前用激光照射过的种子，发芽时间缩短，对于小麦来说，一般缩短一倍左右，发芽率提高，绝大多数的种子都发芽，发芽率比没有受激光照射的增加10%左右。科学家又对秧苗的生长状况、生长的植株、抽穗等情况进行跟踪研究观测。图15是水稻秧苗苗期长势情况的对比，左面的照片是种子经过激光照射处理后育出的秧苗，右面的照片是种子没有经过激光照射育出来的秧苗，从照片上我们看到，经激光照射处理后播下的种子，育出的秧苗生长比较快，长势也比较好，粗壮、均匀整齐。图16是植株株型的对比，图中右面的是经激光照射的种子生长出来的稻株，左面的是没有经激光照射处理的。从照片上我们看到，激光照射处理过的种子，生长出来的水稻植株粗壮，长出的稻穗长、重量重。事实上，用激光照射处理过的种子种植后，收成会增加。根据一些统计资料，用CO₂（二氧化碳）激光照射浙麦1号的种子，种植后的收成比原先提高20%左右。在营养成分方面也有改善，蛋白质含量约15%，面粉出粉率为72%，都比没有经过激光照射处理种植的高。

大豆种子在播种前用激光照射处理，也有改善生长性能和提高产量的效果。根据安徽省激光科学工作者的研究结果，生育期缩短，大约只有110~120天，比他们省以往认为品种比较好的苏协1号、苏豆1号等大豆的成熟期提早2~18天。结的豆荚数目增多，豆荚的豆粒数多且饱满，产量增加25%。在营养成分方面也有改善，脂肪含量21%，蛋白质含量45%，均比没有受激光照射处理的种子种出来的大豆高。

此外，在播种前用激光照射油菜、黄瓜、西红柿、青瓜等的种子，也有提高发芽的效果，提高的比例达12%~20%；也有使秧苗长得快，开花结果提早，以及提高产量的效果。用激光照射处理过的油菜种子，种植后的油菜籽产量提高20%左右；用激光照射处理过的高粱种子，产量可以提高9%左右。

用激光照射处理农作物种子的手续并不复杂，处理用的激光系统也简单，一般有初中文化程度的技术员，学习几天就会掌握使用。

还未解开的谜

用激光照射处理过的种子，播种后发芽率提高，种植后获得好收成。但是，也有这种情况：经激光照射处理后不出现前面说到的好处，有时甚至还出现减产的事。科学家们研究过，这种事和照射用的激光波长，以及照射时使用的激光功率密度有关。基本的规律是，对于不同种类的作物种子，需要用不同的激光波长；有的作物种子对这种波长的激光敏感一些，用它来对作物种子进行诱变，就得到好的结果；而它对另外一些波长的激光不敏感，用它照射后诱变效果差一些，或者不出现诱变。一般来说，使用在紫外波段的激光，引起作物发生有益的诱变相对多一些。照射时用的激光功率密度适量，有利于作物往好的方向诱变，如果激光功率密度过高，这反而使种子“致死”，造成发芽率下降。但似乎并不存在使作物获得最好诱变效果的照射功率。为什么作物种子对不同波长有不同的敏感能力？照射的激光功率密度变化，为什么也会引起诱变效果变化，目前还未找到完满的答案。

我们知道，生物体是有遗传特性的。经过激光照射处理的种子，种植以后收下来的种子不经过激光照射处理，它还能保持已获得的发芽率高、提早成熟和增加收成的品质吗？试验发现，由激光引起的变异，有的能够遗传，有的遗传能力逐年衰退，有的则不能遗传。这些情况如何从遗传机理作出解释，也还待研究。

用激光照射粮食作物的种子，种植后一般是结出的穗数增加和每穗的穗粒数增多，但是每千粒穗粒的重量（通常称千粒重）却往往下降。假如我们能同时保持千粒重不变，那末，用激光处理种子，获得的增产幅度就更大，是什么原因导致激光照射处理的种子种植后千粒重下降？其中的原因现在也还没有弄得明白。

除了用激光照射种子，可以改善作物的特性之外，用激光在大田照射秧苗或者植株，也能够引起作物生长特性发生变化。比如，用激光照射青瓜和西红柿的植株，能够使它们开的雌花数量增加 1.5 倍，产量提高 20% ~ 30%。用激光照射果树的树芽，可以改变果树开花结果的性能，也获得提高产量的效果。有人曾经用机械扫描的方法将激光照射冬天的树木，树木的生长速度能加快 1 ~ 2 倍；用激光照射生长中的甘蔗，营养生长期延长，提高了甘蔗的产量和质量，用激光照射大豆秧苗，会使植株变矮，结荚多而饱满。用激光照射作物种子时，激光刺激种子的胚胎，改变胚和胚乳细胞代谢过程，使之更快发育生长，这个说法可以让我们接受。激光照射植物时，又是通过什么途径影响作物的生长？其中的道理现在也没有弄清楚。

还有的农业科学家作过试验，不用激光照射作物的种子，而是照射水。种子用激光照射处理过的水浸种，发芽率也提高，种植后也有增产的效果；大田灌溉用的水经过激光照射处理，能让作物加快生长，同时也增加收成，而且增产幅度比用激光照射处理种子得到的还大。这又是什么道理？

激光能够使农作物增加收成，但是，其中的奥秘还未解开，等待我们去探索。

改良水果

改良水果品质，提高水果产量，满足市场需要，这是果农和消费者的共同愿望。把激光技术引入到果树栽培中去，给我们带来了不少好消息。比如说吧，沙田柚是在我国广西壮族自治区沙田村生产的名果，它的果肉味甜柔嫩，国内外消费者都喜爱吃。美中不足的是它的果肉籽太多，平均每个果内有 140~150 粒籽。这个毛病人们一直想把它改掉，但是始终收效不大。广西大学的激光科学工作者采用激光技术对它进行改造，现在收到了十分好的效果。用激光培育出来的柚子树结出的果，里面含的籽数目大大减少，大约还有 10% 的果子内一粒籽都没有。不只这样，它的果肉比原先还更甜，而且每棵树结的果子数目也增加了许多，大约比过去多 150~200 个。以往一朵花序结两个果就很少见了，现在一朵花序结 2~3 个果并不稀奇，还出现一朵花序结 40 个幼果的事。

一些名水果，它们的产量却往往比较低。比如一种称为“砂子早生”的桃子树，它结出的桃子肉厚甜嫩，是生产水果罐头的好原料。但是，单一栽培时它开花多，结的果子却不多。现在用激光技术把它的这个弱点给改正了。用激光照射的办法育出取名“砂激”的砂子早生果树，它能够无性繁殖，由低产变成高产，坐果率达 80%，产量比过去提高 4 倍。营养成分也获得改进，果肉比先前更厚、更甜。

不同国家的人，对诸如桔子、柑、橙、苹果等水果的口味要求有些差别，一些国家的人喜欢带点酸味的水果，我国人则多数喜欢甜味比较浓的水果。现在，利用激光技术也可以“设计”出不同口味要求的桔子树、柑树、橙树和苹果树。水果生产更加丰富多彩了。

让牲畜多子多孙

猪肉、牛肉、羊肉、兔肉、鸭子肉……，这是餐桌上常见的菜肴。怎样提高这些牲畜家禽的产量？科学家们说，采用激光技术是一条路子。

我们知道，采用人工受精技术是繁殖牲畜的重要手段。而延长精子保存活力时间则又是人工受精工作中重要的一环。特别是在牧区，牲畜多、人手少，更需要设法延长精子的保存期。采用冷冻是一个办法，但是科学家们说，用激光处理的办法更好。牲畜的精子经过适量的激光照射，能够提高它的活动能力，延长它保存活力的时间，而且还能提高精液品质，亦即提高牲畜受精怀胎的能力。科学家作过测试，发现激光可以改变精液中和精子内酶的活性，亦增强了精卵相互作用的机会，以及穿入黄膜的能力。现在，用激光的办法，在培育番鸭、羊、家兔等牲畜中，已取得了比较好的效果。

举个例子来说，番鸭我们多数人都喜爱吃，它也是一种滋补壮身的食品。科学家发现，用雄番鸭的精子通过对麻鸭人工授精的办法育出的半番鸭，是比较好的瘦肉鸭，而且它生长快，抗病能力强，在大批生产的鸭群中死亡很少。看来，繁殖这种半番鸭的经济效益是不错的。要让鸭子繁殖得多，关键就在人工授精这一环工作。激光科学家作的实验说明，用激光照射过的雄番鸭精子，保存活力时间大大延长了。在室温（20～25℃）的条件下，可以保存36～48小时，在6℃的低温条件下可以保存60小时。而如果不用激光照射的精液，在室温条件下仅能保存12小时，在6℃的低温条件下也只能保存24小时。

对于山羊、家兔等精液用激光照射处理，也能明显地延长精子的保存活力时间，分别可以延长到48小时和72小时，精子活动能力提高15%左右。

用激光透过蛋壳照射蛋种的受精点（胚盘），可以减少鸡胚在发育过程中的死亡率，提高孵化率。根据一些养鸡场的统计资料，用激光照射的办法得到的孵化率可达90%以上，而通常的孵化率是80%左右，亦即用激光可以提高孵化率8%～10%。用激光照射的办法还有两个好处，出雏的时间比较集中，一般12小时左右便可以出齐，而通常则往往要24～30小时才能出齐；出来的小鸡体魄健壮，几乎没有弱雏；而通常则总有2%～3%的弱雏。由此看来，激光技术会使鸡群发达，为我们增加更多的鸡肉。

我们吃的牛奶是从母奶牛中挤出来的。提高牛奶的产量，先要养的母牛多，产的小牛犊要多。但在牛群之中总有10%～20%的母牛患上不育症。患有这种病的母牛不但不能生小犊，而且产奶量也下降。有的母牛因为屡配不孕，最后不得不把它杀掉卖肉。治疗母牛不孕症的办法虽然也不少，但总的说来疗效还不够理想。现在用激光治这种病，得到相当好的效果。根据介绍，东北一家农学院在哈尔滨市、肇东县、海伦县、杜尔伯特蒙古族自治县等的九家养牛场，用激光束照射肛门上方“交巢穴”的办法，治疗89头患有不孕症的母牛，治愈率达到93%。用同样的办法也可以治患有不孕症的母马。用激光治疗，除了能够得到比较高的疗效之外，还有治疗手续比较简便，容易掌握，治疗又比较安全等优点。

要让牲畜旺相，还要能有效地给牲畜保健治病。比方说吧，猪场中的小猪会患白痢症，而且发病率还比较高，常常会引起大批新生小猪死亡。治疗这种病的方法不少，也有一定的疗效，但疗程比较长，而且容易复发。另外，逐头小猪喂药，着实也比较麻烦，不时也发生因为灌药时猪受呛而引起异物性肺炎，结果也造成小猪死亡。现在用激光来给小猪治白痢症就方便简单得多：用一束激光对准小猪肛门上方的交巢穴照射1~2秒钟，便可以把它病治好，治愈率达90%以上。

犊牛消化不良症是幼年的常见病。发病率很高。现在用激光给它们治疗，手续也很简单，大多数犊牛用激光照射一次便治好，而且复发率低，大约只有9%（普通治疗方法的复发率可达30%）。

说来似乎比较玄，用激光束照射一下肛门上方的“交巢穴”就能治好病，有什么道理吗？科学家作过研究，发现用激光照射肛门上方“交巢穴”后，增强了胃蠕动功能，于是牲口的食欲和消化功能便得到提高。同时“交巢穴”这个部位有丰富的外周神经及植物神经末梢，在激光的作用下，与这些神经相连接的器官，比如子宫、卵巢等盆腔器官，也直接或者间接地受到刺激作用，调节体内生殖激素动态平衡。也就是说，由消化系统功能失调引起的疾病，以及由于生殖器官发生的疾病或机能异常引起的不育症，在激光的刺激下会得到治愈。

激光养鱼

鱼的味道鲜美，营养丰富，它含的蛋白质占其重量的 1/5 左右，其中还含有人体所需要的各种氨基酸。此外，鱼肉中还含有为人体所容易吸收的脂肪和钙、磷、维生素 B。所以，鱼是深受人们喜爱的食品，也是我们餐桌上的佳肴。怎样发展渔业生产，增加鱼的生产量，也成为渔民和消费者共同关心的事。现在吃的鱼多数是人工养殖的，因此，养好鱼、多养鱼，是发展渔业的重点工作。科学家们说，采用激光技术，会帮助我们做好这件事。

前面我们谈到过，用激光透过鸡蛋壳照射胚胎，能够提高孵化率。根据这个启示，养鱼工作者也试验用激光照射鱼卵，期望提高鱼卵的孵化率。现在做的初步试验已经发现，在激光的作用下鱼卵发育成小鱼的几率是增大了。而且，用激光照射小鱼，也有促进它生产发育的效果。鱼儿会比过去长得快、长得长、长得更重，有些鱼经过激光照射，体重比先前还增加一倍呢。可以说，用激光有可能使鱼儿长得又快又肥大。

用激光也可以改变鱼的生活习性。在热带生活的罗非鱼，肉质鲜美，很受人们的喜爱。但在我国沿海养殖的小鱼的成活率不高，主要是它对我国沿海海水温度变化不适应。后来，用激光技术使它们的生活习性得以改造，能适应我国沿海涨水生活环境，自然水温从 19 降低到 13 ，存活率比过去提高了 25%。

激光渔场

科学家正在提出一个大胆的设想，用激光技术辟渔场。现在的人工养殖渔场是在近海附近，随着渔业的发展，渔场要发展到深海。我们知道，形成渔场的首要条件之一是要保证鱼儿呼吸的氧气和食的饲料。鱼儿吃的是多种微生物和水生植物，水下的氧气也是由植物产生的。太阳光只能透过水深 20~30 米，没有阳光，微生物和水生植物也就难以生长。为了解决深海中的光照问题，科学家提议通过光纤把激光束输送到深海。在激光的照明下，能够使水底藻类加强光合作用，提高它在深海的产量。用这个办法估计可以在深海建立起鱼儿生活的环境。

另外，怎样把鱼儿围起来不让它们逃到别的地方去？科学家也设想用激光束做“栅栏”，把鱼儿圈定在一个区域内。科学家为此也做过一些试验，每隔 6 小时到 18 小时往深海发射一束激光脉冲，在激光束照射过的范围内，可以转住 65% 的黄鲷鱼。如果使这种做法更完善一些，能转住鱼儿的比例还可以更高。

激光可以治牲畜的病，同样也可以防治鱼儿的病，以保障渔场中的鱼儿健康生长。比如说，用激光束可以把附在黄鲍壳上的苔藓虫杀死，从而提高了鲍鱼的成活率；用激光照射的办法可以提高鱼的活力，降低死亡率。根据对罗非鱼作的试验对比，通过激光照射的办法，能够使它的死亡率降低约 1/3。

发展渔场还有一项重要工作，那就是防止渔场发生污染，所谓赤潮便是威胁鱼类生长的海洋污染，它是海洋浮游生物中个别种类突发性异常增殖的结果。因此，及时掌握海洋上浮游生物的异常增殖情况，预报赤潮的生长，及时采取相应的防治措施，消除可能发生的赤潮，是保证渔场生产发展十分重要的工作。做这项预测工作，激光技术也是好帮手。浮游生物如红藻、绿藻、蓝藻、黄金藻、眼虫等，它们含有的色素不相同，在受到激光照射作用时发射的荧光光谱分布不同。所以，只要用探测仪器把激光束激发它们产生的荧光光谱记录下来，就可以了解漂泊在海面上的浮游生物种类，以及它们在海面上的分布状况。基于这个原理，现在业已制成用于测量海面浮游生物分布的机载海洋激光观测装置，使用的是倍频 Nd YAG 激光器输出的激光波长为 532 纳米（在绿光波段）。观测方法有两种，一种是测量存在海面表层（约 2 米厚）上的浮游生物在激光作用下的荧光，由它可以提供海洋表层浮游生物的量。另外一种是在海洋深外（约 50 米）由浮游生物对激光产生的散射光，由它可以提供浮游生物在海洋深处的分布。因为从海洋深处来的散射光信号强度比较弱，所以，用这种机载探测装置探测 50 米以下的浮游生物分布比较困难，因此，现在又制成了船载型海洋激光观测装置，探测 30~50 米深度的浮游生物分布。从船上往水下发射激光束，在船上探测从水下返回的荧光和散射光，便可以了解水下的浮游生物状况。

激光预报农作物长势

预先了解农作物的长势，了解它们是否缺水，或者缺肥；是否遭到病虫害的侵袭，这是件很重要的工作，它能让我们及时采取措施补救，以保证农业生产有个好收成。在法国一个葡萄园种植主人，就是利用光学方法预报了葡萄对他的葡萄园的侵害，及时制定了补植计划，保证了收成。葡萄对葡萄树造成的损害通常要到这种昆虫已在树上长了两三年后才被察觉，到那个时候葡萄树已发生迅速衰败，并使果实不能成熟，无法收成。

用激光技术可以帮助我们做农田预报工作。做法有两种，一种是根据激光在农作物叶片上的反射光谱，另一种是利用农作物在激光作用下产生的荧光光谱。此外，也可以利用农作物对激光产生的散射光谱。

我们知道，光束射到物体的表面时，有一部分光波将从表面反射，在这反射光束中含有物质表面成分的信息，利用这个原理，再加上遥感技术，便可在大面积范围内了解作物的长势。人们从实验中发现，生长发育状况不同的作物，它们在激光照射下形成的反射光谱曲线不相同。图 21 是正常生长的作物和受到虫害影响的作物所得到的反射光谱曲线。生长良好的作物，其反射光谱曲线上在波长 450 纳米和 650 纳米附近各有一个反射极小值，在波长 550 纳米附近有一个小的峰；而对于受到虫害影响的作物，在波长 550 纳米附近这个峰消失，在红外波段的反射光强度下降。所以，当我们从高空向大田发射激光并用它在作物上扫描，然后用光学系统收集从它们反射回来的光辐射，用光谱仪器把它展开成光谱图，并和预先对各种作物在不同生长状况下（比如受到某种病虫害的，或者缺水，或者缺少某种肥料）的反射光谱图相对比，也就知道作物的生长情况了。

在激光的作用下物体会发射出荧光。对于农作物来说，根据科学家实验研究的结果，绿色作物叶子的激光荧光可以分为蓝色荧光带和红色荧光带。蓝色荧光带的中心波长位置在 440 纳米附近，红色荧光带中心波长位置在 690 纳米和 730 纳米附近。根据这些荧光带峰值强度的对比值，我们可以了解作物的类型、叶子氮素含量，它们是否缺水、缺肥等情况。因为探测工作是对作物叶子进行的，不受水体、土壤等背景的影响。所以，用这个办法进行探测作物长势，可以获得比较高的探测信噪比。现在，美国、德国、法国等国家，已制成各种机载激光雷达，专门用来调查农作物和森林生长状况。

此外，接收从作物散射回来的激光信号，也能够了解作物的生长状况。比如说，小麦在不同生长时期的光学散射系数是不同的，因而，从光学遥感技术得到大田的作物散射光谱图，便可以了解小麦的生长期和生长状况。同时，不同种类的作物，它们的散射光光谱图也不相同。所以，利用得到的散射光谱图，也能达到作物种类鉴别的工作。

除草灭害虫

大田中生长的杂草，它们和农作物竞争肥料养分，又影响农作物的光照和通风。所以，除草也是保证农作物丰收的一项工作，科学家为此也研制出各种除草机械和除草化学剂。有些化学除草剂效果是不错的。但是，作为一种化学药品，或多或少会造成环境污染，而且使用时间长了，杂草对药物适应了，除草效果也下降。用激光可以除草。因为杂草和农作物的叶子含的叶绿素不一样，我们选择属于杂草叶子吸收最强的激光扫描大田，杂草叶子因为吸收过量的激光能量而枯萎、消失，农作物的叶子吸收到的激光能量比较小，对它的生长不产生威胁。用这个办法除杂草，可以避免污染环境。

虫害是农业生产的另外一种灾害，根据一些统计资料，每年因虫害造成的农业损失，估计达千亿美元。因此，消灭农作物的病虫害是农业生产的大事。现在灭虫的主要办法是使用农药。但是，农药用得多了，害虫也对它产生抗药能力，失去消灭它们的作用。大量使用农药，也造成环境污染，甚至构成影响人体和牲畜健康的因素。因此，科学家也在想用激光来灭虫害。

用光束消毒，用光束引诱害虫并消灭它，这是我们已经知道的事。用激光来灭虫，也是顺理成章的事。科学家做过实验，经 CO_2 激光，或者 Nd YAG 激光、钕玻璃激光照射的害虫，表皮发生开裂，造成脱水而致死，用这个办法照射玉米象成虫，谷蠹成虫，它们的自然死亡率大大增加。在强度比较高的激光作用下，虫卵的孵比率大大降低，也阻止了害虫的繁殖。用氩激光照射，能有效地杀死在水中的子和其他害虫。利用害虫复眼对不同波长的光的识别能力，用可调谐激光可以诱使害虫进入捕虫器，最后把它们杀死。

用激光灭害虫的时候，会不会同时把益虫也一起杀死？科学家经过研究，发现不同种类的昆虫，它们对不同波长的光有不同的敏感性，因此，我们可以通过选择激光波长，专门杀死害虫，而不伤害益虫。所以，用红色的红宝石激光，可以杀死外皮颜色深的皮蠹虫、棉红蛛、红叶螨等害虫，而不会损伤颜色比较浅的其他昆虫。

神光神医

人的一生恐怕不会不到医院看病。是医生利用掌握的医疗技术驱走我们身上的病魔，还我们一个健康的身体。医疗技术在不断提高，把病治好的能力也在提高。大家都盼望医疗技术水平不断提高，所以，每当一门新技术问世，科学家和医生总在努力把它引用到医疗中来。激光器问世第三年，人们便把它用到医院来给病人治病。经过 30 多年的发展，用激光已经可治许多病，而且疗效还挺不错，有些过去治不了的病，用了激光就能见效，一些患了疑难杂症的病人，也获得一线康复的曙光。

攻克癌症

婴儿呱呱落地，第一眼的感觉便是光亮。光给世界装扮得万紫千红，也给我们送来美的感受。光能不能同样地给我们治病，让我们有个健康的身体？科学家很早就开始探讨这个问题。在 1902 年，一位科学家采用红光治疗天花病患者，发现能够减轻患者发热和化脓等症状，在比较短的时间内恢复了健康，而且还不留下疤痕。这位科学家因为这项研究取得的成就还获得了诺贝尔奖。后来，科学家们的研究又发现，医疗效果和光的偏振性、相干性等有关系。激光有非常好的相干性，偏振特性也能够很好地控制。所以，用激光来治病，将会获得更好的效果。果然不出所料，采用激光治病，的确有比较好的疗效，更引人注目的是用它能治疗一些疑难杂症，治癌病就是其中的一个例子。

癌是威胁人类生命的主要疾病之一。由于它的形成、发展的机理还没有完全弄清楚，因此，还没有找到有把握制止它的手段。正因为这个原因，世界各国科学家都在努力寻找攻克癌症的方法，激光是他们寄予很大希望的方法。用激光可以治疗癌症，也可以用于诊断病人是否患有癌症。

用激光治疗癌症的做法大体上有两种，一种是用“激光刀”切除癌肿瘤，另一种是用所谓激光动力学方法。

能量比较高的激光束照射到组织上，会使组织温度升高而发生汽化。因此可以直接用激光加热汽化掉位于人体外表的癌肿瘤。对于体积比较大的肿瘤，或者是长在人体内部的大肿瘤，则先用激光束的能量加热烧结在它周围的血管，使癌组织与周围组织“断绝流通”关系，减少癌细胞扩散转移的机会，然后用激光切除癌组织。

激光动力学治疗是采用激光和药物共同配合的医疗方法。使用的药物要有这种性质：它对癌组织有比较大的亲合力，而对正常组织的亲合力很小。或者说，这种药物在癌组织上停留的时间比较长，而在正常组织上几乎是不停留。一种称为“血卟啉衍生物”的药物就有这种特性，把它注入到人体后在 12~24 小时这段时间内，集合在癌组织上的药物浓度很高，而在正常组织上的浓度很低。在这个时候我们用属于血卟啉衍生物光学吸收带的激光（红光）照射人体上患有癌症的部位。汇集在这里的血卟啉衍生物吸收了激光的能量后发生光化学反应，生出单态氧。它是一种非常强烈的氧化剂，和它相接触的细胞将发生强烈的氧化反应，最后被破坏致死。在正常组织上血卟啉衍生物的含量极低，即使激光照射到它，在这里发生的光化学反应也很微弱，生成的单态氧很少，因此不会构成损伤正常组织的威胁。用这个办法治疗癌症效果看来不错。据介绍，治疗膀胱癌、食道癌、直肠癌、结肠癌和支气管癌等，成功率达 70%~80%。美国 1989 年约有 100 家医疗中心对 5000 病人采用了这种方法治疗，估计到 1996 年便有 400 家医疗中心采用这种治疗方法，每年为 130 万病人进行治疗。这种医疗方法唯一的副作用是，治疗过后 4~6 个星期内需要避开太阳光，不然可能会出现皮肤发痒的感觉，或出现红斑水肿等症状。

能够及早诊断病人是否患有癌症，对于提高治疗的成功率十分有意义。但是，癌细胞和正常组织细胞常常是生长在一起，不把它切除下来

进行所谓“活检”，是比较难做出判断病人是否真的患上癌症。这也就给早期诊断癌症带来困难。现在，用了激光技术之后，不用作活检也能作出诊断。

前面我们谈到过，血卟啉衍生物和癌细胞的亲合力比较大，注入这种药物后不久，聚集在含有癌细胞的组织上的药物浓度比较高。血卟啉衍生物在激光的作用下会发出橙红色的荧光，所以，注射了血卟啉衍生物的病人在受适当波长的激光扫描人体时，如果在照射的部位发射出属于血卟啉衍生物特征的荧光，便说明这个部位有癌细胞。产生的荧光强度比较强，用肉眼就能直接看到。所以，这种诊断方法比较简单。如果是对在体内的器官做检查，可以在内窥镜上配置光导纤维，用它传递激光照射体内的器官，由内窥镜观察它是否发出橙红色的荧光，便可以完成检查工作。

心脏病患者的福音

心血管病是死亡率比较高的疾病，也是发病率比较高的病，在发达国家中发病率高达 40%，在发展中国家也有 20%。所以，各国医学工作者都很注重研究防治心血管病。激光是研究这个领域的新技术，在治疗诸如动脉粥样硬化、血栓所致的动脉狭窄及阻塞性病变，心肌组织部分切除等方面，已取得一些令人鼓舞的结果。在下面介绍的激光微加工中我们将看到，用激光微束可以在材料上打出直径很细小的孔。于是，在本世纪 70 年代初就有人仿照这个做法，试验用光学系统聚集成直径很细小的激光在心肌和左心室腔间打直径为微米数量级的小孔，企图通过这些微小的孔，把心脏内的血液输送给缺血的心肌组织，改善心肌组织缺血状况。经过不断实践，现在终于摸索到一条路可以给患有弥漫性血管病变或者全部血管闭塞的病人，带来一线起死回生的曙光。1990 年，美国旧金山的心血管外科研究中心对不能采用心脏搭桥术的 15 例病人，采用激光进行治疗。结果有 13 位病人获救，其他两位由于其他原因而死亡。对死亡的这两位患者进行了解剖尸体检查，发现用激光打的小孔只是在外表面被堵塞，在孔的里边则仍然是畅通的。

用激光在搏动着的心脏上打孔，这是件很精确的手术，对所使用的激光束质量和激光功率都有精确的要求。在通常医疗上使用的氩离子激光、Nd-YAG 激光和 CO₂ 激光这几种激光器中，初步的研究结果认为，用 CO₂ 激光似乎效果更好一些。生物组织对 CO₂ 激光的吸收系数比较大，容易使组织汽化；用它在心肌上打孔，可以打出较为理想的小孔。同时，又因为 CO₂ 激光封闭血管的能力比较强，减少手术时血液的损失。

用激光来治疗心脏虽然已经取得了一些成效，但并不是说已经是成熟的医疗手术，还有一些工作需要继续完成。比如用这种办法治疗的有效性究竟如何，采用的激光剂量（亦即使用的激光功率密度）应如何选择，有没有其他副作用，和现有的治疗方法相对比，用激光方法究竟优势在哪里等。现有治疗心脏病的方法有冠状动脉搭桥术和气囊血管成形术等，前者是从病人腿部取一段静脉，然后把它移到需要进行冠状动脉搭桥的地方，恢复心脏的血液流动。后者是把放了气的气囊通过一根静脉缓缓地送到已堵塞的冠状动脉处，然后给气囊充气，用气体把血斑块推向动脉壁，恢复血液流动。用这两种方法也已挽救过不少心脏病患者的生命。不过，有些心脏病患者不能做搭桥术，或者说，用这两种方法对他们都起不了什么作用。从治疗的效果来看，由得到的统计数字看，作搭桥术的动脉大约有 30% 在 6 个月内发生重新堵塞，50% 在 10 年发生堵塞；对于采用气囊血管成形术的，发生再堵塞的比例还更高，接近 60% 的病人可能发生血管再堵塞的事。此外，这两种手术的手术时间也比较长，一般要花 4~6 个小时。用激光做这类手术，初步看来情况比它们要好一些，不能采用搭桥术的病人，采用激光依然有效，手术花的时间比较少（大约 1 小时），手术费用相对较低（约为搭桥术的 1/3），而且手术后恢复健康的时间也比较短，约几个星期。至于手术后再堵塞的问题，还没有很好的统计资料，所以，激光方法是否真正占优势，还需做大量的评估对比工作。

开通血管

在用 X 射线仪器的协助下，利用光导纤维传导激光束照射血管，可以使阻塞血管的斑块、血栓汽化，让血管重新畅通，有效率大约可以达到 70% 以上。作这种开通血管手术的方法有两种，一种就是采用常用的 CO₂ 激光器、氩离子激光器和 Nd YAG 激光器，把它们输出的激光束照射到血栓、斑块物质上，使它们受热而被熔化达到开通血管。这个做法有个缺点，因为比较难准确把握光纤在血管内前进的方向，所以导入血管的激光束常常会出现使动脉壁穿透的事。为了避免出现这种事，科学家也想了一些办法，比如，他们专门为此研究了血栓和血管壁的激光光谱，手术时根据从荧光屏上显示的光谱曲线，辨别导入的激光束是在对斑块物质照射，还是在对血管壁照射，以便及时调整光纤取向。还有一种办法是，测定正常动脉壁汽化所需要的最低激光功率（称为汽化阈值功率）和使斑块物质溶化的阈值功率，一般来说，使前者熔化的激光阈值功率，比使后者熔化的激光功率阈值高（对于波长为 0.48 微米和 0.65 微米这两种激光，两者相差大约 1 倍）。手术时控制使用的激光功率，使之超过使斑块物质汽化的阈值功率，而又低于使正常血管汽化的阈值功率，就可以让我们能汽化掉斑块物质，而不损伤正常的血管。

第二种做法是使用准分子激光，或者掺钕的 YAG 激光动手术。准分子激光器输出的激光波长在紫外波段；同时，输出的光脉冲宽度窄（一般是纳秒数量级）、激光功率高。所以，准分子激光碰破组织的机理和前面红外波段的激光已不相同，它是以使生物分子键发生断裂，形成分子碎片或者气体达到手术目的。亦即是说，用这种激光照射斑块物质，主要是通过光化学过程使它消除，而不是加热的结果，因而热伤程度小，也减少了激光束使血管壁穿透的几率。科学工作者从 1989 ~ 1992 年这三年时间内所作的一些统计中发现，利用准分子激光治疗的 4100 位冠状动脉堵塞的患者中，获得成功的比例占到 88%。利用准分子激光的手术目前遇到的主要困难是，还缺少传输紫外波段激光束的光纤。

粉碎结石

患有结石病的人也不少，特别是尿结石和胆结石的发病率更高。把结石打碎的办法现在主要有液电波碎石法、超声波碎石法和体外震波碎石法，前不久又出现一种新方法：激光碎石。用光导纤维把脉冲激光引入到体内结石的部位，对着结石发射脉冲激光。结石吸收了激光的能量之后产生冲击波，它会把结石给震碎，根据临床使用的情况来看，用激光破碎结石的操作比较简单，病人感受的痛苦也比较小，碎石的效果也不错。根据一些医院所作的碎石记录结果，用 Nd YAG 激光破碎尿结石的有效率达到 94%。

不直接用激光照射结石，而是照射一些穴位，也可以让病人把结石通过泌尿系统排出体外。比如，用波长 632.8 纳米的 He-Ne 激光照射穴位后，可以让病人平均每天排石 2~3 次，最后，有约 97% 的结石患者会自行排掉体内的结石。至于为什么激光束照射穴位之后，病人会自行排出结石的道理，可以说现在还没有完全了解清楚。根据一些医生进行的研究检测结果，发现在激光作用下有 80% 左右的病人，他们的胆管发生扩张。这或许是病人自动排出结石的原因之一。另外一个问题是，治疗时是用脉冲激光取得的效果好，还是用连续波输出的激光时效果好，现在也还没有完全一致的看法。从临床得到的结果来看，比较多的情况是用脉冲激光比用连续波输出的激光好一些。但是，真正规律还得进一步寻找。

矫正视力

可以这样说，用激光给人治病是从眼科开始的。人的眼睛是架非常精密的光学仪器，个别地方出了点毛病，我们的视力就会大受影响。而给眼睛治毛病又是件很精细的工作，一不小心就会引出别的麻烦事来。用光学系统聚集成直径很细的激光点，它可以成为非常精细的眼科手术刀，用它给眼睛动手术，可以让医生很准确地做眼科手术，很少伤害其他部位的组织；而且激光脉冲时间可以很短（小于毫秒），亦即用激光对眼球每个手术动作前后的时间不足千分之一秒，在这么短的时间内，眼球完全可以看成是没有转动，或者说，动手术时眼球即使照常转动也无关紧要。这一点，在用普通手术刀动手术时就办不到，

病人必须作比较长时间的凝神定睛，以避免手术刀伤到其他部位。现在，用激光可以治疗许多眼科疾病，诸如白内障、青光眼等眼科疾病，用激光动手术效果很好，而且在门诊部便可以完成手术，不用住医院。既减少了手术的痛苦，又可以节省医疗费用。

用激光矫正近视、远视和散光，这是近几年迅速发展的新技术。社会上戴眼镜的人不少。戴上眼镜之后在生活、工作上往往会带来一些不方便，如果眼镜破碎了，或一时丢失了，还有点如同瞎子般，看不清眼前的东西。作跑步、游泳、打球、跳高等体育运动，戴副眼镜还感到碍事。所以，不少人都希望从医疗上想办法矫正自己的视力，不再戴眼镜。用激光可以帮助我们矫正视力。眼睛的视力出现缺陷，主要是角膜的曲率半径发生了变化。利用激光束做手术刀，修正眼睛角膜的曲率半径，便可以矫正视力。现在的做法主要有两种，一种是用激光束在角膜上划“米”字形的槽，另一种是用激光在角膜上“切削”。用激光在角膜上划上“米”字，或在角膜上切削掉一部分之后，角膜自身发生收缩变化，就可以使它的曲率半径发生变化，因而也就能达到矫正视力的目的。不过，作这种手术是很精细的工作，需要有性能比较好的激光仪器配合，还要有比较熟练的操作技术。使用的激光器一般是准分子激光器，而且认为输出波长为 190 纳米的氟化氟准分子激光器比较好。用短波长激光在角膜上划线或“切削”，切出的深度比较容易精密控制；而且切面光滑。同时，紫外波段的激光完成切削刻划，不是靠热作用，而是靠光化学效应，因而手术时对眼球的热损伤比较小。下面我们以激光在角膜上“切削”为例，介绍一下激光矫正视力的做法。

比如我们要矫正近视眼。先制备一只眼罩，它是用软质材料做成，可以变曲贴在眼球上，它用多少层材料做成则是由验光时得到需要矫正的视力度数来定。用这眼罩把角膜盖住，开始时只让眼罩的中央露一个小孔，激光通过这小孔照射角膜。每发激光脉冲将从角膜上“削去”厚度微米数量级的组织。随后，逐渐开大眼罩的孔径，最后大约开到直径 5 毫米的孔径。在这样的安排下对角膜作切削，得到的结果将是角膜中央区受到的激光照射数目最多，越往边周，接受到的激光脉冲数目越少，亦即是说，在角膜中央区被激光切削掉的量最多，边周区域被切削掉的量最少。经过这番手术后，角膜的凸起程度被削平了一些（角膜聚光的焦距拉短了），于是近视的缺陷也就得到了矫正。

当矫正的是远视眼时就使用另外一种结构的眼罩，它先是把角膜中

中央区遮住，露出角膜边缘区域，让它首先接受激光切削。随着对角膜发射的脉冲激光数目增加，露出角膜的孔径向角膜中央区扩展。这样操作的结果是，角膜边缘区被切削去的量多，越往中心区，切去的量越少。手术完后角膜凸起的程度增加，这便矫正了远视眼。

矫正近视散光眼时，采用的眼罩是这个式样：它透光的区域是一条狭长的裂隙，手术时把裂隙放在近视散光轴的经线位置，让这个部位接受激光比较多的切削。随着照射的激光脉冲数目增多，裂隙的宽度也逐渐增大。手术完后，起先在角膜上凸起程度最大的经线位置，此刻被削平了一些，散光的问题也同时得到了解决。

焊接血管

外科手术中常常遇到要接通血管的工作，而且，对于诸如断肢再植；心、肺移植等手术，血管连接的质量是手术是否成功的关键。把血管接合起来常用的办法就是用线把它们缝合，只要能不让血管里的血液往外泄漏，缝的针脚越少越好。因为缝上的线对于生物组织来说是异物，在缝线的周围会生成肉芽组织，形成疤痕和使血管变窄。

用激光的能量可以把机械元件连接起来，于是科学家也就仿效它，试验用激光来焊接血管。经过试验，表明血管在激光的作用下是可以被修复的。试验工作先是在动物身上进行。用聚焦成直径约 0.2 毫米的激光束照射老鼠的颈动脉，不用线缝，被断开的血管会接合起来。经过充分的实验后，用激光接血管的手术开始在临床上使用。在接合手术时也需要在血管上缝 3~4 针，不过这是用来固定血管位置用的。

用激光接合的血管和用线缝接合的血管，两者有什么不同呢？经过生物化学分析和张力强度测量的结果，两种做法缝合的血管愈合特性相似，用激光接合的好处是在接合的地方疤痕比较小，异物反应也比较少。看来用激光接合血管还是有发展前途的技术，至于激光照射在血管上，为什么能够把它接合起来，其中的机理现时还没有弄得很清楚，有待实验研究分析。

激光手术刀

医生给病人动手术离不开手术刀。使用的手术刀式样有很多，但它们都是用金属材料做的。现在有一种新式手术刀，它不是金属或者非金属材料做的，而是用激光，通常也就称为激光刀。

我们或许看到过工人师傅用乙炔喷枪吐出的火焰切割钢板的情形。从喷枪喷出的火焰把金属熔化和汽化，在材料上留下一条凹痕，如果让喷枪朝前移动，金属板便被切开。同样的道理，激光科学工作者已经用激光束切割金属材料，医生利用激光来切开人体组织。一束经过透镜聚焦的激光照射在皮肤上，激光的能量会立即把生物组织加热并且发生汽化，留下一条凹沟；当光束移动时，凹沟随着光束延伸，把组织给切开，如同是用金属刀子拉开组织一样。

激光刀和普通金属手术刀相比有好几方面的优点，最引人注目的一点是用它动手术，出血量比较少。根据临床实践的结果，出血量大约只有普通手术刀的 $1/3 \sim 1/2$ 。这是因为激光刀在切开组织的同时，激光的能量也把周围的小血管给加热凝固起来，把它们给封住了。因为激光刀有这个优点，所以，过去认为是“禁区”的一些手术，如今就可以使用激光刀动手术了。出血是在作肝脏切除手术时危险性比较大的并发症，尽管种种止血方法在不断改善，但手术时的止血问题仍然未获得彻底解决，所以，对肝脏等血管丰富的部位动手术，一向列为“禁区”。

激光手术刀另外一个优点是动手术时，可以不直接和组织接触，即所谓非接触式手术刀。因而使用它时不必担心消毒的事，或者说，它是自行消毒的手术刀。用普通手术刀就不一样，消毒不彻底会引起交叉感染。

还有一个优点，用激光刀切软组织、硬组织（比如骨头），它都一样“锋利”，一样的快捷。用普通手术刀遇到给软组织或者骨头动手术，就会感到很吃力，动手术的时间也长。

从对组织切开的机理来分，现行的激光手术刀可以分成三类：第一类是采用聚焦的 CO_2 激光、Nd YAG 激光，或者半导体光直接射到组织上，利用激光的能量加热组织并使它汽化，最后把组织切开。目前对体表的肿瘤和妇科的手术，常常用这类手术刀动手术。这类手术刀的主要缺点是，动手术时对组织产生的热损伤比较大。对于这种手术刀还有一个问题未解决，这就是使用连续波的激光，还是用脉冲式的激光做成的手术刀效果更好一些。似乎各有优缺点。

第二类是用远紫外激光（比如准分子激光器输出的激光）做的手术刀。它把组织切开是利用光化学作用，而不是前面第一类的热效应。所以，这类手术刀又称冷激光手术刀。用这类手术刀动手术，热损伤比较小，所以切开的切口比较光滑、规整。它的主要缺点是切割的深度一般比较浅。目前在眼科中用这类手术刀比较多。

第三类激光手术刀是借助宝石刀头把组织切开的。用光导纤维传导激光的能量加热宝石刀头，它被加热的温度可高达 2000°C ，这灼热的刀头在组织上移动时把它切开。用这类手术刀切开的切口也很细，边缘也很光滑。

激光针

针灸是我国发明的医疗技术，用一根银针刺激人体的一些穴位，可以治疗许多疾病。激光器发明之后，人们发现用聚焦成直径 0.5 毫米左右的激光束照射人体的穴位，有和采用银针刺激穴位相同的效果。于是便把这种场合使用的激光束叫做“激光针”，有时简称“光针”。经过临床试验对比，现在已经认识到，采用普通针灸方法可以治疗的病，用激光针也可治疗。激光针选取的穴位和配位，也和普通针灸选的相同。而且，普通针灸方法不能取的穴位（所谓禁针穴），激光针似乎也能对它取穴，或者说，对激光针来说或许是不存在禁穴（但对头部、面部、眼区取穴时需要小心，“灸”的时间也不宜过长）。

用细束激光照射人体穴位有治病的效果，这是临床使用上证明了的。这是通过什么途径给治好病的，或者说激光针的作用机理是什么，现在还在研究分析之中。有人认为这是激光对人体产生的热效应的结果。实验测试过，用 He - Ne 激光针作用在双侧迎香穴五分钟后，发现在穴位附近皮肤温度升高 2~5℃；当照射一个侧面的穴位，使它的温度升高时，在对侧同名的穴位上也产生相同的温升。这个现象和中医学上说的左右同名经穴，它们的功能相同的看法也相吻合。此外，在用激光束照射穴位时，一些人也有热胀的感觉。因此，有人也就说激光针灸是热效应起的作用。但也有人提出不同的看法，认为这是激光从穴位透入人体，与人体的电磁场相互作用的结果。他们认为人体内存在所谓生物场，低功率的激光束在照射穴位时将同时影响这生物场，对人的机体进行调整，使它恢复到正常状态。持这种看法的人也有实验结果支持。他们发现用激光照射一些穴位后，产生的温度变化很小，或者甚至觉察不出温度变化。比如，用半导体激光对准一些穴位照射几分钟，在穴位附近皮肤的温度上升只有 0.5℃，但是，在穴位上却出现这样的现象：血管收缩和扩张反应。

那么，用激光针与普通针作针灸相对比，它有什么长处？医疗工作者经过对比，认为用激光针在下面几方面有好处。首先是它针灸时无痛感，或疼痛不大。根据临床使用的情况，在用 He - Ne 激光或者半导体激光作针灸时都没有痛感，用氩离子激光或者 CO₂ 激光作针灸时有轻度痛感，但病人都能承受。另外一个优点是，因为激光针作针灸时不直接接触皮肤，因而可以避免对“针”消毒不彻底，将病菌和病毒带入病人体内的事。这一点在使用对患有传染性肝炎病人进行针灸后的“针”处理时，保证其安全性是很有价值的。还有，激光针不会出现诸如弯针、断针等事。

超级工具

在现代工业生产中，特别是光电子工业生产要求加工的零件尺寸微小，精密程度非常高。因此要求有精细的加工工具和精细加工技术。激光可以做成“超级工具”，进行各种精密加工。比如，用它可以在各种坚硬和柔软的材料上打微米量级的小孔，刻划宽度为微米量级的线条；用激光可以检查出元件上微米量级的缺陷。激光也可以做成精密的尺子，对长度作精细量度；可以做成精确的准直线，让我们快速、准确安装设备。激光还可以让我们精确检查大气污染物质和它们的分布，可以预报地震。

激光精密加工

我们日常用的袖珍计算机、录像机、电传机；各种自动化控制生产设备、各类航天航空仪器仪表；科学研究用的各种仪器，它们的尺寸不断在缩小，微型化是产品今后的发展方向。制造的家用电器和仪器设备小型化，装配它们用的元件就更要小型化。不言而喻，需要能作精密加工的工具和能作精密计量检测的工具。用激光可以做成能进行各类加工的工具和测量工具，而且能够达到很高的精密程度。

打微小直径深孔

在元件上开个小孔是件很常见的事。但是，如果要求在坚硬的材料上，比如在硬质合金上打大量 0.1 毫米到几微米直径的小孔，用普通的机械加工工具怕是不容易办到，即使能够做，加工成本也会很高。现有的机械加工技术在材料上打微型小孔是采用每分钟数万转或者几十万转的高速旋转小钻头加工的，用这个办法一般也只能加工孔径大于 0.25 毫米的小孔。在今天的工业生产中往往是要求加工直径比这还小的孔。比如在电子工业生产中，多层印刷电路板的生产，就要求在板上钻成千上万个直径约为 0.1~0.3 毫米的小孔。显然，采用刚才说的钻头来加工，遇到的困难就比较大，加工质量不容易保证，加工成本不低。早在本世纪 60 年代后，科学家在实验室就用激光在钢质刀片上打出微小孔，经过近 30 年的改进和发展，如今用激光在材料上打微小直径的小孔已无困难，而且加工质量好。打出的小孔孔壁规整，没有什么毛刺。打孔速度又很快，大约千分之一秒的时间就可以打出一个孔。

激光在材料上钻出小孔的道理很简单，做法也不复杂。激光有很好的相干性，用光学系统可以把它聚焦成直径很微小的光点（小于 1 微米），这相当于用来钻孔的“微型钻头”。其次，激光的亮度很高，在聚焦的焦点上的激光能量密度（平均每平方厘米面积上的能量）会很高，普通一台激光器输出的激光，产生的能量就可以高达 10^9 焦耳/厘米²，足可以让材料发生熔化并汽化，在材料上留下一个小孔，和用钻头钻出来的一个样。

怎样用好激光“钻头”，激光科学工作者也做了许多研究工作。他们发现，用每秒发射许多个光脉冲（通常叫高重复率激光脉冲）做“钻头”，打出来的小孔质量比用单个光脉冲，或每秒时间内少数几个光脉冲打出来的孔好。道理大概是这样：在用每秒一个光脉冲或少数几个脉冲打孔时，对每个光脉冲的激光能量要求比较高，让材料能被加热至熔化才能打出孔。但是，融熔了的材料没有办法充分汽化，却把在它附近的材料加热和使它们汽化，结果，被打出来的小孔在形状大小上就不那么规整。如果使用的是高重复率激光器输出的光脉冲，这时每个光脉冲平均的能量并不很高，但由于光脉冲的宽度窄，功率水平却不低。于是每个激光脉冲在材料上形成的融熔体不多，主要是发生汽化。由于使小孔附近的材料加热时融熔体很少，因而也就不出现在用单脉冲打孔时出现的事。打出的小孔形状和大小就规整得多了。

要使打出的小孔质量高，还需要注意激光焦点位置的选择。选择焦点位置的原则大致是这样：对于比较厚的材料，激光束焦点位置应位于工件的内部〔见图 28 (a)〕，如果材料比较薄，激光束焦点需放在工件

表面的上方[见图 28 (b)]。这样的安排会让打出来的小孔上下大小基本上一致，不出现“桶状”的小孔。

用激光在材料上钻孔，钻出的小孔质量不仅非常好，特别是在打大量同样的小孔时，还能保证多个小孔的尺寸形状统一，而且钻孔速度快，生产效率高。所以，除在电子工业生产中用激光打孔外，其他许多工业生产部门都在采用，比如普通香烟过滤嘴上的小孔、喷雾器阀门上的小孔，也在采用激光加工。喷雾器罐和瓶子颈部都有一个用来控制压缩物质（比如除臭剂、油料或者其他液体）的流量，阀门使用的性能就由喷雾器上这只小孔来决定了。这只小孔的直径为 10 微米到 40 微米，用其他机械加工方法不那么好做，用激光来加工，能保证质量，每小时还可以打 4 万个小孔呢！

焊接

这也是机械加工中少不了的一道工序。焊接的办法现在也不少了，锡焊、电焊、弧焊、氩弧焊、电阻焊等，它们的工艺成熟，焊接质量也能保证。不过，在现代工业生产中，常常会遇到这样一些要求的焊接，被焊接的元件尺寸很小，焊接精密程度非常高，或要求在焊接的元件上不能留下任何污染物质；或者焊接环境比较恶劣（比如遇火容易发生爆炸）。采用前面谈到的焊接技术，遇到这些焊接都感到困难比较大，在这个时候用激光束来焊接或许是最好的选择。

激光束照射在材料上，会把它加热至熔融，使对接在一起的元件会接合在一起，即实现了焊接。因而用激光焊接是不需要任何焊料的，这自然也就排除了使焊接元件受污染的事；其次，激光束可被光学系统聚成直径很细的光束，换言之，激光可以作成非常精细的“焊枪”，做精密焊接工作；还有激光焊接与元件不发生直接接触，亦即这是非接触式焊接，因而材料质地脆弱也不打紧，还可以对远离我们身边的元件作焊接，也可以把放置在真空室内的元件焊接起来。因为激光焊接有这么一些特点，所以它在微电子工业中尤为受欢迎。

超大规模集成电路单位面积上的电路图形密度高，输入输出线的数目多，引线之间的间隔又很小。因此，封装集成电路的工作很精细。现在是采用一种所谓载带自动键合的技术作封装，它也算得上较为先进的封装技术。但它依然存在这么一个缺点，即在键合过程中因为存在压力和相当高的温度（约 450℃），容易引起集成电路发生热损伤和机械损伤，降低成品率。现在激光科学工作者试验用激光进行封装焊接，即用激光的能量瞬时让键合点加热而熔合。因为激光加热是非接触的，不产生机械压力，不会对电路产生机械损伤；又因为加热点仅仅限于在键合点上，热效应对其他部位影响很小，也就可以排除对电路的热损伤问题。用了激光焊接方法后，大幅度地提高了产品的成品率。特别是对于热敏性高和易碎的蕊片（比如 GaAs 蕊片或非常薄的硅片），采用激光封装后提高产品合格率更明显。

精细刻线

在现代的工业生产中，常常遇到要求在材料上刻出一些宽度极细线条的工作。比如制造大规模集成电路时，就需要在硅片上刻极细的线；精密仪表上的刻度盘，要求刻极细的线。做这些工作用激光的话，准能制出宽度窄、条条刻线粗细均匀划一的线条。

在半导体材料上制作的晶体管、电阻、电容和连线，现在是采用光学方法在材料上刻线制作的，这项制作技术叫光刻，制作过程大体上是这样：先将电路图形放大，然后用照相制版方法把电路图制成掩模版，再把它贴在涂有光刻胶的基片上。曝光后把基片显影、烘干、腐蚀，然后把光刻胶去掉，便得到了电路图形。整个制作过程要做大量细致的工作。现在用激光代替普通光源来做这项工作，不仅可以提高精密程度，而且工序也大大减少。用激光的一种做法是，用激光束照射放在卤素气体中的硅片。它被激光照射的部位将与卤素气体发生光化学反应，产生腐蚀作用；而没有受到激光照射的部位，不发生光化学反应，没有受到腐蚀。激光束在计算机的控制下按照电路图样走动，在硅片上便刻划出电路图来，完成刻划电路图工作只要一道工序。

刻出的集成电路密度和刻线尺寸有密切关系。在 1970 年，刻线尺寸设计标准是 10 微米，相当于在一根头发丝大小的截面上制造出 5 个晶体管；到 1985 年，刻线设计标准提高到 1 微米，便相当于在一根头发丝大小的截面上制造出 500 个晶体管了。科学家估计，到 2000 年，刻线标准将提高到 0.1 微米，此时的集成电路就相当于在一根头发丝大小的截面上制出 5000 个晶体管。因为光波有衍射效应，它妨碍了我们用光学系统聚焦后能得到的最小线条尺寸。用波长 λ 的激光进行光刻，能够得到的最小线条宽度 d 为

$$d = K \cdot \lambda / NA$$

公式中的 K 是由光刻材料和所用的设备所决定的一个常数，其数值在 0.65 ~ 0.8 之间， NA 是成像透镜的数值孔径，现在生产中使用的透镜系统的数值孔径约为 0.55。所以，要提高刻线标准，提高集成电路密度，需要发展输出短波长的激光器。在表 2 中列出随着使用的激光波长缩短，能刻划制造出的动态随机信息存储器的容量变化情况。

表 2 不同激光波长能刻划制造的动态随机信息存储器

容量 (mB)	4	16	64	256
激光波长 (μm)	436	365	248	193
年份	1992 ~ 1993	1994 ~ 1995	1998 ~ 1999	2000

用来制造图形小于波长的光刻装置，它能产生的聚焦深度很浅。所以，用它在基片上制作某一层集成电路时，必须是专门为制作这一层设计特殊参数的设备装置，在制作另一层的图形时，又得使用有另外一套参数的装置。这么一来，在基片上制作的集成电路层数增加，所用的生产线长度也增加，相应地建立这条生产流水线的投资也增加。按现在的标价，制作刻线宽度 0.1 微米的芯片的生产线，约需 2000 万美元。这么高的投资金额，很难为普通的制造公司所接受。解决这个问题比较好的办法是利用 X 射线波段的激光。X 射线波段的激光聚焦景深大，所以，用同一部 X 射线激光刻线装置，有可能在基片上制造集成电路中所有各层的图形。因而生产线长度可以缩短，投资可以大大降低，估计只要 200 ~ 300 万美元。

修正集成电路

我们知道，从生产线上生产出来的产品，总会由于这

个原因或那种原因，使得有部分产品出现一些缺陷，变成了次品。制造集成电路也不例外，特别是制造集成元件密度很高的电路，每个电路出现缺陷的几率也在增加，导致产品合格率下降。比如，制造 64K 随机存取存储器的芯片，产品合格率只有 10% 左右，而制造集成元件密度更高的芯片，比如 128K、256K 的芯片，产品合格率更低。为了降低生产成本，必须采取一些手段，对有缺陷的电路进行修正，提高产品的合格率。但是，在微型元件高度密集的电路板上查找有缺陷的元件，并把它修正，那是一件十分精细的工作，不那么容易做的。科学工作者经过努力，现在总算找到了一个修正办法，称为“激光余量元件修正技术”的方法能够比较好地对集成电路作“补救”，从而提高产品合格率。做法大体上是这样：在制作集成电路时多制造 3 至 4 排和列元件（它们就是余量元件）。对生产出来的集成电路成品进行检测，看看它们当中的各排和各列的元件是否存在缺陷。如果发现其中的某一排，或者某一列的电路板上存在缺陷，就用脉冲激光束把这一排（或者列）整体切除（实际上也就是用激光的能量把它们与电路网烧断开），然后再用激光从余量元件中把一排（或者一列）元件接上电路网，替代被切除去的排（或列）。用这个办法之后，可以让制造集成电路的合格率提高 1.3 ~ 30 倍。

掩膜修正

制造大规模集成电路需要掩膜。在今天，制造掩膜的技术已经达到比较高的水平了。不过，制造出来的掩膜中有一部分仍然会或多或少地存在一些缺陷。比如在非透明区域上出现一两个小孔，或在透明区出现几粒非透明小点（比如小尘粒）。掩膜多次使用过之后在它上面也会出现这些缺陷。一块用来制造大规模集成电路的掩膜上面有几百万个图形，造价不低（约 2000 美元）。如果生产掩膜的产品合格率低，生产的成本也提高，售价也就提高；制造集成电路的厂家如果更换掩膜过快，同样也使成本上升。所以降低集成电路的生产成本和价格需要设法对有缺陷的掩膜进行修正，做这项修正工作也是十分精细的。激光科学工作者经过分析，认为采用激光技术可以胜任这项修正工作。用光学系统聚焦起来的激光束，它的直径可以细如针头般大小。使用这细小的光束作修补，也犹如在用微型绣花针在做修补工作，可以在掩膜上进行精细的修正，让它能继续使用。

用激光是这样来做修补工作的。在掩膜上透明区的那些不透光的小颗粒，用激光的能量把它加热而汽化掉；对于在非透明区上的小孔，采用激光化学气相沉积技术，在小孔的位置上补一点非透明材料。现在，激光修正技术已成为制造集成电路生产上的必要技术之一。

精密修正电阻值

金属膜电阻、碳膜电阻、厚膜电阻、薄膜电阻等，它们是光电子工业产品大量使用的基本元件，它们的质量将直接影响制造出来的电子设备质量。但是，在生产线上生产出来的各类电阻器，它们的电阻数值总存在一些误差，而且误差数值往往还不低，可达 15% ~ 20%，离实际应用的要求相差比较大（实际使用的电阻器要求其电阻数值误差为 $\pm 1\%$ 左右，某些应用要求的误差还更低）。所以，从生产线上生产出来的电阻器，需要对它们的电阻值进行修正。用激光来做这项修正工作也很合适，据认为它有操作简单易行，修正精度高的优点。

做法是在制造电阻器时先让它的电阻值比实际数值稍微高一点。然后用精密电路（比如惠更斯电桥）精密鉴别它的电阻值，同时用聚焦成细束的激光照射这个电阻，用激光的能量把电阻器上的膜层材料一点一点地汽化掉，相应地它的电阻值也在一点一点减小。直到电阻数值达到产品标准值就停止激光照射。经过修正的电阻器，其电阻值精确程度可以达到很高。对于低电阻值（小于 100 欧姆）和高电阻值（电阻值大于 100 千欧姆）的电阻器，精度可以达到 0.1%；对于电阻值中等的电阻器，精度可达 0.02%。这项修正工作可以在生产线上进行。完成修正 0078 的速度快，每小时可以修正 4~7 万只。

打标记、刻标度

生产出来的产品元件等需要在它们上面打上各种标记，比如产品名称、规格、生产日期、生产厂家等。普通的工业产品可以用印刷丝网在产品上印上这些标记，或者用机械刻划方法给刻上这些标记。但是，对于一些微型电子元件，比如大规模集成芯片，微小电容和电阻、晶体管等，它们的面积有的只不过几平方毫米，要在它们上面打上标记，还要求这些标记清晰可见，不容易被抹去，用前面说的这些方法就不那么容易做到了。科学工作者说，这大概也只好用激光来做。

用激光在产品元件打标记，分两种情况采用两种做法。如果打的是固定的标记，比如商标、厂名等，一般是使用预先刻好标记的模版，用光学系统把它成像在元件上，然后用激光按照图样进行刻划。如果是在产品上打可变的标记，比如产品的流水号、产品的规格等，就预先将需要打的标记信息编成程序，输入到计算机，然后由计算机发出指令，控制激光束在产品上扫描刻划。用激光在产品上打标记，速度很快，单台激光打标机一天可以给 100 万只小元件打标记，而且打的标记线条很细，标记符号很小，大小约为 100 微米。打完标记的元件，它的性能也不会受到影响。

量具面盘上的刻度指示，过去也是用丝网印刷上去的。用这个办法制造出来的量具，一般来说量度的误差比较大。当然，也能生产出测量精度高的量具，但需要反复多次校准和变换刻度稍有变化的盘面，直到所用的刻度盘和量具特性达到最满意的配合，才能让量度误差达到设计要求。这么一来，生产一只量具要花比较长的时间，生产成本也就比较高。用激光来给面盘刻度，事情就会简单得多。首先在量具上安装空白面盘和指针，然后一面校准，一面用激光在面盘上刻度。用这个办法一次就可以生产出精度合乎要求的量具，大约可以比往日的做法节省 50% 的人力和物力。此外，激光刻出的刻度线条窄，也解决了国际规范问题。

快速制造模型

机械制造、医学、建筑、美术等行业，常常需要制作立体模型。常用的制作方法有注塑和用车、铣、刨、磨等机械加工制成，制作一具模型要花比较长的时间。如果要求模型内部有比较复杂的结构，用机械加工方法加工还相当困难。因此，制造一只模具要花比较高的成本。现在激光科学工作者采用激光来制造模型，制造工作简单、轻松得多了。不需要车、铣、刨、磨等机械加工，就能造出结构复杂的模型。

用激光制造模型时用的材料是液态光致凝固性预聚物，即它在吸收了紫外波段的激光能量后便发生凝固，变化成固体材料。把要制造的模

型编成程序，输入到计算机。激光器输出出来的激光束由计算机控制它在模型材料上扫描刻划，在激光束所到之处，原先是液态的材料凝固了起来。激光束在计算机的指挥下作完扫描刻划，一具模型也就造了出来。所以，用这个办法制造模型，速度快，造出来的模型又精致。

精密计量

加工出来的各种零件，它们能不能配合使用，配合的精确程度，决定着制备出来的设备的精密程度，也决定着它们能不能相互配合使用。曾经发生过这样的停产事故：一家工厂的一些车床要更换螺丝杆。从外加工送来的丝杆安装上去后，发现尺寸不匹配，达不到生产精度的要求，只好又卸下来重新去加工。既浪费加工费，还不得不停产了几天。能让不同生产者生产出来的元件“密切”配合的“保证人”，那就是计量工具。计量工具的量度精度要高，它起码要比加工精度高，才有把握“监督”加工精度是否达到设计标准。现在不少加工的精度要求达到 0.1 微米，显然，我们必须要有量度长度的误差小于 0.1 微米的计量尺子。普通的尺子很难达到这个水平，科学家认为，“光子尺子”精度高，用它们会达到这个要求。开掘隧道、坑道，建造高层建筑，安装大型机械设备，总是需要一根“准直线”。准直的精度决定着开掘的坑道的准确程度。作长距离的地下开挖，准直方向所握不好，会“失之毫厘，谬之千里”，会使开挖工程蒙受巨大损失。光是直线传播，用光束可以做成非常好的准直线。不过，“光子尺”、“光束准直线”虽好，它真正能实用，真正发挥了作用，还是在激光器发明之后。用激光做成的“光子尺”，可以量大件物体的尺寸，量度精度达到 0.005 微米；用激光做成的准直线，1 公里远不会差 1 毫米。

精密的光子尺

我们常常用尺子量度长度。普通尺子量度长度的精确程度不高。其实这也不能全怨制造尺子的，作为长度基准的量原先的精确程度就不高。最初人们是采用经过巴黎子午线的四千万分之一取作 1 米长度的。由于地球子午线本身就难以精确测定，因此，以它为基准定出来的标准尺，自然也就有比较大的误差。后来又制作了国际标准尺，俗称米原尺，它是一根用铱铂合金制成的棒上面两条细线之间的距离。虽然铂铱合金的热膨胀系数小，随温度变化出现的伸缩变化量不大，但总存在一些变化，不能满足现代化工业生产量度长度所要求的高精密程度。而且，各国与米原尺进行比对也不方便，复现的精度不够高。

进入 20 世纪，人们在对原子分子物理的研究中发现，量子效应比宏观现象具有更好的稳定性。比如，在特定条件下，原子发射的一些光不仅频率（或波长）非常稳定，重复性也相当好，十分适合做计量单位。于是，在 1960 年第 11 届国际计量会议上通过采用光波的波长来定义 1 米的长度，规定 1 米的长度等于氦原子发射的红光波长（605.7 纳米）的 1650763.73 倍。激光器发明之后，我们得到了单色性比任何其他光源辐射都好的光辐射，用激光做尺子，它的“刻度”精度会非常高。同时，采用特殊方法制造的激光器，它们输出的激光的波长数值又是极为稳定，只要按照相同的条件制造的激光器，在相同的工作条件下运转，各个激光器射出的激光波长会准确一致。因而，用激光波长做尺子，它的长度会极为稳定，复制精度极高。国际计量会议已推荐 He - Ne 激光器输出的激光波长作为长度基准。

精密测量长度

我们知道，光学干涉方法测量长度是最为精密的，测量精度可以达

到波长的 1/100，也就是说，如果使用的是可见光，那么量度精度可以达到 0.005 微米！不过，用普通光源发出的光波来量度，实际能达到的精度低于这个值。因为普通光源的相干性比较差，用它的光辐射形成的干涉图并不清晰，干涉条纹粗，量度条纹间隔的精度低。此外，由于它的单色性差，能够量度的有效长度短，实际使用时便受到比较大的局限性。道理是这样的，光波的波长短（可见光的波长是 500 纳米左右），用它做尺子量一件宏观物体的长度，需要量许许多多次。比如用波长 500 纳米的“光尺子”量 1 米长的物体，就需要量 200 万次。问题是光源发出的光辐射并非就只有一个波长，实际得到的光辐射是包含在波长间隔

以内的许许多多多个波长，这个波长间隔便是衡量平时我们常说的单色性的物理量。间隔 越小，这光辐射的单色性越好。出于这个缘故，我们在用波长为 的光波做尺子量度时，其实是在用一束长度参差不齐的尺子在量度，其中长度最长的尺子的长度是 $\lambda + \lambda/2$ ，最短的尺子长度是 $\lambda - \lambda/2$ 。这么一来，在用波长为 的“光尺子”对物体量度一次时，出现的测量长度误差是 $\lambda/2$ ，量度 2 次时累计的测量误差是 λ ，如果对物体量度到 N 次时，累计的测量误差已达到波长 λ ，亦即已经和“光子尺”本身的长度相同，那么，再往下量度下去就失去意义。或者说，用波长 λ ，单色性 的光子尺，允许最大量度次数 N 由下面的式子计算：

$$N = L / \lambda$$

相应地，允许量度的最大长度 L 是

$$L = N \lambda$$

在各种人造光源中，用氪气体同位素 ^{86}Kr 做成的气体放电灯，它发射的红光（波长 605.7 纳米）的单色性算是最好的，它的波长间隔只有 0.00047 纳米，有单色性之冠的美称。就是用它来做尺子，最多也只能用来量度 38.5 厘米的长度，再长一点的物体，就不能用它来量度。激光的单色性非常好，以我们通常见到那种输出红光的 He - Ne 激光器来说，它的波长间隔 约为 10^{-8} （亿分之一）纳米，比“单色性之冠”还小 1 万倍，用激光做光尺子，可以有效地量度几公里，甚至几十公里长的物体。

现在，已制成多种用激光波长做尺子的测量仪器，比如激光测长仪（计量室内使用的长度计量仪器）、激光丝杆动态测量仪（测量丝杆产品等级的仪器）、激光线纹干涉仪（检测标准尺寸或者各种标准线纹尺的长度计量基准仪器）、激光量块干涉仪（检定各种等级块规的专用设备）、激光平面干涉仪（精密测量光学平面度、平板微小楔度的仪器）。这些仪器的测量精度高，比过去使用普通光源时的精度高 1~2 个数量级，而且测量手续简便，完成测量花的时间短。

除了测量直线的长度之外，用激光也可以精密地测量小孔径的尺寸、细丝直径尺寸、微粒直径的尺寸。这些测量工作在生产上是很需要的，做好这方面的测量工作，会给我们带来好的经济效益。比如，各种发动机汽缸内燃料雾化过程中颗粒的大小，它会直接影响发动机的工作效率。准确测量出颗粒尺寸，我们心中就有数：这台发动机能达到的效率会有多高，是否需要雾化过程作改进等。同样地，水煤浆中煤粉颗粒尺寸大小还决定了它的燃烧值，水泥的标号则是根据它的颗粒大小标

定的。测量颗粒尺寸和它的空间分布，用激光来作测量，会获得比较高的测量精度，而且测量手续简便。利用微粒对激光产生的衍射图，或者利用微粒对激光产生的多普勒效应，便可以知道微粒的直径、微粒的空间分布以及微粒的运动速度。

探测极微量物质

测量混在物质中极少量的杂质成分，用光谱方法是最精确的了。早在 16 世纪，用光谱方法就能探测出三百万分之一克的物质含量。这个量用现在最精密的天平也称不出来。今天，光谱技术引入了激光技术，探测能力又获得极大的提高，只有 10^{-20} 克的物质也能被激光光谱技术发现出来。

在 1963 年，科学家在研究激光作用在固体材料表面上发生的物理过程时，发现由激光从材料中蒸发出电子、离子和中性原子，用 0.2 焦耳的激光能量照射，从表面上直径约 150 微米、深 125 微米的区域内，蒸发出来的原子数目就有 2×10^{17} 个。如果当中有 50% 的原子被激发到高能级，那么，它跃回基态时发射的光辐射能量会达到毫焦耳，这个能量值用普通的探测器就可以准确测量出来。于是科学家就发觉，利用这个现象可以发展成一种灵敏度很高的探测技术。经过努力，果真成功地发展了灵敏的激光光谱技术，比如激光离子质谱技术、激光微区发射光谱技术。这两种技术除分析灵敏度很高外，还有如下一些优点：首先，不需要预制分析样品，通常的物理分析和化学分析，以及普通的光谱分析技术都需要预先制作好样品才能进行分析。这两种激光光谱技术则不需要这么做，分析时只需用激光束照射一下要分析的物体，然后用分光系统测量激光在物体上蒸发出来的原子的光辐射，便可以获得物体的光谱。打在物体表面上的激光光斑可以非常小（可以小于 1 微米），打的深度也不要求深，大约只有 1 微米就够了。所以对这种物体分析完之后，用肉眼是看不出在物体上留下什么痕迹的，即使用放大镜来看，不告诉您也不容易发现用激光照射的地点。由于有这个特点，所以，对文物作成分分析，用这种分析技术最合适。在湖南出土的两把古剑，就是用这种光谱分析技术找出表面的物质成分，揭开它们埋在地底下 2500 多年不生锈的秘密。其次是，分析灵敏度极高，只有 10^{-20} 克的物质也能给显示出来。这个特点在公安刑侦工作中也很有用。刑侦过程往往也就是靠分析从现场上留下的微量物质成分，帮助破案的。在安徽省一个市，有件谋杀案件的刑侦工作一度陷入困境，后来借助这种光谱分析手段，分析了遗留在衣领上的丁点血迹的成分，才迅速查出真凶，破了案子。

用激光离子质谱分析技术能分析的各类物质范围很宽，在化学元素周期表上列出的所有元素，从最轻的氢原子，到 105 号元素，都可以用这种光谱技术分析；气体的、固体的、液体的、有机物的、无机物的、药物的、生物的，都可以对它们进行分析。

精细的速度测量

在工业生产、科学研究实验中常常遇到速度测量的工作。比如，测量卫星运动速度、炮弹飞行速度、各种发动机尾部喷出气流的速度、水库中泥沙沉降速度、人体内毛细血管内血流速度等。在航天航空工业中，设计各种飞行器的过程中需要做风洞实验，风洞的流场、漩涡结构及其破碎过程，都涉及到速度测量。测量人体血管内血流速度、流动方向、

流速的变化，可以动态地显示诸如因心脏瓣膜关闭不全、狭窄、分流等导致的异常血流，帮助医生对心脏病情况作出正确判断。

利用激光技术可以准确地测出物体的流动速度。在各种激光测量速度的技术中，以激光多普勒测速技术最为常用。这种测量技术是基于奥地利物理学家多普勒在 1842 年发现的一个现象——后来以他的名字命名的多普勒效应。当波源与观察者作相对运动时，观察者接收到的波动频率与波源发射出来的频率不相同，出现一个频率位移。多普勒发现这个效应时仅限于对声波，后来赫兹于 1888 年在实验室产生了电磁波后，发现多普勒效应对电磁波也适用。假定光源相对于观察者的运动速度为 v ，光源发出的光波频率为 f_s ，那么，接收器接收的光波频率实际上是 f ，它的数值由下面式子计算

$$f = \frac{cf_s}{c - v \cos \alpha}$$

式中的 c 是光速 a 是光源的瞬时运动速度与光源和接收器连线之间的夹角。因为物体的运动速度总是比光速小许多，所以，上面的式子又可以简化为

$$f = \left(1 + \frac{v}{c} \cos \alpha\right) f_s$$

或者写成

$$(f - f_s) = \Delta f = \frac{v f_s}{c} \cos \alpha$$

式中的 Δf 称为多普勒频率位移。因此，我们如果是仪器测量出从物体上反射回来的光波频率与原先光源发射的光波频率相差的数值 Δf ，就可以知道物体的运动速度。

用激光多普勒效应测量速度的优点有好几方面：首先，它是非接触式测量，测量过程中对测量物体的行为不产生干扰，如果是测量气体或者液体的流场，测量过程中对流场不产生干扰，而且也适合于在恶劣的环境中，比如对有强腐蚀性的液体、对高温高压气流的测量。其次是测量速度范围大，可以测量从每秒零点几毫米到每秒几公里的速度，这是普通各种测量速度的办法所不能比的。第三是测量的空间分辨率高，目前已超过 10^{-4} 毫米³，可以

测量直径 10 微米、深度 10 微米的小部位的流速，因此，对于流体边界层、薄层流体、狭通道流体的流速测量，用这种方法测量最有效。

不发生弯曲的准直线

我们会见到过，建筑工人在砌墙时都贴住墙壁挂一只下端系着重物的线，它叫做垂直线，有这根线做参考，砌出来的墙就垂直，不倾斜；工人在挖水管前，也先在地面上拉一根线，然后沿着这根线开挖，这根线叫准直线。类似地，安装轮船发动机主轴、安装大型发动机组的转子、开挖煤矿的坑道……，也都需要有根准直线才能开展工作。用根在下端系只重锤的线，或拉一根直的铁丝做垂直线和做准直线，因为线段本身的重量会引起弯曲，或者风吹引起它的漂移，准直的精度不会很高。而且，沿着这样的一根线进行作业往往也不那么方便。光束是直线传播的，而激光的亮度高，是一根天然的好准直线。光束本身无重量，不会弯曲；又不怕风吹，用它做准直线，准直的精度又会很高；而且在它的指导下

作业方便、工作的速度快。

大型汽轮机组安装时，各个机子的转子中心线应在一条直线上，以前是靠拉根铁丝作中心线的。上海一家安装公司在安装 30 万千瓦汽轮机组时，采用激光准直，结果缩短了工期，相当于多发电 2 亿度。陕西省一家基础公司采用激光准直指导开挖矿井，加快了开挖的速度，曾两次创造斜进日掘进长度的世界记录。

造船时很多工序也需要准直，比如船只中心划线、桅标定位、胎架划线、主轴系统安装等，现在采用激光做准直，准直精度比过去提高了一个数量级，工效提高了 2~60 倍。造船的工人师傅说，他们现在的工作离不开激光了。

激光束是直线，本身亦没有重量。虽然是一根好的垂直线和准直线，但要用好它，提高它的准直精度，也还是有一些改进工作要做的。光束在大气中传播时会受大气的扰动而发生漂移；激光的方向性虽然很好，但总存在微小的发散角，传播过比较长的距离之后，就会发现它一头细，一头略大了。这些情况都会影响它的对准精度。激光科学工作者现在也想了不少改进办法，比如，把激光器输出的激光束再通过一只望远镜之后发射出去，能够进一步减小光束的发散角。普通激光器输出的光束发散角约为 10^{-3} 弧度，利用加望远镜的办法可以使它的发散角减小到 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 弧度，1 厘米直径的光束传播过 100 米，粗细只发生 1%~10% 的变化。如果用称为波带片的光学元件配合准直，能确保到达远处的光束中心不发生漂移，牢牢对准在一个点上。现在的激光对准技术已达到相当高的精度，在 3 公里的长度上进行对准，误差仅 0.2 毫米。

精明的检验工

生产出来的零件设备，在出厂之前都需要对它们做“验明正身”的工作，看看它的尺寸是否合乎要求，表面是否光滑，里面有没有缺陷；运转性能是否合乎设计要求等；设备使用时间长了，会不会出现“毛病”，也需要对它们作“体检”。激光是一双精明的“眼睛”，它能明察秋毫，协助我们做好各种“检验工作”。

查找劣质产品

您或许碰到过这种倒霉的事，买回来的电视机看不了几天就坏了；买回来的手表没几天就不走了。这些是不合格的产品。它们怎么会溜到市场上来？这和检验产品工作不完善有一定联系。产品检验工作是判断产品好坏的“眼睛”，名牌产品生产厂需要一双明亮的“眼睛”帮助它们找出“坏产品”，维护它们产品的好名声。说实在，现时许多产品检验工作还是靠人眼观察鉴别，漏检率比较高，难免有不合格的元件“漏网”，而且又不能与自动化生产线相配合，检验工作劳动强度大，工作很辛苦，检验速度也慢。激光科技工作者说，利用激光技术可以帮助我们改进检验工作，而且可以做到在生产线上对每件产品逐一“验明正身”，劣质产品别想逃过去。用激光在生产线上照射产品，根据从它们表面反射回来的光束形成的干涉图，或由它们产生的衍射光束形成的衍射图样，就能够准确地表明产品表面有没有针孔、压痕、裂纹、汽泡、条纹、斑点等缺陷，生产磁带、滚珠、胶片、金属箱、纺织品、玻璃制品等厂家，用这种方法帮助检验，有把握保证自己生产的产品质量。

电子线路生产厂也可以用激光帮助质量检验。一块印刷电路板上布满密密麻麻的焊点，即使采用比较先进的波峰焊接机进行焊接，有缺陷的焊点出现的几率也有千分之一，或者说，一块印刷电路板上出现1~2个有缺陷的焊点是常有的事。然而，用这样的电路板装配起来的电子仪器设备，它们的工作性能就会受到影响。所以，对电路板需要作质量检查，找出有缺陷的焊点，并把它修正。往日这种检查工作主要是靠有经验的工人察看焊点表面特征，比如焊点表面光滑程度、颜色、焊点与引线浸润情况等进行鉴别的。这么做也可以从中查出一些有缺陷的焊点，但工作效率比较低，检查的可靠性还受检查人员的经验、工作状态等因素的影响。如果用激光来做这项检验工作，就会省事多了。

经光学系统聚焦的激光束间断地扫描照射焊点。焊点在受到激光束照射时温度上升，激光束移开后温度慢慢下降。根据热辐射的原理，被加热的焊点也产生热辐射，辐射强度分布和焊点的温度变化有关系，而焊点的温度变化状况则又和焊点本身的特征有联系。比如，焊点的焊锡过少或者虚焊，在相同的激光能量作用下与别的焊点相比较，由于它们被加热的焊料质量少，所以温度升得高一些了，相应地产生的热辐射强度也高一些；而激光移开后，这些焊点的温度下降也更快一些，相应的辐射强度下降也快。用红外辐射探测器把各个焊点在激光束照射时产生的热辐射强度接受下来，与预先由合格焊点产生的热辐射强度分布曲线相对比，便可以判断被测的焊点的质量。这种测量对比工作是用自动控制系统做的，所以检验工作是快速进行的。

给大桥水坝体检

任何东西承受的负载都有个限度，长期超负荷最终会被压垮。1994年韩国发生一起大桥突然断裂，造成40多人掉下大江死亡的惨剧。后来查明原因是大桥长期以来超负荷工作，又没有及时采取治理而酿成的。怎样知道大桥“身体”是否健康？激光技术或许是最好的“体检”医生，上海的激光科技工作者采用激光技术对杨浦大桥做了“体检”，收到了很好的效果。杨浦大桥是世界一流的斜拉索大桥。大桥在设计过程中虽然经过严密的理论计算和大桥模型在模拟状态下的承载试验，但理论的结果和实际的情况往往不可能完全一致，模型的模拟承载试验也不可能同实物的实际承载完全相同。为了用好桥、管好桥，全面掌握大桥在实际承载状态下的运动规律，激光科学工作者用激光对大桥在各种非常条件下、恶劣条件下（比如夏天最热时、冬天最冷时、大风季节、大雨大雪时、大桥重载运行时、大桥高峰运行时）承载的挠度变化进行分析，取得了许多用过去常规测量方法没有得到的数据。

大型水库堤坝底下如果出现小洞；大型水力发电站蓄水池闸门底下出故障，不及时采取办法修整，会酿成重大事故。我们的人眼看不见水下发生的事。用激光做成的水下电视，能让我们一览水下情况，察看有没有出现“异常”情况。如果有险情，凭着激光水下电视的帮助，在岸上的工程技术人员也就可以制定合适的抢险方案，以及指挥在水下的抢险人员开展工作。

用激光也可以帮助我们监视水力发电厂大型水库提坝是否因为年久而发生形变。如果它们和老年人一样也出现“弯腰”，那就需要及时采取措施，不要让它再弯腰下去了，不然就会缺堤，后果是不堪设想的。

用激光也可以让我们不用解剖样品，就看到产品内部有没有缺陷、裂缝。基于激光技术而建立的“无损检验”技术，现在是检查飞机轮胎、炮弹等质量非常有价值的方法。

激光制造

科学研究用的材料、生产用的原料，大多数都是人工制造的。材料制造技术是发展科学技术和生产技术的基础。激光是制造材料的新技术，利用激光可以制造出质量好、性能特殊的材料。

激光制造高温超导薄膜

光学元件的表面一般镀上一层光学薄膜，以改善它的光学性能。比如镀上高反射率膜，可以提高元件反射光的能力；镀上增透膜就可以减少表面对光的反射能力，而增加光束透过元件的能力。薄膜更是现代微电子器件制造的基础，集成电路、光盘，它们都需要在基质上镀一层薄膜。高温含铜氧化物超导体发现后，新型超导体器件的发展，也离不开薄膜技术。在基底材料上镀上一层薄膜的技术有蒸发技术、溅射技术、热化学气相淀积技术、分子束外延技术和化学外延技术等。现在，在这个技术领域引进激光技术，发展了两种镀膜新技术，即脉冲激光淀积技术和激光诱导化学气相淀积技术，这两种技术能制造出质量更好的薄膜。

早在 1963 年，人们就发现激光束照射到固体材料靶时，有电子、离子和中性原子从固体靶表面跑出来，并在表面附近形成一个发光的等离子区。随后有人想到，如果将这些固体表面跑出来的原子（离子）在衬底上凝结，就得到了薄膜。这便是用激光进行镀膜的初期概念。到 1965 年，就有科学家成功地用激光制成了光学薄膜。

在 80 年代初的头几年，主要是利用近红外波段的激光，比如 Nd YAG 激光和 CO₂ 分子激光照射固体靶进行镀膜。经过研究分析对比，发现用这种激光来镀膜，其性质类似于使用电子束打击靶材料作蒸发镀膜，未见用激光镀膜有多大的优越性。到 1987 年以后，人们开始用输出短波长激光的激光器（比如输出波长 193 纳米的 ArF 准分子激光器、输出波长 248 纳米的 KrF 准分子激光器）镀膜，制备出了高质量的 YBCO 和 BiSrCaCuO 高温超导薄膜。这以后，用短波长脉冲激光镀膜获得了迅速发展，据称，目前世界上有一半以上的高温超导薄膜是用这种方法制出来的。随着这门技术的发展，人们也探讨了这种镀膜技术的基本原理，总结了这门技术的优越性和发展潜力。

原子的电子吸收波长一般是在短波长区，或者说，固体靶材料对脉冲短波长激光强烈吸收，入射到靶面的激光被反射的很少，大部分被吸收掉。吸收了激光能量的靶材料温度很高，迅速升到蒸发温度以上。蒸发大量原子、电子和离子，形成一个等离子体。随后继续往固体靶入射的激光能量在通过这等离子体区时，被它强烈吸收。吸收了激光能量的等离子体温度急剧上升，体积迅速膨胀。激光脉冲结束后，由于等离子体密度分布梯度还存在，因此，它还继续膨胀。膨胀后的等离子体迅速冷却，其中的原子就在靶对面的衬底上凝结起来，形成薄膜。

用这个办法镀膜有好几方面的优点：

(1) 只要入射的激光能量密度超过一定数值（它称为蒸发阈值能量密度，一般为 0.10 ~ 0.40 焦耳 / 厘米²），各种元素都有相同的脱出率；而且蒸发出来的各种元素在空间有相同的分布规律。所以，得到的薄膜成分和靶材料的一样，这个性质使得这种镀膜方法很适合用来制备多元

化合物薄膜，或许还适宜用来制备含有挥发元素的多元化合物薄膜。特别是适合用来制造高温氧化物超导薄膜，因为它们的超导性能对组分非常敏感，不同化学配比，有不同的超导转变温度，现在利用激光镀膜技术，已制出高质量 Y 系、Bi 系和 Te 系高温超导薄膜。

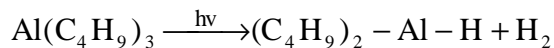
(2) 从靶材料表面蒸发出来的粒子，绝大多数沿着与靶表面垂直的方向前进，与激光入射的方向无关。所以，只要把衬底放在靶材料正前方就能够获得均匀的薄膜，用通常的电子、离子加热靶材料蒸发镀膜时，从靶材料表面蒸发出来的粒子在空间的分布与角度成余弦函数关系（这里的 θ 是粒子飞出的方向和靶面法线之间的夹角）。

(3) 镀膜时靶材料消耗量少，靶材也可以做得很小，原则上只要比入射的激光束光斑大一点即可。所以，在制备稀有金属的薄膜或贵金属薄膜时，用这种镀膜技术是有利的。

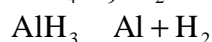
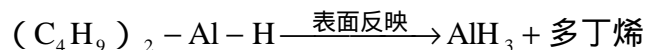
(4) 它不需要坩埚，避免了坩埚的污染，也不出现用其他镀膜方法时因为真空壁温度升高放气而造成的污染。

此外，还有镀膜速率高等优点。

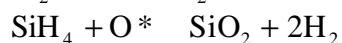
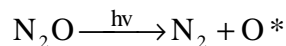
另外一种激光镀膜技术叫做激光诱导化学气相淀积，它使用的镀膜材料不是固体的，而是气体混合物，选用的激光波长应是气体原子或分子的强度吸收波长。如果使用的是紫外波段的激光，激光波长应是在原子（或分子）的电子吸收带上；如果用的是近红外波段的激光，所用的激光波长应是在分子的振—转吸收带。这样做，就能让原子或分子吸收了激光能量以后，发生有效的光分解反应。因为这种镀膜技术是基于对气体原子、分子光分解形成的原子淀积在基底上而形成膜的，所以，镀什么元素的薄膜，就选含这种元素的气体分子化合物做镀膜原料，比如在基底上镀金属铝膜，选用的气体材料是 $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ 蒸气，它在激光的作用下将发生如下的光分解反应



随后， $(\text{C}_2\text{H}_5)_2 - \text{Al} - \text{H}$ 与衬底材料表面发生表面反映：



铝原子淀积在衬底上，形成铝膜。如果是镀介质膜，比如镀 SiO_2 膜，就先用短波长激光作用于 N_2O 气体，使它发生光分解反应，生成在激发态的氧原子，然后这个在激发态的氧原子同硅烷（ SiH_4 ）反应，便生成 SiO_2 膜。整个制造过程用下面的反应式表示：



用这个办法制造硅膜的速率很快，大约是每分钟 200 纳米。如果用紫外波段的激光对 SiH_4 、 Si_2H_6 或者 Si_3H_8 等气体进行光分解，也能在衬底上以很高速率形成非晶硅膜。

激光诱导气相淀积方法制造薄膜也有一些优点，首先，因为它是通过光分解过程来实现在衬底上淀积镀膜材料，没有加热源，因而也就可以使衬底保持在比较低的温度，避免材料因为温度升高而导致性能发生变化或结构上发生变化；其次，可以有选择性地某个微小区域上淀积，

所以，有可能做到不用掩膜版，用激光直接进行淀积制造集成电路。

制造纳米材料

直径小于 100 纳米的颗粒材料（通常又称纳米材料）在光学、热学、电学、磁学、声学、化学等各方面的特性，都显示出和块状材料明显不同，利用这种材料可以制造出比过去用块状材料性能更为优异的元件。比如，用纳米材料制成的磁记录器，记录信息密度可以提高 10 倍；用纳米材料制成的催化剂，催化效率可以提高 100 倍。

制备纳米材料的方法现在已经不少，常用的有液相沉淀法、加热蒸发法等，不过，使用激光技术发展起来的制造技术产生出来的纳米材料质量最好，是最有发展前途的制造技术。

制备材料的过程中，都会涉及到加热或者化学反应过程，激光的单色性好，亮度高，我们有选择地选出属于物质原子（分子）吸收系数最大的光波长照射它们，就能有效地加热物质，加热升温的速率会很高，可以达到 $10^6 \sim 10^8$ /s；而移走激光束后，物质温度下降速率又会很高，可达 $10^5 \sim 10^6$ /s。快速升温 and 快速冷却生长纳米材料的条件，用其他制造方法是很难达到的。选择属于原子、分子吸收峰值波长的激光，也能引起它们有效地发生光化学分解反应，同样地利用光分解办法生长纳米材料也就很有效。现在利用激光做光源发展起来的纳米材料制造技术主要有：激光加热蒸发淀积法、激光气相法和光子解离法。

激光加热蒸发淀积法是利用高功率激光束照射在真空室内的固体靶材料，它吸收了激光能量之后迅速升高温度，蒸发出原子蒸气。这蒸气急剧冷却后便凝固成纳米颗粒。得到颗粒直径尺寸可以通过改变往真空室充入的惰性气体气压，或改变对靶材料加热的温度来控制。用这个方法制出来的颗粒尺寸一般为 10~100 纳米。现在，用这个方法已生产出高熔点的 SiO_2 、 MgO 、 Al_2O_3 等纳米材料。

激光气相生长法是利用激光与气相材料相互作用，使它发生分解反应，反应生成的原子聚集成核、长大而成纳米材料。比如生产 Si 纳米材料，可选用 SiH_4 气体，用 CO_2 激光照射它时，它强烈吸收激光的光子，发生光化学反应，分解出 Si 原子，它再聚集便形成硅纳米材料，当然，如果气体原料本身对照射它的激光波长不吸收，则可以在气体原料中加入能吸收这种激光能量的附加气体来进行。用这个方法生产出来的颗粒尺寸比较小，一般是 1 纳米左右。

激光光子解离法的做法和前面的激光气相法相类似，主要区别是前者利用激光能量使气体分子发生热离解，这里是利用光子的能量打断分子键，使它发生离解。如果使用的是在红外波段的激光（比如 CO_2 激光），它的光子能量比较小，不能达到使分子离解所需要的能量，在这个时候，就需要用到非线性光学中的“多光子吸收”过程，分子一次同时吸收多个红外光子，总的能量可以达到分子的离解能。在气体中实现多光子吸收，入射的激光束光子密度要达到一定数量，亦即，激光功率密度要达到一定水平。所以，需要使用高功率激光器。

预报地震

地震是一种严重的自然灾害。1995年1月17日，日本神户市、淡路岛发生了强烈地震，受伤2万多人，死亡5000多人，造成的财产损失估计达900多亿美元。如果能预先知道将要发生地震，及早做好预防工作，可以大大减少财产损失和人员的伤亡。现在天气可以比较准确地预报了，地震能不能预报？从古时候起人们就在探讨这件事。我国古代科学家张衡发明的地动仪，可以说是世界上最早测量地震的仪器。

地震是地壳运动使岩层达到破裂所造成的。在发生这种情况之前，会先发生地面形变。我国著名地质学家李四光教授说过，与地震的发生有着最直接联系的应该是地应力的变化。如果能够及早察觉地应力的变化，也就可以预报地震了。用激光可以灵敏地探测出由地应力引起地壳的微小变化，所以，激光有可能成为预报地震的重要手段。

我们知道，干涉仪是测量微小变化非常灵敏的仪器。图32是通常用的迈克尔逊干涉仪的光路结构。从光源发出的光束射到分光镜M（这块镜子的透过率和反射率各为50%）。其中有一半的光能量被反射，反射光射到反射镜 M_1 ，从这块镜子反射的光再次通过分光镜M，继续向前射到接收器上。另一半的光束则从分光镜M上透射出去，投射至反射镜 M_2 ，它的反射光传至分光镜M时被反射至接收器，与前面一束光在屏幕上迭合，并形成干涉图。此时如果反射镜 M_1 （或者反射镜 M_2 ）往前或者往后移动，或者发生倾斜，换句话说，如果长度 l_1 （或者 l_2 ）发生变化，在接收器上的干涉条纹也相应地发生移动；反过来，如果我们从接收器上看到干涉条纹发生变动，那也意味着干涉仪上的距离 l_1 （或者 l_2 ）发生了变化。如果我们把构成干涉仪的两块反射镜 M_1 和 M_2 固定地面上坚实的石块上，那么，地壳发生形变时，在接收器上我们也就会看到干涉条纹发生移动，从移动的数量可以推算地壳变动幅度。而根据这个变化幅度可以推知是否将要发生地震和地震的强弱。

反映地壳形变的灵敏程度与构成干涉仪的两块镜子 M_1 和 M_2 的距离 l_1 和 l_2 （它们称为干涉仪的臂长）有关。普通光源的单色性比较差，限制了臂长，用单色性最好的氪灯，臂长也只不过37厘米左右；而激光的单色性极好，用激光时臂长可以做到几公里长，因此，用激光可以获得很高的探测灵敏度。

另外一种预报地震的激光仪器是激光锁相应变仪，利用它可以直接观测由于地壳变动引起的应力变化。表3列出了用这种仪器预报在1976和1977年世界上发生的七级以上远震，以及6级以上近震的发生时间和实际发生地震时间（该资料引自李守中、吕大炯、高建国1978年发表在《激光》杂志第3期的文章）。

表 3

日期	地点	震级	推算时间与实际发震时间差值
1976.11.15	宁河	6.9	1 小时 11 分
1976.11.24	土耳其	7.7	57 分
1976.11.30	智利	7.9	4 分
1976.12.12	日本	6.1	10 分
1976.12.13	云南	6.8	4 分
1976.12.15	硫球	7.0	1 小时 16 分
1977.1.2	甘甫	6.5	43 分
1977.1.6	新几内亚	7.2	2 小时 17 分
1977.2.19	日本	6.0	6 分
1977.2.20	阿留申	7.0	37 分
1977.3.7	迁安	6.0	10 分
1977.3.19	吕宋岛	7.0	2 小时 35 分
1977.4.2	西萨库亚	7.3	1 小时 6 分?
1977.4.21	所罗门	6.8 ~ 7.3	12 分
1977.5.12	芦台	6.7	3 分
1977.6.22	汤加	8.1	8 分
1977.7.21	菲律宾	6.8	3 小时 33 分
1977.8.19	印尼	8.1	45 分
1977.9.5	阿留申	6.6 ~ 7.1	2 小时 10 分
1977.10.10	汤加	7.1	3 小时 6 分

监测环境污染

环境污染是当今人类生产活动中遇到的一个严重问题，环境的变化会对政治、经济和社会各方面产生影响。因此，各国都十分注重环境科学研究和环境保护工作，在这些工作中，准确地测量环境中存在的污染物质以及它们的分布，又是一项非常重要的事，对人体健康有害的污染气体，如 CO、CO₂、NO、O₂ 和卤化氢等，它们在大气中的含量虽然并不高，但对人体健康却有很大的影响，而且，这些物质的含量对于气候变化也产生影响。科学家研究了在菲律宾发生的火山爆发时，喷发出来的灰尘和 SO₂ 气体对海拔 30 千米上空大气的影响，发现由于光化学反应过程，二氧化硫会变成硫酸，硫酸水溶液滴在大气中可能保存几年，从而可能导致地球大气的能量平衡、气候和臭氧层的变化。

过去测量大气中污染物质的方法一般都是以化学分析为基础的，完成一个地区的测量工作要花比较长的时间，而且测量灵敏度低，也不能做到实时监测。现在，科学家正在采用激光技术进行环境监测工作。用激光可以精确地给出我们周围环境中各种污染物质成分，它们的含量以及在空间的分布，测量灵敏度可达到 0.1ppm（百万分之一）；而且一次可以对大范围空间内的污染物完成测量，完成测量工作花的时间比较短，可以进行实时监测。用激光进行这种监测的主要方法有激光拉曼散射测量法、激光共振荧光测量法和激光米氏散射法等；使用的测量仪器主要有激光雷达、激光拉曼散射谱仪和激光荧光光谱仪。激光雷达能够以三维图象监视城市大气中的一氧化二氮、二氧化氮、二氧化碳及臭氧分布的二维和三维图像。利用得到的图像我们可以了解城市环境污染物质的排放和排入情况。为了能够在较大范围内快速完成测量工作，可以把激光雷达放在飞机上。1991 年到 1992 年期间，由欧共体和德国政府资助的欧洲北极平流层臭氧监测实验组，采用机载激光雷达，通过测量臭氧的密度和气溶胶的背向散率，收集了北极上空 12.5 ~ 24.5 千米高度的大气成分分布，发现了极地平流层的云层在极地平流层臭氧的衰减中起重要作用。

利用机载激光雷达可以很灵敏地测量出大气中气溶胶的分布。图 33 是某个小城市上空大气层中的气溶胶分布情况。测量是在清晨进行的，这时候大气比较清洁，肉眼看不到存在气溶胶团。但是，用激光雷达能够发现，而且还能绘出它的详细分布图。

利用机载激光雷达也能够快速获得地球界面以内和以上至 4 公里高度上的水蒸气分布情况，这些测量结果，对于气象研究分析是很有用的。此外，利用激光雷达可以探测在江河、湖泊和沿海水域中的污染物质。

通过测定激光束在穿越大气时被大气污染物质、气溶胶粒团散射回来的光信号（称为回波信号）的退偏振度，也可以鉴定大气污染源。比如说，激光束射向热电站的烟囱上空，根据光回波信号的退偏振度，可以断定这热电站的燃烧状况，从燃烧煤的热电站烟囱上空返回的激光信号，它的退偏振度大，而非燃烧煤的热电站烟囱上空返回的光信号，其退偏度小。在做这种监测工作时采用的激光脉冲是线偏振的，当它与

大气中的溶胶团或者污染物质的分子相互作用时，回波信号会产生部分退偏振，有时还会是完全退偏振。

激光束在大气中传播的过程中，与大气污染物质分子、大气中的气溶胶团粒、大气湍流等相互作用，将引起激光束的振幅和相位发生随机变化，所以，在激光回波中包含有待测的大气区域中的各种信息，通过对回波信号的分析，我们能获得大气中污染物质、大气变化等各种信息，这种工作现在科学家正在研究。

死光武器

从古时代开始，人们就幻想着用光束做成武器。光束跑得快，每秒走 30 万公里，比世界上任何物体的运动速度都快。用块镜子反射的光束，指到哪里，立即把哪里照亮；如果用光做成“子弹”，用镜子就可以极快速地扫射目标，能够所向无敌，做成“死光武器”。然而，人们长久以来的梦想，只有到本世纪 60 年代发明了激光器之后，才有可能实现。

海边计划

兵贵在神速。投向目标的武器运行速度快，击中目标的机会大。在各种可能使用的武器当中，“光子炮弹”跑得最快，每秒30万公里。古代用的长茅、弓箭自不必说，当今新式武器火箭、导弹，它们的飞行速度也无法和光相比较。这也就难怪人们从古时候起，就设想着用光束做成武器。相传公元前3世纪，古希腊有位著名学者阿基米德，就采用过光武器大战罗马船队。他让士兵各自手执镜子，把太阳光一起反射到罗马船队，聚集起来的太阳光把罗马的军舰点着火，结果罗马军队被打败了。类似这样的传说还有好些。不过，这样的事仅仅是传说，从实际上来说，用镜子聚集起来的太阳光是可以把火柴或者小纸片烧着火的，但要把远处的军舰给烧着火，那就太夸张了。稍作一点计算，我们就明白这不是真的了。假如要把1公里远的目标点着火，就需要聚集太阳光的镜子的口径达半公里大，这么大口径的光学反射镜，不用说在古代，在光学生产技术比较发达的今天也是困难的；就算造得出来，如何在战场上给立刻安装上来也十分费劲。在自然间太阳光算是亮度最高的，所有其他各种人造光源的亮度都比太阳光低。用太阳光尚且做不成武器，用人工制造的光源就更谈不上了。所以，尽管美丽的传说有许多，也很动人，就是没有哪个国家的政府真正投资研制光武器。

到本世纪60年代，情况出现了变化，人们制造出了一种新式光源——激光器，它的亮度比太阳光还高亿万倍，利用这种新光源，就有可能实现光武器的梦。

当激光器还在摇篮里，美国三军就开始大谈特谈激光武器。在军队中，差不多没有人不支持激光武器，不在谈论激光。在他们的心目中，激光是自原子弹爆炸以来最大的新闻，是原子弹之后在武器领域中最大的突破。不只是军人，连提出激光器工作原理的科学家也心动，要协助试制激光武器。他们仔细考虑了激光在军事上应用的潜力，向当时在普林斯顿大学工作的威勒写了一份研究激光武器的报告。威勒当时是美国国防分析研究所和高级研究计划局一项计划的负责人。该研究项目是旨在寻求一些目前尚未受到尝试，但有可能对国防做出至关重要贡献的办法。因而，科学家提出的激光军事应用计划，正合威勒的胃口。到1960年，激光器正式问世，各种有关激光武器的方案也接踵登台，设想着未来的死光武器。到了1960年下半年，原先输出功率只有几瓦的红宝石激光器获得了突破性进展，输出功率达到10兆瓦！它能够在2.5毫米厚的钢板上打出一个洞。这是非常鼓舞人心的消息，给发展激光武器计划又注入一支强心剂。“该下决心干了”，军人们迫不及待，到1961年底，美国国防部研究和工程办公室、高级研究计划局、国防分析研究所和海军局，终于讨论拟定了一个称为“海边计划”的激光武器制造计划。

在海边计划的带动下，美国不久又推出“第八张王牌”的激光武器研制计划。里根当上美国总统之后，又提出“星球大战计划”，要建立激光打击导弹的防御系统。

不过，尽管研制这类死光武器计划很雄伟，研制工作也进行得有声有色，但各种研制计划后来都遇到了困难，还没有真正有一件死光武器造了出来。这大概是搞武器并不那么顺民心吧！

测距能手

前面谈到，激光还不能直接成为炮弹击毁飞机、坦克和导弹，但是，用激光帮助作战，却又是创造了奇迹。这里先说一说用激光帮助炮兵测准目标距离的事。

大炮、火箭要能打得准，首先要把目标的距离给测准。因为大炮打出的炮弹不是平行于地面跑的，而是沿着所谓抛物线的轨道飞去的，飞过的距离和大炮发射时与地面成的角度有关系。目标的距离测量准了，炮手就可以采用准确发射角度开炮。以往测量目标用的光学测距仪和无线电测距仪，它们测量目标距离的准确性不高，也不能迅速给出目标的距离，完成一次测量要花点时间。在现代战争中，不能即时即刻测出对方的距离，把它给打垮，自己就会被对方打垮。现在，用激光为光源制成的激光测距仪，测量距离的性能获得很大的改善。首先是它测得准，通常用的小型激光测距仪，重量也就不过半公斤左右，它能测量 10~20 公里远的目标，误差就 1~2 米（顺便补充一句，用来测量人造地球卫星距离的激光测距仪，测量的精度更高，测量 8 千公里远的目标，误差仅 2 厘米）。其次是完成测量的时间短，每测一个目标的距离，前后花不了一秒时间。第三个优点是操作简单，完成测量工作的手续简便。测量时通过测距仪上的望远镜瞄准目标，掀一掀发射激光的电键，在仪器的显示器上就会显示出目标的距离。

用激光是怎样完成距离测量的呢？说来原理也很简单。假定激光从发射地点至目标来回花的时间为 t ，那末，目标的距离 L 便可以由下面的式子算出来

$$L = \frac{1}{2}ct$$

由此看来，要测准目标的距离，关键在测准时间 t 。在实际测量的距离范围内，时间 t 的数值是很短的，光波从 10 公里处的目标来回走一趟，花的时间也只不过十万分之六秒。如果测量时间误差为百万分之一秒，测量距离的误差就有 150 米。要想获得测量距离的误差只有 1.5 米，那么，测量时间的误差应小于 10^{-8} 秒。要达到这个测量精度，首先要求激光脉冲的时间宽度要极窄，它起码也要小于 10^{-8} 秒，激光测距用的激光器，通常用的光脉冲时间是纳秒量级。其次是在测量时间的方法上下点功夫。对于脉冲激光测距仪，时间的计量是由计数装置完成的。在这个装置里面有一个产生固定频率的脉冲发生器，计数时间长短按发射的脉冲数目完成。在作测距时，当我们触发激光器发射激光的同时，也给计数装置一个驱动脉冲，让它的脉冲发生器开始发射电脉冲；当测距仪的光电接收器收到从目标反射回来的光脉冲时，也同时通知计数器停止工作。假定计数器记录得脉冲发生器发射的电脉冲数目为 N ，那么，目标的距离 L 是

$$L = \frac{Nc}{2n}$$

式中 c 是光速， n 是脉冲发生器每秒发射的电脉冲数目。计数器记录的电脉冲数目以及由它计算距离的工作，都是由在测距仪内的小型计算器完成的。

前面介绍的属于脉冲激光测距仪，还有一类称相位测距仪，它是基于测量从目标返回的光信号相位变化来确定距离。这种测量方法得到的测量精度比脉冲测距仪更高。

现在使用的激光测距仪大多数采用 Nd YAG 激光器或者半导体激光器。这两种激光器输出的波长在近红外波段，受大气中的烟雾尘粒散射而损失能量的数目比较大，或者说，它们穿透烟、雾能力比较弱。而在实际的战场中往往又都是硝烟弥漫的，这就影响了测距仪发挥威力。CO₂ 激光器输出的激光波长比较长（10.6 微米），从光学基本知识中我们知道，波长长的光波受粒子散射损失的能量相对波长短的少；而且波长 10.6 微米又是处在所谓“大气窗口”中（大气对这波长附近的光辐射能量吸收很微小），所以，用 CO₂ 激光器做成的激光测距仪，更适合于在战场中使用。

毕竟激光测距仪用在战场上的机会不会很多，特别是在今天，大的战争不多，大伙都希望和平。所以，激光测距仪更多的是在民用测距。正如下面我们要说到的，激光会损伤人的眼睛，造成失明，所以人们现在又在研究制造人眼安全使用的激光测距仪。有两种做法，一种是使用功率比较低的激光器做测距仪的光源，使得射到人眼的激光功率水平低于可造成人眼损伤的阈值功率，也就可以保证测距仪输出来的激光束射到人眼睛，也不致造成损伤，不过降低激光器输出功率，会减少有效测量的距离。另一种做法是选择属于人眼安全的激光波长，比如选择输出波长 1.53 微米的激光器，人眼的角膜对这个波长发生强烈吸收，因此，即使测距仪来的激光误入到眼睛，它也会被角膜“挡在门外”，不会伤及视网膜。

长了眼睛的炸弹

从飞机上扔下的炸弹，能够击中预定轰炸目标的可能性不大，飞机飞得越高，击中预定目标的可能性也越小。但是，飞机飞得低，容易被地面密集的炮火击中。所以，过去要轰炸地面上的目标时就同时出动大批飞机，一起往下扔下如雨点般的炸弹，它们当中就有几颗击中目标。不过，这种狂轰滥炸，只能让无辜的商店、民宅、学校、医院、工厂遭殃，让无辜的平民百姓死于非命，这种状况在现在是不能重演的。激光技术能帮助炸弹辨明目标，专门轰炸预定的军事目标，而不去侵犯居民住宅、学校和商店。虽然是在轰炸了，老百姓可以依然照样生活和工作，不必逃难去。用激光帮助炸弹找目标，在越南战场上就显示过威风。在1972年，越南战争还在激烈进行。在越南北方的一个重要交通枢纽——杜海桥，美国几番想把它炸掉，但慑于地面强大的防空炮火力量，一直没有得手。一天早上，又有两架F-4鬼怪式美国飞机飞来，它们飞得高高的，越过了地面高射炮的射程。飞机在杜海桥上空盘旋几圈之后，一架飞机扔下炸弹之后就急忙往回飞走了。奇怪的是，投下的这颗重型炸弹仿佛是长了眼睛似的，一直盯着大桥飞来。突然一声巨响，真的把大桥给炸断了，连在桥下面的设施也被炸毁。类似的事件此后又发生几起，比如在海防的油库、清化大桥等重要设施，接连给炸了。根据统计资料，美国军队在越南战场上一共投下25000枚用激光指挥的炸弹，共摧毁目标约18000个，与当时比较先进的，采用计算机投放的炸弹相比较，激光引导的炸弹命中率提高了60%。

1991年发生海湾战争。在战争初期，法国飞机是低空飞行轰炸，但遭到地面密集的高射炮和轻武器火力攻击，没有办法进行有效的打击任务。后来他们改为高空飞行打击，从离目标10公里、高度3公里至6公里投炸弹打击。从被攻击目标来的高射炮弹或者地空导弹，对在这个距离和高度上的飞机是鞭长莫及，奈何它不得。但是，从飞机上投下的炸弹，却能准确地打击伊拉克的地面目标和海上目标。电视观众从电视屏幕上也曾看到这样的一幕：一架F-117A轰炸机发射的一枚炸弹，通过伊拉克钢筋混凝土弹药库的库门，精确地命中该弹药库，把它摧毁掉。更令人赞叹的还有这么一件事。一架多国部队轰炸机在完成轰炸任务归途中遇到了正在飞行的伊拉克直升飞机，怎么办呢？这时已缺少火炮弹药和导弹，飞行员果敢地试用炸弹攻击它。果然投下的一颗炸弹把这架直升飞机炸成了碎片。在过去，用炸弹攻击快速运动的目标是毫无希望的。

激光炸弹大大提高了攻击目标的准确性，命中目标的几率差不多达到了100%。参加过1991年海湾战争的一名美国退伍将领在电视讲话中说：如今F-15战斗机投下一枚激光炸弹，等效于第二次世界大战时投下12000枚。激光炸弹也减弱了战争的残酷性。1991年的海湾战争中，多国部队向伊拉克投下成千上万颗炸弹，但是，伊斯兰教寺院、医院、学校、居民住宅很少被炸，而特殊的兵站或司令部的钢筋水泥掩蔽体，则能被炸弹单独炸掉，炸弹可以从地下要塞的通气孔进入，把地下室炸掉。如果这次海湾战争使用过去的炸弹，恐怕战后的巴格达就被夷为平地了。

上面的事例告诉我们，现在用的炸弹似乎是长了眼睛似的。不错，

是激光给炸弹按上了眼睛。这种炸弹的结构和普通炸弹有点不一样，图 36 是现在比较成熟的激光制导炸弹的结构示意图。在前端的激光搜索器便是炸弹的“眼睛”，它装在一个保护套里，由一个能收集从目标反射的激光的光学系统，以及对激光有很高探测灵敏度的光电探测器组成。它把接收到的激光转变成电信号，此信号经微型计算机处理后，就可以知道这炸弹是否在按目标的方向飞行，如果是偏离了指示方向飞行，就会同时产生一个纠偏信号，向装在尾部的控制翼发出纠偏指令。如此不断地修正飞行方向，使炸弹严格地沿目标的方向飞去，直至把目标炸毁为止。指引炸弹飞行的激光束，可以由另外一架飞机（或者投弹的飞机本身）上的激光器发射，也可以由地面部队指挥人员操纵激光器发射。图 37 是用激光指挥炸弹飞行的原理图。新式的激光炸弹可以不需要另外专门一架激光器向目标发射激光，它把红外传感器和激光器同时装在炸弹的头部，红外传感器自动捕获目标，激光器自动向目标发射激光束。

激光制导炸弹取得成功，重点的发展还在于用激光制导导弹。用激光制导导弹飞行的方式有四种：半主动式、主动式、驾束式和指令式。半主动制导导弹上不装激光器，只装激光导引头，指示导弹飞行的激光束由地面人员或飞机上的人员发射；主动制导导弹上同时装有激光目标指示器和激光导引头，导弹发射后，它上面的激光器向目标发射激光，从目标上反射的激光指挥导弹的飞行方向。激光驾束制导导弹在尾部装激光探测器，指挥导弹飞行激光束内制导站的激光器发射；并将光束中心对准目标。在光束中飞行的导弹，当它的飞行方向偏离光束中心时，在尾部的光电探测器接收到信号，经过计算机处理后就可以向导弹发出纠正飞行方向的指令。激光指令制导导弹上装有激光接收器和角反射体。指挥的激光束照射目标，也照射导弹，从导弹上的角反射体反射的激光与目标反射的激光相对比，就可以知道导弹偏离目标的方向。

激光引信

有些保密装置、设备，或者里面藏有机密文件的装置，或者大型飞行器，它们往往装有“自毁装置”，比如保密装置如果将要落入敌人手里时，它自动爆炸，把设备炸毁；大型飞行器在发生故障，快要飞到城市住宅区时，在城市上空自动爆炸，就可以避免使城市遭到破坏。给自毁装置下达“自毁”命令，是靠外来引入控制信号实施的。此外，在战场上摆的多种爆炸物，比如地雷等，都希望它平时不爆炸，而专等敌人来了，或敌方的坦克、汽车等来到才爆炸。要做到这一点，也需要让它们是在外来控制信号指挥下“爆炸”。控制爆炸的信号可以是声音、电信号或者压力。对在空中的起爆装置，过去主要用无线电信号控制。随着战术武器技术的发展。人们能够发出干扰信号，制止引爆信号起作用。这就需要设法使用防干扰的引爆信号。光波不受电信干扰，所以，激光引爆也就受到重视。

地雷是战场上用得最普遍的爆炸物，坦克对于地雷也存三分惧怕，尽管它有厚厚的钢板。一旦触雷，就有被炸毁的危险。因而，在战场上布地雷，也是阻止坦克前进的重要手段。但是，通常的地雷是靠压力引爆的，坦克不踏上地雷，就不会被炸掉。一般的坦克的履带宽 58 厘米，两边履带之间的距离为 3.2 米；也就是说，从坦克在地面驶过的地带来说，触雷的几率只有 40%。为了提高坦克触雷的几率，必需提高布雷密度，这当然同时也就增加费用和增加人力。另外，有时也希望地雷只炸坦克，对走过的汽车或人，地雷不发生爆炸。以上这些问题，采用激光来帮忙，也能获得解决。比如，采用声音开关和激光器配合，触发电信号引爆就可以做到专门引爆地雷炸坦克。坦克开过来的时候发出隆隆的响声，这声音开关打开激光器的电源，让激光器发射出激光。如果坦克的下方是地雷，那么激光束射到坦克的底部后反射回来，反射光被接收后，向引爆装置发出起爆信号，坦克就会被炸。如果坦克是从地雷的旁边而过，声音虽然给激光器发出发射激光的信号，但因为激光器发出的激光得不到反射回波，地雷也就不爆炸。汽车走过的时候，因为汽车底部的反射率和坦克底部的反射率不同，反射的激光强度不一样，也可以用作区别只炸坦克，不炸汽车的依据。根据激光技术人员的经验，用这个办法做成的引爆装置，可以大大减少埋设地雷数目，据称，在相同宽度的路面上可以减少埋雷数量达 90%，比如，同是在 7 米宽的路面上埋雷，用压发式引爆的地雷，要埋 20 枚，用激光引信的只需 2 枚。

专打眼睛的武器

在今天，激光武器还没有手枪般的力量可以在人体上打出个洞来，但是，用激光制成专门打眼睛的武器，确实也令人望而生畏。

战士能够在战场上对敌作战，有双好眼睛至关重要，眼睛受伤了，便会丢失战斗力。但是，眼睛又很“娇”，根据生物学家作的实验研究结果，到达眼底视网膜上的光功率密度有每平方厘米面积十分之一瓦的水平，便会损伤视网膜。在两军对垒的战场上，战士都是全神贯注地盯住对方，眼球对光束会聚的位置正好就在视力区——黄斑区，更容易被光束损伤。

激光有很高的亮度。一台普通激光器输出的激光束，传播到几公里远的地方产生的光功率密度为每平方厘米 1 瓦多，足可以损伤人眼的视网膜。于是便有人用激光制成专打击眼睛的武器，现在称为“激光致盲武器”。在现代化的战争中，特别是驾驶高速飞行器的战士，哪怕眼睛出现短时眩目，也会出现严重的后果。1982 年的马岛战争，英国军队使用激光致盲武器就曾使阿根廷一架战斗机的飞行员眩目，导致飞机坠入海中；使一架飞机偏离航线而被自己的友军防空武器击毁，还使一架飞机放弃了原来准备攻击英军护卫舰的计划。

坐在坦克里面的敌人，全都在厚厚的钢铁保护之下，用普通的武器想把他击倒不是件容易的事。这时候，用激光致盲武器则有办法把他们击倒。坐在坦克里面的驾驶员能看见外面世界，靠的是一架装在顶端上的潜望镜。它也是给激光致盲武器射击的“窗口”，从远处对准潜望镜的入口发射激光束，这激光束就沿潜望镜的光路一直进到驾驶员的眼睛，使他的眼睛受损伤而丧失战斗能力。图 38 是激光致盲武器打击坦克的情形。

激光致盲武器除使战士致盲之外，也能用来使侦察飞机、间谍卫星致盲，使它们失去侦察能力。各种侦察飞行器的“眼睛”是光电接收系统，它也是一个比较脆弱的部位，当他收到的光信号强度比较高时，便会发生所谓“饱和”现象，对外来的光信号不再有“感觉”。做光电接收器的材料主要是碲镉汞（HgCdTe）、硫化铅（PbS）、铟化镉（InSb）等，只要在每平方厘米面积有功率 $10^2 \sim 10^4$ 瓦，就会使它们损伤。一台输出能量 1 焦耳的 Q 开关激光器，输出的光束通过一只望远镜往外传输，在 5 公里远的地方产生的功率密度水平就超过 10^4 瓦 / 厘米²。基于这个道理，人们现在制成了各种专门对付侦察系统（包括侦察飞机、间谍卫星）的激光致盲武器，比如“眼镜蛇”、“鱼”、“花冠重子”等，它们可以使位于 5 公里之外的侦察系统致盲，失去搜集情报的能力。

间谍卫星飞得很高，目前还没有什么武器可以把它击落，无可奈何地让它整天在搞间谍侦察活动。如今有激光致盲武器，便找到可以对付它的办法了。据说 1977 年 10 月份，美国在印度上空的一颗预警卫星的红外探测器受到了外来的干扰，使得北美防空司令部连续几天没有收到它发回的任何消息。1 个月之后，美国另外两颗卫星也遇到类似的怪事。1985 年，美国又有一颗侦察卫星的照相机、红外电子设备莫名其妙地完全失效了。情报机关分析说，以上这些怪事都是前苏联的反卫星部门干的，他们使用的武器，可能是激光致盲武器。有消息说，前苏联每年花

10 亿美元左右的钱在发展一种取名“余猎犬”的空基反卫星系统，里面安放有高功率激光器。

激光致盲武器也可以用来对付导弹。现代的新式导弹配备有非常灵敏的“热寻的”红外探测器和先进的电子读出装置，能够瞄准只有微弱热差的目标发动攻击，能够迎头攻击快速飞来的目标。虽然如此，引导这种导弹飞行最基本的信号是从目标发射出的“热”（即红外辐射）。所以，我们可以特意向它发射红外波段的激光（比如 CO₂ 激光器输出的激光）。给它来个假信号，引诱它往山里或往海里飞，而不往目标飞去；或者给导弹的红外探测器发射强的红外激光，使它发生“饱和”，也就失去“寻的”能力。

有矛必有盾，有激光致盲武器，也就有反激光致盲武器。比如，在战士们的头盔上加一副激光防护眼镜，便可以防止激光束损伤自己的眼睛。侦察仪器的接收系统采用编码接收方式，可以把致盲激光拒之接收器门外，也就可以避免致盲；还可以采用主动进攻方式，比如采取预警方式，在接收到致盲激光信号时，立即向激光束方向发射“寻的”导弹，把对方的激光发射装置炸毁。美国现就正在研制一种用于陆军和海军陆战队以及空军的激光指示警告接收器，在直升飞机上装上这种装置后，就可以随时告诉机组人员，飞机正在受到激光照射。

不会伤人的军事演习

军事演习是模拟在作战环境条件下进行的军事训练。它不同于平时的实弹射击，是动刀动枪的对着干。但是，因为对抗的双方都是自己人，开枪打炮就得留点神，以免出现意外事故，伤了自己人。既要认真地作战，又不能伤到人，确实有点麻烦。因此，演习时只能真真假假，虚虚实实地进行。比如，陆军、空军协同作战演习时，只能在指定时间和指定的空域进行“交战”。靶子离演习场地远远的，尽管歼击机向靶子打出如同爆豆子般的子弹，但子弹下落处是没有真正的“敌人”在的。又如炮兵和其他兵种联合演习时，炮兵们是背靠背地向各自的后方开炮，或者操着没有装弹头的炮弹，一本正经地在装炮弹、瞄准、开炮。在炮弹落地点有人拉炸药包，显示炮弹爆炸。这种演习，缺少真正对抗意识，有点如同在拍战争电影那股味道。

采用激光模拟武器进行演习，可以改变这种状况。图 39 是激光射击模拟枪，枪内装有半导体激光器，扳机直接与触发激光器发射激光的开关相连，扳机每扳动一次，激光器发射 1 个光脉冲，相当于发射 1 颗子弹。演习时，双方战士的头盔、衣服的肩、胸、腿等部位装有光电接收器和发声装置。双方对射中，当激光命中身体的一个部位时，就会触发发声装置发出一定声调的声音，同时在身上电光装置发出光信号；而且，激光命中身体不同部位，发出的声调和光信号也不同，我们就可以记录对方被击中后是被“打死”、“重伤”，还是“轻伤”。其次军事目标，比如坦克、飞机等，在它们的外壳上也装有光电接收器，以及发声装置和烟雾燃放器。当它们被激光模拟枪命中时，光电接收器会马上产生一个电信号，触发发声装置发出响声，同时触发烟雾燃放器爆发出烟雾。地面固定目标，比如建筑物、大桥等，也装有同样的装置，一旦它被装在飞机上的激光模拟射击枪命中，也发出响声和烟雾，如同真的被炮火击中一样。

因为被激光射击模拟枪命中并不会置人于死，也不会使飞机受伤、使建筑物炸毁。因此可以尽管放心去拼杀，和真的遇上了敌人那样。如此进行的军事演习，能比较真实地反映各兵种的作战配合、指挥人员的智慧以及战士们们的勇敢精神。而且，这样的演习花费也不大，据说花的钱只是通常的军事演习的零头。

激光侦查罪犯

打击犯罪分子、保障人民生命财产安全，这是公安部门的神圣责任。但是，完成好这个任务却不是轻松的。科学技术发达了，侦破案件的手段也先进了；同样地，罪犯作案的技术水平也在提高，企图采取种种手段避免被侦察到，这就给侦破工作增添了困难。不过，魔高一尺、道高一丈，再狡猾的罪犯，也逃不出公安人员的掌心。

指纹是侦破工作中重要的线索。我们知道，指纹的图案含有代表每个人特征的信息，因此，在犯罪现场寻找指纹并把它显示出来，是侦破工作中常常采用的。也是因为这个原因，犯罪分子也千方百计在作案时不留下指纹，或者有意把指纹弄乱。因此，显示指纹的工作也就越来越细致。用激光技术可以帮助我们提高显示指纹图像的能力。现在，用激光可以在钞票、支票、信件、书籍、武器、塑料、聚乙烯等物品上显示出指纹。在一宗谋杀未遂案件的调查中，用通常的处理方法未能显示出指纹，采用激光之后显示出了一枚指纹，帮助侦查人员终于破了案；一封邮给高级警官的恐吓信，也是用了激光配合检查，显示出一些指纹才破了案。

手指接触到物体时总会在它的表面上留下一点汗液，它里面含的物质数量很少，一般为 10^{-4} 克左右；其中 98% ~ 99% 是水，其他物质约为 10^{-6} 克。在这 10^{-6} 克的物质当中有一半是无机物质，剩下来的是由类脂物、氨基酸、维生素等组成的复杂无机混合物。根据科学家的研究结果，这些残留物质在光的照射下会发射出荧光，结果也就可以显示出一幅光亮的指纹图像。问题是残留物质数量很小，用普通光源照射，产生的荧光强度很弱，比较难辨别它的图案。激光的强度很高，在激光的作用下可以产生强度比较高的荧光。事实上，现在用激光技术可以辨别出 10^{-20} 克的微量物质， 10^{-6} 克的物质含量当然能显示出来。

根据光学分析得到的结果，指纹残留物中含有吸收蓝-绿光的物质，所以，用于显示指纹的激光器主要有氩离子激光器、铜蒸汽激光器和倍频 Nd YAG 激光器。使用脉冲宽度窄、每秒发射多个激光脉冲的激光器，能够有利于增强得到的指纹荧光和提高指纹荧光与背景的对比如度。因为物质发射的荧光是在激光脉冲作用后 20 ~ 30 纳秒出现的，在这段时间内的对比如度最高。

单纯用指纹残留物的固有荧光显示指纹潜像，做法比较简单，它是在暗室内进行的。用激光照射指纹区（它的直径一般为 10 厘米），然后用滤色护目镜进行目视检查。这滤色护目镜挡住反射的激光，但能透过指纹残留物质产生的荧光。一旦看到指纹潜像，就可以对它进行拍照。用这个办法得到的指纹残留物质荧光强度比较弱，分辨灵敏度不够高。为此，需要设法提高指纹发出的荧光强度。办法之一是，对于光滑表面和胶布上的指纹，先用“超胶熏蒸”，再撒上荧光粉末和涂着色染料（主要是若丹明 6G），然后用激光照射显示。超胶熏蒸是把待测指纹的残留物质的超胶主要成分进行聚合，让后面在加染料溶液时，指纹的残留物质不致被冲走。对于多孔物质（比如纸张等），通常是用茚三酮处理。这种物质与指纹残留物中的氨基酸反应，形成紫色产物，但它不发射荧光，再进行氯化锌处理，形成一种桔红色的配位体化合物后，在激光的

作用下就发生很强的荧光。图 40 中的 (a) 是没有经过强化处理时显示的指纹，图像一点不清晰；(b) 图是经过强化处理后得到的指纹图。

另外一种做法是所谓时间分辨成像法。有一些场合中，在激光照射指纹的区域产生很强的背景荧光。比如，检查在可口可乐罐上的指纹时，激光照射在它上面那些红色漆料发射出很强的红色荧光，而指纹残留物也是发红色荧光，于是我们就很难辨别指纹了。在这个时候就需要设法抑制背景产生的荧光强度，或者避开背景荧光的干扰。使用时间分辨成像方法，可以让我们避开背景荧光干扰，做法是这样，在指纹区加上染料物质和反应剂，它们的荧光寿命长，远远长于背景物质产生的荧光寿命（后者的荧光寿命一般为纳秒数量级）。因而，在激光作用过后不久，由背景产生的荧光消失，而由指纹显示的荧光依然还在，我们也就可以得到比较清晰的指纹图像了。

通往艺术殿堂

激光将艺术殿堂装扮得更加富丽堂皇，也给艺术乐园浇出一棵棵艺术奇葩。

动听的激光唱片

1877年，美国大发明家爱迪生发明了会说话唱歌的机器——留声机。它的发明给我们的文化生活增添了新的乐趣，不用出门到戏院，在家中就可以欣赏自己喜欢的戏曲、歌曲，而且还不受广播电台播放内容和时间的限制，自己高兴听什么戏曲、歌曲就听什么，高兴什么时候听就什么时候听。这多有乐趣！人们欣赏音乐的水平在不断提高，对唱片质量也不断提出新要求。比如，要求一张唱片能播放更长时间的节目，要求放出的歌曲犹如实际演唱会上演奏的，不夹杂音，有立体感觉。制造唱片的技术的确也不断在改进，制出的唱片质量是不断地在提高。更令人注目的是激光技术给唱片带来的影响。用激光灌音和用激光做唱针放音的唱片，我们叫它激光唱片，通常也称CD唱片，那是一种最新式的唱片，它能放出非常优美动听的乐曲，如同乐队和演员就站在跟前演出一般。普通唱片难免要出一点“沙、沙”的杂音，那是唱针与盘面摩擦发出的杂声。激光唱片在灌音和放音时用的是激光，它和唱片的盘面没有机械接触，当然也就没有由摩擦而产生的杂声。同时，也因为激光唱针和盘面没有机械摩擦，唱片反复使用时间长了，它的音槽不会发生磨损，换句话说，唱片可以长时间使用，用它十年八年没问题。还有，激光唱针“针头”极细，大约为1微米，比普通机械针尖小，所以，激光唱片的音槽可以做得很小。因而唱片单位面积上可以录入的信息多，唱片能放音的时间长，一张直径12厘米的激光唱片，能播放1小时的节目。因为激光唱片有这么一些优点，所以它很受大众的喜爱。现在，激光唱片已进入千家万户普通家庭，小学生都知道CD唱片，都知道使用激光的唱片。激光唱片的生产也很兴旺，1992年，激光唱片的产量就达到9亿张。

人的说话和乐器演奏发出的声波，会引起传声器金属膜片作相应振动，把这些振动进行放大之后调制激光束。如果这束被声波调制的激光在镀有金属薄膜的盘上刻划，就会在盘上刻出一道道长短不一的小坑，它们反映着声音振幅的大小。声音就是这样被“灌”进那只镀金属膜的盘上。这只盘是母盘，然后利用它做模子，通过模压方法，进行大量生产。激光唱片在放音时，这个过程与录制过程刚好相反。它也是用一束激光做唱针。照射到唱片沟纹上的激光再反射回来，由光学系统传送给光电接收系统，它把强弱变化的激光信号转变成强弱变化的电信号，它再驱动喇叭，就可以把声音放出来。

彩色音乐

音乐，能使人快乐、激动。如果和美术一样，能给音乐也加点“色彩”，让我们耳朵听着美妙的音乐，眼睛同时又欣赏着随音乐旋律变化的彩色图案，声情交融，更令人陶醉了。早在1879年，美国大发明家爱迪生就有过这个想法。他在纽约罗曼公园举办了一次别具一格的音乐晚会。他把从扬声器发出的声波按它们的频率分成三档：高频档、中频档和低频档，并让这三档的频率分别与三组颜色不相同的灯泡相连接。比如用高频这一档和一组黄色灯泡相连，中频这一档和蓝色灯泡相连，而低频这一档和红色灯泡相连。于是，当扬声器发出的乐声是在高频波段时，黄色灯泡发光，而发出的乐声是在低频波段时，红色灯泡发光。乐队演奏时发出的乐声频率一会儿高，一会儿低，相应地一会儿是黄色灯泡发光，一会儿是红色、蓝色灯泡发光。乐声旋律在变，我们看到的灯光也随之变换着，给人另一番情调。激光比灯泡发出的光鲜艳、明亮，0131用激光给音乐“配色”，便会使音乐更富感染力、更富魅力。激光照射到旋转着的凹凸花纹玻璃片上，反射光束就能构成如云雾、海浪等图案；射到转动着的镜子上，反射光可以划出各种立体图形。图41是激光和有色玻璃形成富有想像力的图案；图42是用激光在空中展现的动画与图形。

1983年春节，上海电视台连续播出的“群星璀璨电视歌会”节目，就是一次显示激光彩色音乐艺术魅力的例子。著名歌星苏小明“军港之夜”那优美、抒情的歌声悠荡，由激光构成的云雾、无边无际的波光闪闪的大海也随着歌声情调在变幻着，声、形相交融，把观众带到了入诗画意之中。换了一曲，激光又给换景色。歌曲情调在变，绚丽多姿的激光景象也在变。引人入胜，令人陶醉。

法国一个演出队到我国演出的激光电子音乐，也是一场令人难以忘怀的彩色音乐会。他们把电子乐器演奏的乐声通过电脑，控制激光束在空间和天幕上画各种图案和方案。显示的图案是那样的鲜艳多姿，又是那样逼真自然景色的美。给人的感觉是一会儿犹如在黄山上的云海，一会儿犹如在波涛翻滚的大海，一会儿又是在碧波中浮游。

激光音乐和喷泉结合在一起，诞生的激光音乐喷泉，又是别有风味的激光艺术。用电子计算机控制各个喷水嘴喷水的动作和喷水量，可以在空中洒出形态各异的“水帘”，也是公园的一种艺术。现在，再加上由计算机控制的激光束，在水帘上迭加上各式彩色图案，同时配上情景相映的音乐，这朵“激光音乐喷泉”艺术就更美了。上海市一家公园在春节举行的彩龙灯展上，用电脑控制的几束激光，照射在喷泉水柱上，描绘出一幅幅立体图案。随着音乐节奏的变化，五彩缤纷的光学图像忽而光芒四射，忽而旋转飞舞，犹如人间仙境，令人驻足观赏、留连忘返。国庆的夜晚，在北京天安门广场举行过激光艺术表演。20多束激光按照一定程序旋转、摆动、交织，再加上节日焰火产生的大量彩光，构成了一首空间彩色交响曲。

大屏幕电影、立体电影，我们都比较熟悉的了，激光全息电影却见的并不多。它是一种奇妙的电影艺术。看这种电影时不必戴特别的眼镜，就能看到真实的立体图像。据报道，在法国公演的一部全息电影，影像

在 60×65 厘米的屏幕上显示，能够观看到的映像有几米景深。

解开千古之谜

有一些文物很奇特，人们很难吃透它为什么会这么怪，也摸不准古人是怎样把它制成的。激光，它能成为一把解开秘密的钥匙，帮助我们解开一些秘密。

有一件明代文物，叫做“游鱼喷水洗”，它是一只青铜盆，直径 36 厘米，盆底直径 22 厘米，高 9 厘米，边宽 4 厘米。在盆底铸有凸起的四尾鲤鱼，它们头尾互相衔接围成一圈，每尾鱼朝上作喷水姿态（见照片 43）。在盆边上有一对耳环，对称放置。当面盆里倒入清水，双手手心在双耳环上来回搓动时，盆底这四尾鱼的鱼口会往上喷水，喷出的水珠有 20 多厘米高。当然，也有的人搓动时鱼口喷水水珠很小，或者不发生喷水。为什么鱼口会往上喷水？为什么有的人搓动时又不会喷水？一直是个谜。

揭开文物的秘密，需要对文物作一些物质分析研究。但是，对文物作分析不同于对普通物品，文物非常珍贵，有的还价值连城，不容许对文物留有半点损伤。

对文物作鉴定工作，只能采用“无损检测技术”，激光全息术可以用来进行无损检测工作。根据拍摄“鱼洗”

激光全息图，人们现在终于找到了它喷水的秘密。当我们用双手手心来回搓动“鱼洗”上的双耳时，相当于在给“鱼洗”输入机械振动，差动频率就是双手来回搓动的频率。盛在盆内的水也受到机械振动的激励，形成了水波。水波传到盆边被反射，反射波和往盆边传播的波相互迭加，形成所谓驻波。如果搓动双耳环的频率保持恒定，驻波的波幅会不断得到加强，激励着水柱往上窜。“鱼洗”设计者的巧妙安排是，他把四尾鱼的鱼口设计在产生的驻波波幅位置上。因此，从表观上就见到鱼口在往上喷水。

文物是珍品，价格昂贵。因而也就不乏其人在制造赝品，企图获取暴利。但是，赝品又造得往往和真品十分相像，有时候即使是行家，也会真假难分。这时候，激光技术能帮助我们做裁判，把赝品给找出来。曾有人称找到一幅失踪多年的中世纪古画。它是正品还是赝品？一时难以断定。后来，激光科学工作者利用激光技术对这幅“古画”的颜料进行了检测。发现这幅画中的蓝色是由一种叫做普鲁士蓝的颜料画的，这种颜料是 1704 年才有。因此，科学家肯定地说，找到的这幅画是 1704 年以后绘的，因而也就不可能是 16 世纪画的画，亦即找到的这幅是赝品。

给文物体检

从古代留下来的艺术珍品，数量少，同时又包含了人类文明历史的信息，是珍贵的文化历史资料，所以，世界各国都非常注重文物保管工作和文物研究工作。这项工作中有一项很重要的事就是给文物“体检”。随着时间的推移，文物总会发生一些变化。及时发现出现的变化，采取相应的“治疗”办法，就能让文物“延年益寿”。

木板画、帆布油画和壁画，在绘画之前一般都先在底板上涂许多层漆。但因为底板和油漆，以及各层漆之间对温度、湿度和大气压力变化的反应能力不相同（比如，它们的热膨胀系数不一样）。因此，随着年代推移，底板与油漆之间，以及各层油漆之间或多或少会发生一点相对移动，甚至出现脱粘情况。如果里面出现的微小“隐患”得以及时发现，或采取更妥善的保管措施，或进行适当修补，消除已出现的隐患，这油画就能一直完美地保存下来，进行的修补工作也会简单一些。如果到了用肉眼可以察觉的脱粘情况，修补工作会很困难，甚至是难以恢复原样。然而，要查出画里面有什么隐患，又谈何容易，因为肉眼透视不到画内的变化，即使用上现代光学仪器，也受检查灵敏度的限制，小的变化还是察觉不出来。

激光检测有明察秋毫的能力，在物体里面发生的蛛丝马迹变化，都可以给“兜”出来。所以，科学工作者现在也开始用激光技术给古画作“体检”工作。古代画家菲奥伦廷诺创作的木板油画“圣凯特琳娜”是15世纪著名作品。经过几个世纪的变迁，画里面有没有“毛病”？激光科技工作者用激光对它做了一次“体检”，使用的是激光全息干涉测量法。他们用激光先给油画拍摄一张全息照片，然后沿着画表面通过温度约40℃干燥暖气体流，并在同一张底上再拍摄一次油画的全息照片。把底片冲洗显影处理过后，用激光再现全息照片的像。此时，在全息再现像上会看到一组干涉条纹，它是由两次拍摄的全息照片再现像干涉产生的。科学工作者发现，干涉图上局部地方的干涉条纹出现畸变，于是，科学工作者断定，这幅油画里面已出现“毛病”。再经仔细分析，发现底漆与底板之间有细小脱粘，部位就在干涉条纹出现畸变对应的地方。

用激光技术也能帮助我们查明文物在先前有没有被修补过，修补的地方在什么部位。15世纪著名雕刻家道纳太罗的涂漆石膏木雕“施洗礼者圣约翰”（见图45），它的尺寸是1.5米×0.5米，约为真实人体尺寸的3/4。这尊木雕是道纳太罗最后的作品之一，被认为是文艺复兴时期比较重要的艺术作品，非常珍贵。这不仅是木雕本身的艺术性，而且还因为有些人曾竭力模仿过它。在过去的500多年时间里，这尊木雕曾作过多次修复。在哪个部位修补过？凭我们的肉眼看不出来，利用现代仪器设备，也还是不能让人一目了然看出修补过的部位。现在，激光科技工作者采用前面谈到过的激光全息干涉法进行了检查，准确地告诉我们，这尊木雕的小腿附近曾修补过，而且是在这里加了一块石膏粉补钉。

要让修补出来的古画完美逼真，首先必须知道绘这幅画时用的颜料成分，然后用和当时相同成分的颜料修补，便能得到逼真效果。用激光可以非常精密地得到物质的成分，所以，用激光也可以分析古画的颜料成分。分析的方法有好几种，作为一个例子，这里就介绍其中的拉曼散

射光谱分析方法。拉曼散射是印度科学家拉曼在本世纪 20 年代发现的一种光学散射现象。这种散射光中包含有产生这种散射光的物质成分以及物质结构的信息。因此，它可以用来分析物质结构和物质成分。尤其是用激光器做光源的拉曼光谱技术，分析灵敏度高，已广泛用来分析研究物质，尤其是有机物质分子结构和成分。把这种光谱技术用来分析古画颜料成分，做法也比较简单。把经过光学聚焦系统聚焦成细束的激光照射到古画上，然后把从古画上的散射光导入拉曼散射光谱仪。把所得到的拉曼散射光谱与已知颜料的标准拉曼散射光谱相对比，便可以知道古画上被激光束照射部位的颜料成分。用激光束扫描整幅画，便得到绘这幅画的各个部分用的颜料成分。用这个办法曾经鉴定过一幅 16 世纪德国的古画。画中修女身着浅蓝色外衣和深蓝色披肩，从表观感觉来说，它们是由不同的颜料画的。但是，经过激光拉曼散射光谱技术鉴定，它们都是用石青这种颜料绘的，只不过用的颜料颗粒大小不相同，呈深蓝色的披肩，用的石青颗粒直径是 30 微米左右，浅蓝色外衣是直径 3 微米左右的石青绘的。颗粒大小不同，在光的照射下显示出的颜色不相同。

使文物“延寿”

祖先给我们留下的文物，我们需要好好地保存它，让子孙后代都能欣赏到祖辈给我们留下的艺术珍品。怎样保存文物，这是一个普遍都关心的事，也是一个研究课题。激光在这方面或许也有所作为。

出土的文物中有不少是青铜器，它是由铜、锡合金制成的。由这些出土的器具，我们一方面可以看到古代艺术家的风格，另一方面，也可以让我们了解古代人民的冶炼技术，从一个侧面可以了解古代的科学技术水平。但是，毕竟古代的冶炼技术不如今天高，比如青铜器的材料结构会比较松散，不够严密，因而也就容易受空气中的氧和水蒸汽侵蚀。所以，出土的青铜器上锈斑比较多，还出现粉状的剥落物。即使放在展览馆里，时间一长，同样出现锈斑和“粉末”，如果不把这些锈斑去掉，会影响美观，同时会不断扩大侵蚀范围，使文物遭到损伤。现在，激光技术人员利用激光给文物“清洗”，可以把表面的粉末和锈斑一一清除，还原它原来清晰的“面孔”。更令人感到高兴的是，经过激光清洗后的青铜器，还有拒“腐蚀”的作用。科技人员做过对比实验，把经过激光表面清洗的青铜器碎片和没有经激光清洗，而是用其他方法清洗的碎片，放进一只里面温升高达 30 多度、湿度也升到很高的箱子，在潮湿、高温下处理几小时，取出来之后发现用激光清洗的碎片，表面除个别有一到两点锈斑之外，几乎都是保持光洁，而没用激光清洗的碎片，表面布满了锈斑，还出现粉末。这表明，激光在清洗青铜器的同时也给它“穿”上防锈的外衣。科学家分析说，这是因为用激光对表面清洗时，也给表面作激光处理，使表面的结构更为致密，防止空气中氧和水蒸汽侵入，因而也就有“长寿”的效果。

文物表面出现的小裂纹，或者是发生断裂，用激光也可以把它修补和焊接。修补后的文物，完好性和原来的一样，看不出有修补的迹象，但看上去它比原先更光彩了。

激光雕刻

雕刻也是大众喜欢的艺术，它是在木板、竹片、玻璃、陶瓷、皮革、石板等材料上刻图案，古建筑物的门、窗、客厅屏风，都有雕刻作品。雕刻常常是用刀来做的，现在有一种新方法，是用激光刀来雕刻。这激光雕刻刀不是用什么材料做的，而是一束聚焦成直径很细小的激光。用激光雕刻刀作雕刻，比用普通雕刻刀更方便、更迅速。用普通雕刻刀在坚硬的材料上，比如在花岗岩、钢板上作雕刻，或者是在一些比较柔软的材料，比如皮革上作雕刻，就比较吃力，刻一幅图案要花比较长的时间。如果用激光雕刻刀来做则不然，因为它是利用激光的能量在材料上“烧”出线条的，它压根儿就没有和材料接触，材料硬或者柔软，并不妨碍“烧”的速度。所以，用这种雕刻刀作雕刻，不管是在坚硬的材料，或者是在柔软的材料上雕刻，刻划的速度一样。倘若与电脑相配合，控制激光束移动，雕刻工作还可以自动化。把要雕刻的图案放在光电扫描器上，扫描器输出的信号经过计算机处理后，用来控制激光束的动作，就可以自动地在木板上、玻璃上、皮革上按照我们的图样雕刻出来。同时，聚焦起来的激光束很细，相当于非常灵巧的雕刻刀，雕刻的线条细，图案上的细节也能够给雕刻出来。

用激光也可以作雕塑。如果是在硬度不太小的石膏等材料上雕塑，可以先用激光把不需要的部分“切”去，得到可以雕塑的毛坯。然后再根据要雕刻的深浅程度，调节激光功率的大小，进行细致的刻划。用这个办法加工出来的雕塑像，一点不亚于用普通雕刻刀雕塑出来的，但用激光来做，既省力，又快速。

打开科学宝库大门

激光是把金钥匙，让我们打开科学大门，获取丰富的科学技术知识。科学家现在利用激光技术，开发出了许多科学技术新分支，比如激光生物学、激光核聚变、激光分离同位素、激光非线性光学、激光光谱学。

设计生物品种

有人估计，世界上存在的生物品种大约有 200 万种。它们都是在历史的长河中，经历了父传子、子传孙，无数的世代相传下来的。但是，世代苍桑变化，每种生物的品性却没有多少变化，瓜依然是瓜，豆依然是豆。我国从开掘的一座 2000 年前的古墓中找到一些稻谷，和我们今天的稻谷相比较，在形体上、成分上似乎找不出有多大的差别；把它发芽种植出来，生长发育过程以及结出来的稻穗和今天的也没有什么两样。2000 年前的稻谷和今天的稻谷，彼此差了 2000 代，居然“本色”没有改变。是什么原因让生物体始终保持“本色”不变，世代相传下来？这个问题科学家早就开始注意到。大约 100 年前，奥地利神父孟德尔就打算把这个问题弄个明白。他在经过多年的试验之后提出，生物体内存在一种叫“遗传因子”的东西，说是它的作用，使每种生物的特性得以父传子、子传孙，祖祖辈辈传下来。后来，科学家又提出，决定生物遗传其特性的物质是“基因”，它是包含在染色体内的。染色体则是 DNA（脱氧核糖核酸）和蛋白质组成的，基因是存在这 DNA 分子上的。或者说，基因是 DNA 分子上的一小片段。找到了维持生物特性的基本物质之后，科学家就提出一个大胆计划，通过嫁接基因的办法进行人工设计生物品种。不过，基因很小，从一种生物的 DNA 上切下来，再接到另外一种生物的 DNA 分子上，手术的精度要达到分子水平的精度。

要进行这项计划，首先需要看清楚染色体和 DNA 分子。用普通光学显微镜大概是看不清楚它们的面目和结构的，电子显微镜的分辨本领比光学显微镜高得多，用它可以看清染色体、DNA 分子的像。但是，用这种仪器在它们成像的过程中，需要对生物样品进行切片、脱水、染色和固定。这些处理工作会引起 DNA 分子部分结构解体和改变它们所处的环境，因此，观察到的情况会与真实的活体就有点不一样。科学家认为利用激光做光源的光学显微镜，可以消除非焦点区域的信息对成像的影响，能够获得生物染色体比较清晰的像。图 46 是摇蚊多线染色体在原位的荧光像（照片取自宋葵等发表在 1993 年第 2 期《物理》杂志的文章），其中（a）是用常规显微镜得到的，（b）是用激光做光源时得到的。我们可以看到，图 46（b）的明暗对比度高，成的像清晰，能让我们从中获得更多的信息。如果用在 X 射线波段的激光来成像，获得的成像效果还会更好。用 X 射线波段的激光，配合合适的 X 射线光学元件，便可以获得反映 DNA 分子动态过程的瞬态全息图。再经过计算机处理，再现这种全息图，便可以得到它的微观结构三维图像。

要研究染色体分子，最好有工具能把它们“夹”住，要在 DNA 上切下基因，也需要有工具把它们“夹”住。对普通样品我们有许多种类的镊子供我们使用。对分子我们能用什么镊子？现在，科学家利用激光的力学性质制成了“光镊子”，它是非常精细的“夹具”，用它可以夹住一对染色体单体，把它从其他染色体中分开，让我们单独对它进行仔细研究分析。而且，用这种“光镊子”夹住过的染色体，对它不产生损伤，能继续生存。科学家们已经采用这种“光镊子”“夹”过染色体并把它放进细胞去。得到外来染色体的细胞继续分裂、发育，还生长成生物体。因为这细胞多了一条别种生物体的染色体，所以它发育生长出来的生物

体也就有了新性质。在这种实验启发下，科学家进一步设想重新组合 DNA，比如从乙种生物体的 DNA 上切下一小段接到甲种生物 DNA 分子上，把有了这种基因的甲种生物 DNA 分子放进细胞里，这细胞分裂发育生长以后，长成的甲种生物就有了乙种生物的一些特性，而且由它繁殖的后代也保持这种新特性。这件事说来很有趣，也很简单，但真正做起来却不容易，因为这是在分子的水平上进行操作。从一种 DNA 分子上切下基因，移到另一种生物的 DNA 上确定位置，并且把它很好地连接上，手术是非常精细的。目前是使用一种称为“酶”的东西来作这种手术。在 DNA 上切割基因使用内切酶，而把切下来的基因接到另一种生物的 DNA 上去，使用的是连接酶。当然，这里说的“切割”和“连接”，只是一种形象的说法，实际上是以化学反应的方式进行的。利用这种工作方式，在 1972 年成功地做了“切割”DNA 和“连接”DNA 的手术。现在，科学家认为用激光来做这种手术，会获得更好的效果。激光的亮度高，聚焦起来的激光束能够把钢板切割开，能够把钢板给焊接起来，当然也有能力从 DNA 分子上切下基因，以及把基因焊接到 DNA 分子上。而且，因为激光的空间相干性很好，用光学系统可以把激光束聚焦成直径小于微米的光点，它无异于非常精细的手术刀。

1986 年，德国科学家用激光成功地进行了淋巴细胞染色体的切割。我国科学家用氩离子激光成功地对玉米、大麦、小麦、蚕豆等高等植物的染色体进行了切割。把大麦染色体切割成 4~6 段，玉米的染色体切割成 6 段，小麦染色体切割成 6~9 段，蚕豆染色体切割成 12 段。图 47 是大麦的染色体和被激光切割后的染色体片段照片（取自陈芳远等主编《中国激光遗传育种与激光生物学》一书，1991 年，湖南师范大学出版社出版），其中（a）是未切割的染色体，（b）是用激光切割后的片段。

设计生物新品种的另外一种打算是向细胞引入外来基因。在细胞上打一个小孔，把从别的生物体 DNA 上切下来的基因从这个小孔导入细胞内；或者把两种生物体的细胞各打一个小孔，然后把它们沿小孔的位置接触，让他们通过小孔互相交流细胞质。此后小孔收缩，两个细胞融合在一块，形成一个新生物品种的细胞，由它分裂发育生长出来的生物体也就兼有原先两种生物体的特性。在细胞上打个小孔，打了孔之后又不影响它的生存、发育，这种手术工作的难度也不小。最近几年，科学工作者提出用激光微束做这项“手术”，经过试验，效果不错，有发展的潜力。使用激光打孔的操作手续比较简便，转化频率比较高，而且可以把外源基因定向导入叶绿体、线粒体。美国、日本、德国等国家的科学家现在都在开展这项研究工作，我国科学家在这方面的研究也取得了不少成果。比如，青岛海洋大学用激光微束成功地进行了鱼卵细胞的融合工作，他们的研究工作分三种情况：（1）相同种类鱼卵细胞的融合；（2）不同类鱼卵细胞，比如大鳞副泥鳅的卵细胞和鳗尾泥鳅卵细胞的融合；（3）不同科鱼卵细胞，比如属于鲤科的斑马鱼卵细胞与属于鳅科的大鳞副泥鳅卵细胞的融合。这三种融合都获得成功。第一种情况得到的成功率为 66%；第二种情况得到的成功率为 53%；第三种情况得到的成功率为 26%。融合后的细胞能正常发育生长，对于前两种情况，融合的细胞已发育成仔鱼，第三种情况的融合细胞发育成至幼鱼。此外，也成功地把外来基因 - 葡萄糖苷酸导入到水稻的细胞，并于 0147 时观察到它

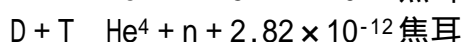
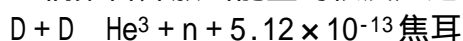
的分裂和发育生长。

给核燃料点火

我们每天能够煮饭烧菜，冬天能取暖，飞机能在天上飞，汽车和火车能在路上跑，工厂的机器能转动……，都必须要有样东西：这就是能量。供给我们能量的主要来源有煤和由石油燃烧时产生，照射到地球上来的太阳光，风力和水力；铀原子核裂变时和氘、氚原子核聚合时也释放出能量，这两种材料称核燃料，产生的能量叫做核能。科学家们说，在各种获得能量的途径中，利用核燃料获得能量的潜力最大，而且还是最“干净的能源”，它们不存在环境污染的问题。燃煤的火力发电厂，它需要很大的场地堆放煤和燃烧过后留下的煤渣，飞扬的煤粉和煤渣粉，会把周围环境弄得很脏；煤在燃烧时会冒浓烟，里面含有未燃烧完的煤粉和对人体健康有影响的气体。用核燃料的发电厂没有这些问题。因为核燃料的燃烧值很高，它需要的燃料数量不大。看看下面一组数字的对比，

我们会明白其中的道理。1 公斤煤燃烧后产生的能量为 3.3×10^7 焦耳，1 公斤汽油燃烧后产生的能量为 5.3×10^7 焦耳，1 公斤铀核燃料燃烧（裂变）后产生的能量是 8.2×10^{13} 焦耳，1 公斤氘（氘）核燃料燃烧（聚变）后产生的能量是 3.5×10^{14} 焦耳。换句话说，1 公斤铀核燃料产生的效果，相当于 2000 吨煤，而氘（氘）核燃料还更好，1 公斤这种燃料产生的能量，相当于 1 万吨煤产生的。这表明，用核燃料的发电厂，它不需要大场地堆放燃料，所用的燃料是密封在小罐子里，自然也就不会对环境造成污染。所以，世界各国都在大力发展核发电站，已建成的核发电站有 400 多座了。我国也建成了两座，一座叫秦山核电站，另一座是大亚湾核电站。

世界上现在建成的核电站使用的核燃料是铀，用氘（氘）核燃料的未成功。从前面我们列出的数字看到，氘（氘）核燃料比铀核燃料更加“耐烧”，1 公斤氘（氘）核燃料燃烧产生的能量比铀核燃料高 3 倍多。更有吸引力的是氘（氘）核燃料在地球上的贮量大。1 公斤海水中含有 0.03 克氘，地球上的海洋装有 10^{21} 公斤海水；或者说，地球的海洋中就贮藏有 10^{17} 公斤氘，把它开发出来做燃料，就相当于给我们提供了 10 万亿亿（ 10^{17} ）吨煤，足够人类用上几亿年。既然氘（氘）核燃料这么好，为什么现在还不用？问题就在于把它点火燃烧不是一件容易做到的事。划一根火柴燃烧的温度就可以把纸片、汽油点着火，要让这种核燃料着火，则需要亿度的高温。为了说明其中的道理，我们先简单说一说氘（氘）核燃料释放出能量的反应过程。我们用 D 代表氘原子核，T 代表氚原子核，它们聚合并放出能量的核反应过程是：



上面反应式中的 He^3 和 He^4 是氦同位素的原子，n 代表中子。第一个反应式代表的含义是，两个氘原子核聚合在一起，形成一个氦同位素原子，同时产生 5.12×10^{-13} 焦耳的能量；第二个式子代表的意思是，一个氘原子核和一个氚原子核聚合成一个氦同位素原子，同时产生 2.82×10^{-12} 焦耳的能量。需要注意的是，这里标出的能量是一对原子核聚合产生的能量，一克氘物质内约有 10^{24} 个原子核，因此，1 克物质的氘发生

核反应，产生的能量数值就十分巨大。要使前面列出的核反应能够实现，必须要让两个原子核靠得很近才行，估计它们靠近到相距 10^{-13} 厘米时，它们就会合到一块。但是，我们从普通物理课本中知道，原子核是带正电荷的，带相同电荷的粒子彼此之间是相互排斥的。为了让它们靠近，就需要给它们施加外来力量，克服它们之间的排斥力。给原子施加外来作用力的一种办法是对它们加热，加热的温度高，粒子的运动速度大，使他们相互之间靠近的力就大。估计把它们加热到亿度的温度，它们得到的热运动动能，就会超过它们之间由静电排斥力产生的能量，有机会让它们靠到相隔 10^{-13} 厘米而聚合到一块了。上亿度的温度在地球上并不存在，在太阳的内部和原子弹爆炸的时候会达到这个温度水平。

科学家经过研究分析，大概也有其他办法可以把核加热到亿度温度，现时想到的办法有两个，一个是利用磁场，称为托卡马克的环形准稳态磁约束装置就是专门用来研究给原子核加热至高温的，利用这种装置现在可以把原子核加热到几千万度的温度。另一种办法就是利用激光，这就是我们这里要介绍的。

我们知道，用一块透镜把太阳光聚焦起来，能够把放在焦点地方的火柴燃烧起来。激光的亮度比太阳光高万亿倍，把激光聚集在一个小点上，产生的温度会立即熔化钢和金，如果被聚焦的激光能量比较大，也会达到燃点核燃料的温度。比如，把输出能量 1 万焦耳的激光（现在的激光器输出能量可以超过这个数值）聚焦成直径微米的光点，在这个光点上的小球内的核子数目约为 10^{11} 个，每个核子获得的加热能量为 2×10^{-15} 焦耳，根据粒子的温度 T 和它的能量 E 的关系

$$\frac{3}{2}kT = E$$

式中的 k 是一个常数，叫玻尔兹曼常数，数值等于 1.6×10^{-23} 焦耳·K，把粒子获得的激光能量数值代入上式，就可以求得它们被激光加热到的温度达 $\sim 10^7$ 度。所以，有理由说，用激光也可以把氘（氘）核燃料加热到点火的温度。

单纯把核燃料点着火还不够，还要让它燃烧起来，还要解决一个问题。因为把核燃料加热到很高温度后，材料发生热膨胀，密度迅速减低，每个核子得到的加热能量又减低，相应地，核反应速度又大幅度降低，点着的火会遭熄灭。所以，让核燃料真正燃烧起来，不只要让它起先达到亿度的高温，而且还要这个温度保持一段时间。加上后面这个要求，用来给核燃料点火燃烧的激光能量便需要更高的数值，估计要能量 10 亿焦耳左右的激光束。这么强的激光束，即使用现有的激光技术也难以办到。所以，用激光点燃核燃料这个方案曾一度也出现过动摇。幸好不久科学家又找到了新办法，让需要的激光能量不致太高。办法是在激光对氘（氘）核燃料加热的同时，也对它进行向心压缩，提高它的密度。假定氘、氘核燃料原先的密度是 n_0 ，用激光把它们加热到温度 T 时，能够把它们密度变成 n ，那么，让氘（氘）核燃料燃烧起来需要的激光能量 E 为

$$E = A \left(\frac{n_0}{n} \right)^2 T$$

上面公式中的 A 是一个比例常数。从这个公式中我们找到了可以降低激光能量的办法，倘若我们使温度 T 时的核燃料密度，比它在常温时的密度。（固体材料的密度）高 1000 倍，那么，把它加热到温度 T 需要的激光能量就可以降低 1000 万倍！原先估计需要 10 亿焦耳，现只要万焦耳能量就可以了。这个能量水平用现在的激光技术是能够达到的。所以，解决核燃烧问题又转到了压缩核燃料上来。把气体的体积压小 1000 倍并不很困难，但要把固体材料的体积压小 1000 倍，则不是件容易做的事了。在自然界，科学家估计只有在太阳中心的物质密度才大约比相应的固体材料密度高 1000 倍，达到这个压缩倍数是由太阳巨大的质量（ 10^{33} 克）产生的引力而实现的，压缩的压强估计为 1000 亿大气压。要在实验室中用人工方法产生这么巨大的压缩力，简直是不可想像的。不过，科学家还是想出了解决办法，利用所谓向心压缩技术能够产生 $10^{11} \sim 10^{12}$ 个大气压的压强。做法是这样，先向由氘、氚核燃料制成的小球发射一个激光脉冲，烧掉小球外面一层“皮”，形成一层高温等离子体。这等离子体吸收后来入射的激光能量，被加热后剧裂向外喷射，同时产生一个向球心运动的冲击波和反冲力（我们打枪时，会感觉到当子弹从枪筒飞出时枪托往后冲的力），此反冲力将把未被烧掉的氘、氚核燃料向中心压缩，使它们的温度骤然升到亿度高温，同时受到相当于 1 万亿（ 10^{12} ）个大气压的挤压力。在这个条件下氘、氚核发生剧烈的聚合反应，同时释放出巨额能量，它又进一步使核燃料的温度升高，让其余的核燃料一起达到核聚变条件。核燃料便被燃烧起来了。

用激光进行核聚变的研究是世界性的重大研究课题。美国、日本等国家为此已专门建造了大型激光系统，输出的激光功率达到 10^{14} 瓦。我国也积极地开展这项研究，在中国科学院上海光学精密机构研究所也已建成这项研究的高功率激光系统（又称“神光”装置），它的输出功率为 10^{12} 瓦。图 48 是“神光”装置的两路激光放大器照片，图 49 是供激光核聚变研究用的真空靶室。由氘、氚核燃料做成的小球就是放置在这个真空靶室内。科学家们对于用激光点火燃烧核燃料信心十足，并预计到 2010 年左右能获得成功。

浓缩铀核燃料

现时的核电站使用的是铀核燃料。铀有三种同位素（所谓同位素是指它们的原子核内含的质子数目相同，但含的中子数目不相同的元素，它们在元素周期上放在同一个位置上），即铀 - 234、铀 - 235 和铀 - 238。其中的铀 - 234 和铀 - 238 不会发生核裂变，只有铀 - 235 这种同位素原子能够发生核裂变，或者说，做核燃料的实际上是铀 - 235。但是，从矿山里开采出来的铀里面，铀 - 235 的含量却又是很低，仅占 0.66%，绝大部分是铀 - 238，它占了 99.2%。这就相当于我们的煤饼厂或炼油厂，生产出的煤饼里大部分是泥沙，当然也就没法燃烧。根据研究结果，在铀核燃料中铀 - 235 的含量要达到 3% 以上才能燃烧。因此，开采出来的铀，并不同于开采出来的煤块直接可以用做燃料，它需要经过提纯、浓缩的手续，把铀 - 235 的含量比例提高之后，方能用做燃料。

提纯浓缩铀 - 235 含量的技术比较复杂，因为元素的各种同位素，如同“孪生姐妹”，无论在物理性质和化学性质上都十分相似，采用通常的各种物理提纯方法或者化学提纯方法收效都甚微，代价却很高。现时用来提纯铀 - 235 的主要方法有气体扩散法、离子交换法、气体离心法、蒸馏法、电解法、电磁法、电流法、离子交换法等，其中以气体扩散法最成熟，制造第一颗原子弹用的铀核材料就是用这种方法制造出来的。所有这些提纯方法，它们的工艺过程都比较复杂，办厂投资高，运转过程中消耗的能量也高；而且产量低，生产出的铀核燃料成本大。因此，科学家一直在找新提纯方法。现在，激光科学工作者提出用激光进行提纯，或许这种方法能够大大地降低生产铀燃料的成本。

用激光提纯、浓缩铀 - 235 的主要依据是激光有极好的单色性，以及各同位素原子的同位素光谱位移。各个同位素原子核含的中子数目不同，它们的能级发生所谓同位素位移，发射出来的光辐射波长出现差异，当然，相差的数值是十分小的。但是，激光的单色性很好，能够做到用和某种同位素原子发射的光辐射波长相同的激光去激发其中的一种原子，而不会把其他同位素原子一起激发，亦即是说，用激光可以做到单独把各种同位素原子中的一种激发到高能态，或者把它的原子电离。被电离的同位素原子再用电场就可以把它从同位素混合物堆中单独“拉”出来，收集后就可以单独获得这种同位素。如果是把这种同位素的原子激发到高能级去的，我们便可以利用在高能级的原子和在基态的原子参加化学反应的活动能力不同，通过化学反应方法把它给分离出来。

用激光的方法提纯浓缩铀 - 235，比现有的各种方法都优越，生产设备可以大大简化，生产成本也可以大大降低。根据科学家的估计，生产投资大约只有气体扩散法的 1/2，生产过程中消耗的能量只有气体扩散法的 1/10 左右。所以，世界各国都很重视开发这种铀核燃料生产技术。美国从 1977 年就开始研究用激光提纯浓缩铀燃料，从实验上证实了这种方法在原理上的可行性。1982 年，美国能源部确定，今后使用激光来生产铀核燃料。

用激光提纯浓缩铀 - 235 的技术路线有两条：一条称为原子法，另一条称为分子法。原子法提纯时用的原料是经过提炼铀矿得到的铀块。先用炉子把这铀块加热到高温，形成铀原子蒸气，在这铀蒸气里面包含有

铀元素的同位素铀 - 234、铀 - 235、铀 - 238 的原子。然后用在可见光波段的激光（比如用铜蒸气激光泵浦的染料激光器）照射这铀原子蒸气。调谐激光器的输出波长，让它落在铀 - 235 的原子吸收谱线中心，使它单独获得激发或者电离。其后再使用其他物理方法便可以把铀 - 235 原子从同位素铀混合气体中分离出来。这条技术路线现在已经比较成熟，达到生产应用阶段。分子法使用的原料是铀的分子化合物（比如六氟化铀）。用在中红外波段的激光（比如波长 16 微米的激光）照射这种化合物，并且选择的激光波长正好是让铀 - 235 的这种化合物的分子获得激发（或电离），再通过前面在原子法中用的物理方法或化学方法把含铀 - 235 的分子化合物从混合中分离出来，再对含铀 - 235 的分子化合物作化学分解反应，便可以获得铀 - 235。这条技术路线现在还未达到生产阶段，不过，从发展的潜力来说，分子法比原子法优越。一方面是因为分子法分离时使用的原料是铀的分子化合物，原料来源比较丰富；其次是在分离的工作过程中不需要加热，而原子法则需要加热到 2000 多度，使铀原料形成蒸气。高温铀蒸气有很强的腐蚀性。因此分子法的生产设备会比较简单，生产成本也相应较低。

开辟光学研究新领域

我们过去熟悉的光学现象主要有光的吸收、光的反射、光的折射、光的散射、光电离等等。激光出现以后，它与物质相互作用时又引出许多先前我们没有看到过，甚至没有设想过的光学现象。过去已熟悉的光学吸收和光学散射现象，激光也会使它们出点新“花样”。研究这些新光学现象的规律和它们的应用，现在形成了光学的一个新分支——非线性光学，也称强光光学。

由不透明变成透明

在我们面前放上一块窗玻璃，隔着这块玻璃依然可以清晰地看见大自然的景色；但是，如果眼前放一块黑色玻璃，或者放一块金膜，我们便看不清对面的东西了。前一种物质人们把它称为光学透明物质，后一种人们称为光学非透明物质。如果通过材料的是激光就会出点“怪事”。通过的激光束强度还比较低时是不透明的物质（即强烈吸收它的能量的物质），而当激光的强度变高时它就会变成是光学透明的物质；当然也有反过来的情况，原先是光学透明的物质，激光束的强度增高了，也会变成是光学非透明物质。这里我们先谈前面一种情况。

图 50 是通常用于研究光学材料吸收特性的实验简图。从光源发出的光束通过吸收物质 A，进入到光学接收器，它输出的电信号由显示器显示。改变从光源发出的辐射波长，在显示器上看到的信号幅度也在变比，它反映出物质 A 对不同波长的光辐射吸收能力是不相同的。人们也猜想，通过物质的光强度变化，也会出现类似的情况，即光束强弱不同，物质的透过率（即透射的光强与入射的光强比值）不同强度实验的结果很令人失望，尽管透过物质 A 的光强度变化比例已经很大，就是看不出透率有什么变化。用玫瑰红银试剂 B、结晶紫、一品红水溶液等材料做实验时，光强度的相对变化达到 1 亿倍，显示器显示光强度相对变化，算得物质透过率变化不超过 5%。也就是说，光学材料的透明程度和透过它的光束强度没有什么联系。后来用激光代替普通光源的光作这种实验时，情况就大不一样。改变到达 A 物质的激光强度，显示器显示的光强度会出现异常变化；当激光束强度达到一定数值之后，显示器显示的光强度和到达物质 A 前面的光强度几乎一样，亦即物质 A 变成完全光学透明物质，一点不吸收通过它的激光束能量。这个光学现象人们称之为“光学饱和吸收”。

话又说回来，如前面我们所提到过的，在激光器发明之前，有人从理论上就预言过光学透过率和光强度有关，入射的光束强度很高，物质的光学透明程度会发生变化。但是，过去的光束强度有限。虽然前面我们谈到过，使用了光强度变化 1 亿倍的光束做实验，但这个数字仅仅是强度的相对变化数量，实际使用的光束强度并不高（比如，光功率从 1 微瓦变到 100 瓦，变化的量就是 1 亿倍）。激光器输出的激光功率数值很高，普通一台 Nd YAG 激光器输出的光功率就达亿瓦，比普通光源输出的功率高千万倍，而且普通光源发射的光辐射单色性差，输出的总光功率有 100 瓦，但分配到在某个小波长间隔内的数量却非常小，或者说，落在物质吸收带内的功率比光源发射的光功率实际上还小得多。激光器的单色性很好，它输出的光功率可以全部集中在物质的吸收带上。因此，

用激光做物质的光学透过率实验，也就看到了先前观察不到的现象。

光学饱和吸收现象在激光技术上有许多用处。比如可以用来做 Q 开关和锁模元件，它们是高功率激光器必要的元件；光谱技术上利用这个现象发展了称为饱和吸收高分辨率光谱技术；在光计算技术中也用到这个光学现象。

由光学透明变光学非透明

和前面谈的现象相反，一些本来是光学透明的物质，当通过它的光功率很高的时候，却会反过来变成了光学非透明物质。科学家在用激光研究二硫化碳溶液的吸收特性时就发现这种奇怪现象。二硫化碳溶液对红光本来是光学透明的，普通光源发射出来的光束通过它的时候，被它吸收掉的能量很小。但是，在用输出红光的红宝石激光器作实验时，就出现和往日不一样的情况。当激光器输出的光功率还比较低时，二硫化碳溶液和以往一样，对它的吸收很小，绝大部分激光能量透射出溶液；当激光器输出的激光功率提高到百万瓦的水平时，溶液对激光能量便发生强烈吸收，大约有 2/3 的激光能量被吸收掉。类似地，用激光对硝基苯、苯、丙酮、溴苯、氯仿、硫化镉等材料做光学吸收实验时，都出现这种反常现象，通过材料的激光功率还比较低时，材料是光学透明的；当激光功率很高时便变成光学非透明的，强烈吸收通过它的激光能量。

科学家对这种反常的光学现象做了反复研究，弄明白了其中的道理：物质发生了所谓双光子吸收，按照原子分子物理学的理论，光束通过物质时被吸收，这是物质的原子吸收了光子的结果。发生吸收的基元过程可以用图 51 的能级跃迁过程来表示。图中 E_3 、 E_2 、 E_1 分别代表原子的三个能级，能级 E_1 称基态， E_3 和 E_2 称激发态。入射到物质上的光束，如果束中的光子能量刚好等于能级 E_3 和 E_1 （或者 E_2 和 E_1 ）的能量间隔，这个光子就可能被原子吸收。吸收了光子的原子从能级 E_1 跃迁到能级 E_2 。光子的能量和光子的频率有直接联系（光子能量 $E = h\nu$ ，这里 ν 是光子频率， h 称为普朗克常数，数值等于 6.6×10^{-31} 焦耳·秒）。所以，原子只吸收频率对应于原子两个能级间隔相当的光子，其他频率的光子不发生吸收。显然对于能量仅有 E_3 和 E_1 间隔一半的光子，它是不会被吸收的，物质对于这种频率的光波表现出光学透明的特性。在光束的强度很弱时是这种情况的，如果入射的光束强度很高，即光束中的光子密度很高，就会出现新情况。比如说，一个光子的能量尽管只有能级 E_3 和 E_1 间隔的一半，但它们合起来的能量就等于 E_3 和 E_1 的能量间隔数值，就达到被原子吸收的条件。如果原子是能够一次同时吸收两个光子，那么，材料对这种光波就呈现非光学透明性质，而且又是一次同时吸收两个光子，发生吸收的强烈程度还会比通常发生的吸收过程强大得多。经过科学家们的理论分析和实验研究，认为光束的强度很高时，原子一次同时吸收两个光子的事情是会发生的。这种光学吸收现象称为“双光子吸收”。在激光器发明之前，有的科学家从理论上便预言在强光条件下会发生双光子吸收现象，根据理论计算的结果，当光束中的光子密度达到每平方厘米面积有 10^{31} 个，便可以观察到这种现象。普通光源很难产生这个光子密度水平的光束，所以，以往一直也就没有看到过这种现象。激光器不同，它可以输出光子密度极高的光束，一台普通的激光器，它

输出的光束中含的光子密度就超过 10^{31} 个 / 厘米²。

利用输出功率很高的激光器，除了可以看到双光子吸收现象之外，还观察到三光子吸收、四光子吸收和多达三十光子吸收现象。一束在红外波段的激光束，可以让原子发生电离，这在过去认为是不可能发生的事。

窄脉冲遇到的奇迹

前面说的是光束强度很高，引起物质对光束能量吸收程度发生变化的事。那么，通过物质的光束是连续的，或者是脉动的，物质对它们的吸收状态会是一样的吗？科学家在用 CO₂ 激光研究氨气体的吸收特性时又看到了新鲜事。根据以往得到的资料，氨气体是强烈吸收波长在 10.6 μm 附近的光辐射的。实验时，连续运转的 CO₂ 激光器输出的激光通过装有氨气体的吸收盒时，激光的能量被强烈地吸收。当盒内装的氨气体气压在 100Pa 时，CO₂ 激光束在其中传过 1 厘米长度，能量就减少了一半。接着换上脉冲运转的 CO₂ 激光器重新实验。当脉冲宽度为 6ns 左右的 CO₂ 激光束通过相同的一只氨气体吸收盒，激光能量损失很少，强度大约只降低了 3%。用脉冲宽度再窄一点的激光做实验，光束强度减小的量更小，损失能量的比例不到 0.01%，可以说，此刻的氨气体变成了完全光学透明材料。用其他波长的激光对其他一些材料做实验，也出现类似的现象，各种材料似乎对于脉冲宽度窄的激光束，都表现出光学透明特性。

在日常生活中我们见到过这种事，手掌快速从火苗上扫掠过并不感到烫手，要是停在火苗上，不消半分钟就会被烧出个大泡。飞快的子弹穿过窗玻璃，在它上面留下一个洞，玻璃却完好没有碎裂；要是用一块石子打在窗玻璃上，就会立刻碎裂开。这些瞬时作用都表现出不同一般的现象。任何物体对外来的作用作出反应都存在一个“响应时间”，如果对物体施加的作用很短促，比物体的响应时间还短，那么，我们可以想像物质对这种作用其实是没有反应的，作用过后它还是“老样子”。按照这个思路，我们就可以理解刚才谈到的光学吸收现象。

从微观角度来说，原子、分子吸收外来光信号以及伴随发生的事件是这样的：原子吸收了光子之后，从基态跃迁到了激发态。随后，在激发态的原子或者因为内部原因，发射出光辐射，释放掉原先获得的光能量，返回到基态去；或者与别的原子碰撞，把吸收得来的能量转交给对方，自己返回到基态去。可以想像，原子被激发到激发态之后，停留在那里有一小段时间（大约是千万分之一秒到亿分之一秒）内，受到外来光子的诱导，释放它刚才吸收获得的能量。因为，根据诱导辐射的原理，发射出来的光辐射，其光子的频率、偏振方向和传播方向，都和诱导它发生这一辐射行为的光子完全一样。于是可以设想，只要光脉冲宽度很短，数量级就和原子停留在激发态的平均时间相当，就会有这种情况出现：光脉冲前半部时间的能量被物质原子吸收，使它们跃迁到激发态；紧接着，它们又在光脉冲后半部的光能量诱导下返回基态。因为整个过程是在原子激发态平均时间内完成的，所以，在光脉冲后半部的光子引诱下，激发态的原子发射出来的光能量在数量上和原子吸收光脉冲前半部的相同，光子传播方向和偏振状况也相同。也就是说，光脉冲前半部光脉冲被吸收的量，又被后半部光脉冲给“挖出来”，通过物质后其光

能量实际并没有损失，或者说，物质对这个光脉冲是完全光学透明的。

光波变颜色

1961年科学家在用红宝石激光器做光学实验时又见到桩奇特现象，从石英晶片透射出来的红色光斑外缘有一圈呈蓝色的光环。反复做实验，都出现这个现象。把石英晶片换下来，用普通玻璃片换上去重新做实验，在红色光斑那圈蓝色光环便消失。显然，出现的这蓝色光环是和石英晶片有关。科学家又测量了这蓝色光的频率，发现它的频率刚好等于红宝石激光频率的2倍。科学家又用其他晶体材料，比如磷酸二氢钾（KDP）做实验，也都出现频率加倍的光波。在以往，普通光源输出的光束通过这些晶片，是不会出现这种现象的，红色的光束通过之后也只有红色的光束，黄色的光束通过后也只有黄色的光束，不会出现别种颜色的光束。所以，科学家断定，这里出现的又是一种光学新现象，并把它称为光学倍频，也叫做光学二次谐波。

能显示光学倍频现象的不只是红宝石激光器，所有功率达到一定水平的激光束，它们在通过晶体材料时都会显示出频率加倍的光波。现在，能够用来显示光学倍频的晶体材料已不少，比如磷酸二氢铵（ADP）、碘酸锂（ LiIO_3 ）、BBO、LBO等，它们称为非线性晶体材料。后面两种材料还是我国首创的，是倍频效率和倍频性能非常优良的倍频体材料。此后的研究还指出，除了出现频率加倍的光波之外，还可能出现三倍频率、四倍频率、五倍频率，甚至二十五倍频率的光波，它们称为高次谐波现象。一束本来用肉眼看不见的红外激光，通过晶体材料片之后，就会出现红色的，或者紫色的，甚至在X射线波段的相干光。这个现象也是现在用来获得在真空紫外相干光的重要手段。

不只在光学晶体材料中可以显示光学倍频现象，现在，强激光束在气体、液体中也产生倍频光波；除去透射光束中出现倍频光波外，在晶体材料的反射光束中也出现倍频光波。

激光通过非线性晶体材料时出现的新式光学现象还不只这一样。过去的光学教科书中说过：两种频率不相同的光束交叉之后，它们互不干扰，各自沿自己原来的传播方向传播，各自保留自己的光波频率。这就是光学中著名的迭加原理的基本内容。对于激光来说，就不会再严格遵守这个“规则”了。一束频率 ω_1 的激光和另外一束频率 ω_2 的光束同时通过非线性晶体材料，会产生出第三束激光，它的频率等于两种光频率相加的值（ $\omega_1 + \omega_2$ ），也出现频率等于两束光频率相减（ $\omega_1 - \omega_2$ ）的光波。前者称为“和频光学现象”，后者称为“差频光学现象”。用普通光源输出的光束通过非线性晶体材料，就不会出现频率（ $\omega_1 + \omega_2$ ）或者（ $\omega_1 - \omega_2$ ）的光束。

激光引出的光学新现象还有许多。比如说，过去我们只看过光束在通过透镜之后才被聚焦。现在对于激光束来说也没有了这个限制。强度比较高的激光束通过平面光学元件，或其他非透镜形状的光学元件，都发生光束直径收细，最后聚焦到一点的现象，仿佛一切形状的元素都变成了透镜。这个现象叫做光学自聚焦。同样地也会出现这种情况：激光束通过不是凹面透镜，也会使光束发散，这个现象称为光学自散焦。相继两个激光脉冲通过物体，透射出来的光脉冲会是3个、4个，多出来的

光脉冲叫光学回波，它也犹如我们在山谷里喊一声，听到几声回音的现象，激光受微粒或分子散射，散射光一改往日朝四面八方散开的习惯，只集中到入射光的方向和相反方向，而且散射光也有激光的特性，这是光的受激散射现象，一束肉眼看不见的激光在空气中传播，会使空气击穿，形成一串小火花点，如同发生高电压气体放电，这个现象称多光子电离。这些现象都是激光器出现之后才发现的。激光技术开阔了我们观察自然的眼界，开辟了新的科学研究领域。

