

# 光学新技术发展概况

(上)

光学机械编辑组

## 前 言

众所周知，我国的光学工业在建国以后，特别是文化大革命期间得到迅速发展，这除了光学仪器本身技术上的发展而外，特别值得提出的是光学技术的发展，我们归纳了以下几方面：

(1) 光电探测手段的发展，使光学的功能从光的集散、成像、放大、显微、望远、记录测量等传统概念中扩展出来，使能获得图像的转换传递（电视），图像的时间放大（高速摄影），图像的光度增强和波长的转换（夜视技术）以及红外技术等。

(2) 激光新技术的出现，从强度、方向性、单色性和相干性等方面为光学技术提供了前所未有性能的新型光源，可控制的光源，为光学的应用提供了崭新的领域，特别是过去在无线电技术上所取得的功能在光学领域中显现出来，诸如调制、倍频、外差、放大等技术，从而为光学技术的应用展开了广阔的前景。

(3) 把近年来无线电技术方面的通讯理论应用到光学方面，发展出如何代替和帮助人眼来对图像进行分析判断，提高图像表现能力的技术，称为光学信息处理，大大提高了观察和探测效能。无疑这对于军事侦察和国民经济方面各种观察和勘测的研究都有重要意义。

(4) 光学技术的一个重要特点，正像无线电一样，是用电磁波作为信息传输手段，不需要以有形的物质和所要了解的目标接触，就能对目标有所了解。利用光学技术

的多种手段，充分发挥这种遥测的特点，把已有的有效观察手段（例如照像）加上各种新的发展（例如红外技术、电视等）归纳成一个新的领域，称为遥感技术。可以指出这种技术是由于航空、航天技术发展而产生的，借助于这种新的传输手段，使光学观察获得了前所未有的功能，为国防和国民经济的发展服务。

(5) 自古以来光就被用作通讯的手段（例如古时的烽火台和现在航海仍然使用的旗语或信号灯）。自从电技术发展以后，电通讯后来居上占了主要地位，今天基于通讯上的新要求，主要是信息传递率比以前的需要大大增加了，例如图像通讯等，又重新考虑以光进行通讯的优越性。这种光通讯技术，虽然还在试验阶段，但是正在发展，很有前途。与此密切关连的是发展异常迅速的集成光学。

上面列举光学新发展的重要方面，但并不是说传统光学方面就停滞不前了。近代其它新技术的发展，以及光学基础技术方面的进展都为光学仪器提供了更为先进的效能，服务于更为广阔的领域。例如，光学镜头的设计和制造，这是传统光学的基础，但正因为电视技术的发展，特别是彩色电视，使镜头必须具备更为先进和复杂的性能。又如微电子技术的出现，要求用以制造掩模的微缩镜头需具有比过去一般显微镜头具有更为严格的性能要求。精密测量仪器，由于和自动化技术，数字化技术结合起来，使光学仪器更能适应现代科学技术发展的需要。

我们也看到，光学技术的新发展和新应用是和光学工艺新技术的发展分不开的。这

些包括：

- (1) 利用电子计算机进行光学镜头的设计和设计的自动化。
- (2) 薄膜光学和工艺。
- (3) 光学新材料和新元件。
- (4) 纤维光学。
- (5) 光学数字化技术。
- (6) 光学检测技术等等。

这里再强调一下恩格斯的教导，即技术主要是靠社会上的需要来促进的。新的需要已经导致光学技术的变革。今天我们再也不能把光学技术停滞地看做是孤立光学镜头和机械的组合。客观发展须要把光学看作是一项包括光、机、电、自动化各种现代技术的综合。光学工艺则由单一的光学器具发展成为一个系统。为了我国社会主义革命和社会主义建设的需要，我们的光学事业必须在技术上适应这种新的趋势。

下面简单就有关光学新技术的发展作以介绍。

## 光学材料

光学材料是实现各种光学功能的基础物质。近年来，随着光学新技术的发展，特别是激光、红外技术以及信息光学的发展，涌现出多种多样的新型材料，而且材料与新技术相互促进，导致两者不断更新。传统光学材料由于技术上的新需要和材料科学本身的进展，也有相当的发展。

### 一、光学玻璃

稀钼玻璃：由于稀钼原料制备技术的进展，含氧化钼光学玻璃成本大为降低，使这种玻璃在光学镜头，特别是高级照像镜头成为普遍。这种玻璃具有高折射率、低色散、对提高照像镜头的性能（相对孔径和成像质量）有显著效果。另外现在有可能使氧化钇和氧化钽进入玻璃成份，使性能得到进一步改进。

氟化物玻璃：这类玻璃一般具有较低折

射率和很小的色散。这种玻璃向商品化扩展了光学玻璃的性能领域。但更突出的特点是在镜头中使用这种玻璃可以大大缩小成像的残余色差。这在长焦距镜头中效果更为突出。在显微镜系统使用这种玻璃可以代替氟化钙晶体制成全消色差物镜。

含钛及含氟玻璃：使光学玻璃向增大色散方向扩展了范围。

零膨胀系数玻璃：例如色威梯玻璃，熔石英玻璃，可以提高标准尺及镜胚的尺寸稳定性。用熔石英制的标准尺，长80厘米，稳定性三年内不超过  $1 \times 10^{-9}$ 。而且这种玻璃特别适宜做大型天文望远镜大型镜面的镜胚。国际上已出现这种玻璃制出的望远镜，我国也在从事这方面的工作。

氧化锆系玻璃：这类玻璃可以通过红外至5微米。是近红外很好的透过材料，为红外光学系统采用透射型式提供了方便。

重铯石玻璃：改进透射率的改进：使用这种玻璃提高了彩色电视摄影的光利用率。

特殊二次色散玻璃：致力于改进行学稳定性，增加品种。

### 二、人工晶体

主要培养大尺寸优质晶体，提高性能、改进缺陷。除了  $\text{CaF}_2$ 、 $\text{LiF}$ 、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{KRS}\cdot 5$ 、 $\text{KRS}\cdot 6$  等晶体以外，还有半导体透红外材料，诸如  $\text{Si}$ 、 $\text{Ge}$ 、 $\text{CaS}$ 、 $\text{GaAs}$  等适用于 8—14 微米波长。

### 三、特殊红外透射材料

有如  $\text{ZnS}$  多晶材料， $\text{Ge-As-S}$  系和  $\text{Ge-As-Se}$  系玻璃。

### 四、激光物质

工作物质：钕玻璃、红宝石、钇铝石榴石。其中钕玻璃由于不受生产体积的限制，可以产生大能量固体激光。

非线性及倍频晶体： $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiIO}_3$ 、 $\text{BaNa}(\text{NbO}_3)_3$ 、 $\text{KD}^*\text{P}$ 、 $\text{KDP}$  等。其中  $\text{LiIO}_3$  我国有独特发展。

染料激光器用染料工作物质

调 Q 开关用染料

调制用电光晶体如KDP、KD\*P、LiNbO<sub>3</sub>、CdS等。

### 五、信息用光学材料

光调制晶体如LiNbO<sub>3</sub>、LiTaO<sub>3</sub>、KD\*P等。

声光换能材料如PZT。

全息存储材料(体存贮)如AsS玻璃半导体、热塑料等。

数据输入转换(组页器)材料如PLZT、液晶等。

### 六、塑性材料

由于塑料具有重量轻、抗腐蚀和良好的成型特性,较复杂的光学元件用玻璃制造比较困难,而制成塑料光学元件加工容易。塑料光学元件的优点是成本低、透过率高(丙烯酸类透射率可达92%)、重量轻,同时具有足够的折射率。塑料光学零件的缺点是硬度低、耐磨性差,但可用真空镀膜方法在塑料元件上镀上一层硼硅材料来改善塑料光学元件的性能。国外已制成各种光学元件,国内也已开始应用。

### 七、摄影胶片

除一般底片外,在光学技术上专用的有:

红外彩色底片:用于多光谱照像,是在胶片上涂上对绿、红和红外光敏感的乳剂,而分别记录成兰、绿、红色得到一种不是景物自然色彩的假彩色。

超微粒底片:用于全息照像及制备微电子器件用光刻掩膜。

## 光学薄膜技术

薄膜光学作为光学的一个重要分支,随着现代光学和激光技术的发展,六十年代以来取得了很大进展,目前已成为光学技术中的一个专门领域。

光学薄膜的作用就是使经过光学元件透射或反射的光发生光强度的改变或光谱能量分布的变化。其作用原理是利用光在膜层内

行走的光波干涉。现将膜层类型及有关技术上的进展概述如下:

### (1) 减反射及增反射膜层

在透射光学系统中,光每经过一次光学表面,都有一部分光被反射而受损失,如果折射率为1.50,每面的反射损失约为4%,如果折射率为1.70,则反射损失增至6.7%。一个具有四片玻璃的透镜组,如果有八个玻璃空气接触面,以平均损失5%计算,则光损耗达35%,光透过率为65%。在近代许多复杂的光学系统中,玻璃空气面数很多,多至30片,如果不采取减反射措施,透过光就仅达20%,其余80%都被反射损耗了。这些反射光不但大大降低透过率,还会引起有损成像质量的杂光,如在每一玻璃面上镀敷1/4波长厚度的氟化物薄膜作为减反射膜则八片玻璃空气面的损失下降到10%,30个空气面的损失为33%,正是由于有了减反射膜技术,才使复杂的光学镜头(例如,电影及电视上用的大倍率连续变倍镜头)成为实际上可用的。目前可见区减反射膜单面反射损失低达0.1—0.2%。

用高低折射率相间的多膜层可以扩展减反射波段到全部可见波段,并进一步提高减反射效率。这对于彩色摄影、彩色电视摄影特别必要,因为必须使镜头兰色端及红色端都具有较高的透过率。先进的复杂镜头如彩色电视用变焦距镜头具有三十余个空气面,在整个可见波段范围内镀多层膜可使透过率达85%以上。

和在透明表面上镀敷减反射膜层相反是在反射镜面上镀增反射膜层。常用的镀铝反射面反射率在90%以下,在上再镀敷介质膜就可使反射率增加至99%以上。目前激光高反射膜反射率可达99.99%。

### (2) 干涉滤光片

在玻璃基底上镀敷高低折射率相间的多层膜,并控制各膜层厚度,可以获得各种滤光特性,由于这种光谱选择性是由膜层间光的相互干涉形成的,所以称为干涉滤光片以和

靠着色原料所形成的滤光片相区别。理论上这种方法可以制出具有任何光谱特性的滤光片。特别有效的是高峰值窄带滤光片,半宽度(国外)可达1埃。常用的有带通滤光片,长、短波通滤光片,具有一定光谱分布的分色滤光片(例如彩色电视用分色滤光片),析光片,二色析光片等等,利用类似于布鲁斯特角也可以作成高效率的偏振片。

现在各种膜系滤光片波长范围从红外到紫外,当然所用材料要根据波段来选择。

(3) 特种用途的膜层,这些膜层具有特殊用途,不同于前二种形式。

(A) 可变光密度盘,在一个圆盘上,在不同的角度,其透光密度按特定的要求而变。用于自动控制照相的曝光量。

(B) 波长渐变滤光片,旋转滤光片使光通过不同部位时得出不同波长的光。用以代替简单的单色仪,具有体积小短的优点。

(C) 位相补偿片,放入光学系统的光瞳附近用以校正残余像差。

(D) 相位滤波器,可以改变相位,用以信息处理工作中可以提高成像质量,解决像移问题。

#### (4) 膜系设计

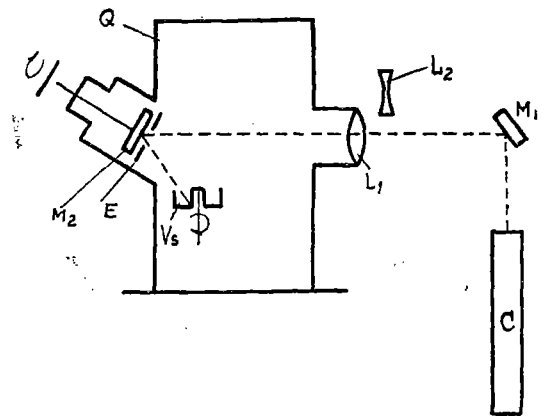
早期多层膜系的设计采用了直观原理,膜层厚度一般是 $1/4$ 波长及其整数倍。现已发展利用电子计算机进行自动设计。一般是在给定层数的情况下,在设计中调节各膜层厚度,使得到接近光谱要求的最佳设计,利用这种设计方法,也易于给出各个膜层的公差。

#### (5) 膜层镀敷工艺

在膜层的形成方面传统的方法有电阻加热真空蒸镀方法和离心化学滴注的方法。近年来根据技术上的需要和可能性新的膜层形成方法不断涌现,例如高频溅射方法。必须特别提出的是在真空蒸镀技术中用电子枪轰击加热蒸发源代替普通的电阻加热,可以使用高熔点材料,例如 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等。在这种方法中,蒸发物质放在

合适的坩埚或导电材料的炉床内,用电子束轰击使之加热蒸发。被加热物质是在表面的中心,离开坩埚还有一个合理的传导长度,因此没有严重的热损耗。同时坩埚通常是水冷的,因而能避免蒸发物质和坩埚之间的反应,比起电热法常用的冰晶石、 $\text{MgF}_2$ 、 $\text{ZnS}$ 具有优越得多的牢固性和化学稳定性。目前已逐步在生产中使用。

随着激光技术的发展,也出现了用激光作为热源的高新技术。例如,利用连续辐射 $\lambda = 10.6\mu$ 的 $\text{CO}_2$ 激光器进行淀积,对这个波长,许多介质材料是吸收的,而若干半导体材料在高温时变成充分吸收,从而能在 $\text{CO}_2$ 激光器的强烈辐射下蒸发(见图1)。利用激光加热的方法,比起电子束轰击有不使镀膜材料致黑的优点,是很有前途的。



$M_1, M_2$  为反射镜  
 $V_s$  为蒸发源(可选择几个槽)  
 $L_1$  为 Ge 聚焦透镜  
 $L_2$  为 Ge 散焦透镜  
 $C$  为  $\text{CO}_2$  激光器  
 $Q$  为真空镀膜机  
 $E$  为挡板,起保护作用

图1 激光镀膜装置

在膜层厚度控制方面,在严格光谱要求和增透效率或反射效率的情况下(例如为了提高反射腔镜的反射效率)提出了提高膜层厚度测试和控制精度的要求。传统的有极值法。为了提高精度而出现了波长扫描法和双

色法，波长扫描法精度可达1—2%。双色法是在两个波长上测量控制片的反射率或透过率，并且显示它们的差值。这个方法比之于波长调制法有较大的灵活性，因为两个波长可以选在光谱中任何地方，其间隔可以很大。

随着光学薄膜的广泛应用和薄膜自动设

计的进展，愈来愈多地要求采用各层厚度均不相等而且不是四分之一波长整数倍的任意厚度，这就促进了任意监控技术的发展。出现了利用压电石英振荡频率随附着膜厚而改变的用以控制膜厚的技术。其可用数字化表示，可得到很好地重复性和精度（见图2）。

### (6) 膜层材料

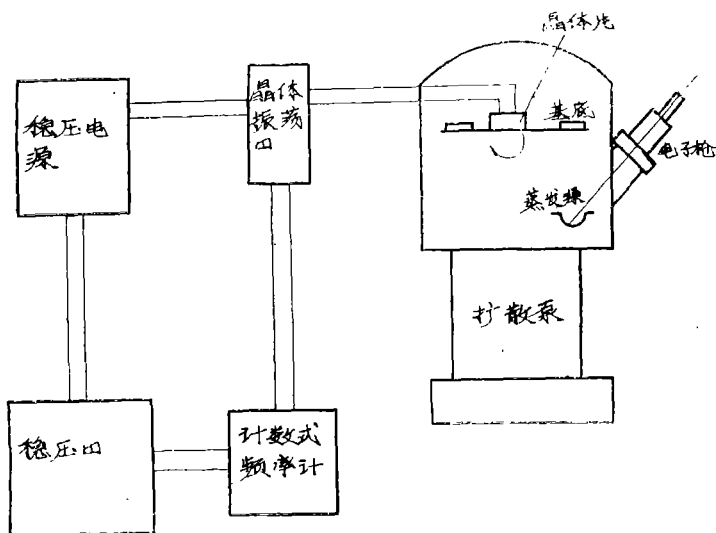


图2 压电石英控制膜厚仪器示意图

化学镀膜常用材料是硅酸乙酯（低折射率）和钛酸乙酯（高折射率）。在真空镀膜中有冰晶石，氟化镁（低折射率）和硫化锌（高折射率）。利用电子枪倾向于用高熔点材料如石英、氧化钇、氧化锆、氧化钛、氧化铈等以增加膜层的牢固性和化学稳定性。中性密度材料如铂溅射以及镍铬铁合金的蒸镀。三防膜层除上述材料外还可蒸镀氟醛和聚四氟乙烯后再涂上有有机硅油。使用不同材料，除了注意到牢固性和化学稳定性外，对于要求严格的膜系（例如用于激光腔内的膜片）还需要注意膜层的散射和吸收。为此，除光学测试以外，需用电子显微镜对膜层结构进行研究。

(7) 其它，随着膜层技术的发展，需建立一套光学机械和化学性能测试技术，包括低吸收率和低反射率的测试技术，机械牢固性试验以及确定试验标准等。

在某些情况下，用折射率渐变的薄膜代替高低分层薄膜有可取之处。

## 光通讯和集成光学

近代科学技术的发展，要求通讯系统有高的信息传输能力。理论上利用光作为通讯的载波手段比起微波所能承载的通讯量大千倍或万倍。激光出现之后，利用激光进行光通讯引起很大的注意。一般说来，通过大气的光通讯由于云雾会引起衰减，只能在大气透过度良好的气象条件下使用，不是全天候的，因而有局限性。但是光通讯用于空间信息传递或建立管道通讯就不受天气的限制。近几年，由于传光纤透过率大幅度提高（每公里仍可透过40%以上），利用传光纤做成光缆的通讯方式在技术上已经确立，已进入试用阶段。这种系统用作小范围的通讯简单易

行,很适宜于在空间飞行器、飞机、船舶中使用,作为距离通讯直接传输距离可达8—10公里。这比起用同轴电缆的微波通讯好,因为后者每1.6公里就要进行一次中继,而且频带宽度可达百兆赫以上,因此在单一纤维中就有可能传递百路电视电话(每路一兆赫)。这种系统可作都市通话,形成电视电话系统。通过中继系统,也可作为远距离通讯。另外,这种技术的发展,对于快速大容量计算系统,也有应用的可能。光通讯技术的发展正在为近代信息传递和处理提供一种新的手段。预计和电信技术二者会相辅相成地为了不同使用目的发挥各自的特长。

集成光学是六十年代末期提出来的一个新的科学技术。在普通的光学系统中,一般是占用空间的体积大,关键元件在使用过程中不够稳定,要随时调整。另外,利用光作为信息传输和处理的手段,需用光电控制方法进行调制、开关,这就要用较高的电压,这对于高频信息处理是特别不利的。利用类似于集成电路的工艺技术,将光学元件小型化,并将各种元件拼装在同一基底板上,就可使元件坚固可靠,不致失调,光强集中,对于光电元件所需电量也大为减少,从而有利于对光信息进行高频处理。集成光学可用于光学信息处理的许多方面,包括光通讯。

具体说来,集成光学利用光在薄膜中形成波导传输的特点,制成各种功能元件,包括光输入、输出和耦合装置,折射反射元件、滤波器、偏振器、调制器及开关,以及薄膜光源等。正是由于集成光学要充分利用光在薄膜中传输的特点,需使光具有高度相干性,因此须用激光作为光源并在光路中形成单模传输。

集成光学器件都是以薄膜作为基础的,因此对薄膜材料及其工艺提出了严格要求。

目前所用材料有无机玻璃、有机材料、半导体、绝缘晶体和液体。而所用工艺大致有高频溅射、离子交换、质子轰击以及沉积、氧化、外延和扩散等等。目前较为普遍

的是采用高频溅射方法。

在上述材料中以无机材料,如 $ZnO$ 、 $ZnS$ 、 $Fa_2O_5$ 和半导体材料,如 $GaAs$ 最好。就传输而言 $Ta_2O_5$ 的光传输损耗最低、已下降到1分贝/公里,就工艺看,似乎 $GaAs$ 最为成熟。

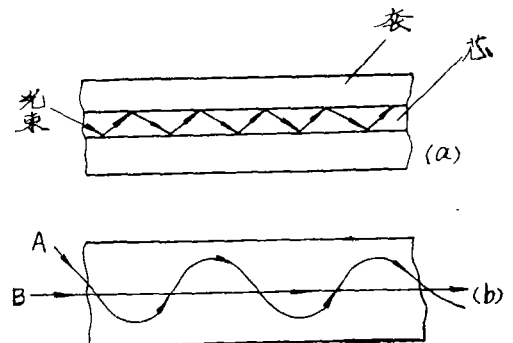
目前将各种元件制备在同一基底上(像半导体集成电路那样)还有一定困难。现在还是采用复合基底的形式。

集成光学尚未脱离试验阶段。集成光学在光信息处理中的地位可与集成电路在电子技术中的地位相比。因此,它在当代光学技术发展上是值得注意的。

## 纤维光学和多元复合光学

研究光学纤维传递光和图像的科学称为纤维光学,它是现代光学中的一个重要分支,其发展到现在已有二十年的历史。光学纤维具有弯曲传递光和图像、能量损失小、数值孔径大、分辨率较高,而且结构简单使用方便等特点。这种新的光学元件广泛用于光学仪器,电子光学,高速摄影,医疗器械,光通讯等各个方面。

目前光学纤维主要是玻璃制作的,按传光原理可把光学纤维分成反射型和折射型两



(a) 反射型玻璃纤维  
(b) 折射型玻璃纤维

图3 光学纤维

种，按照纤维的性能不同可分为紫外光学纤维，红外光学纤维，塑料光学纤维，液体光学纤维，激光纤维，发光纤维等等。近年来，随着光学纤维理论的逐步发展，工艺的逐步改进，材料的逐步解决，使纤维光学得到了迅速的发展，同时也愈来愈多地显示出这门新技术的优越性和重要性。

一、反射型光学纤维其基本原理是将透明物质（玻璃或塑料）拉成纤维。利用光在纤维中遇到纤维壁会全反射的性质，光自纤维的一端输入，从另一端输出，成为一个光的通道。使用时常把一束纤维组合在一起，为了避免纤维内互相串光，纤维本身取包皮型，即纤维芯子外包一层折射率比芯子为低的透光材料，而光主要是在芯子中传播。利用这种纤维组合，可取得多种光学效果。

(1) 作成可以弯曲的导光束，使光在使用光的地方输出，这样在照明安排上可以得到很多方便，例如，使用一个光源，而能将光分配到若干个照明点，中间不需安排直通光路。在精密仪器上可使光源远离照明点或放在合适部位，避免光源发热对仪器的影响，达到冷光照明，如光源处温度为 $80^{\circ}\text{C}$ ，经过光学纤维传至另一端后温度为 $15^{\circ}\text{C}$ 左右。

(2) 作为光学成像传递器件，如果将大量的纤维，在输入和输出端各个纤维之间，按照严格相同的几何位置紧密排列，那么将光学像在一端输入，同样的像就可以在另一端输出，不拘纤维在中间过程是如何组织排列和弯曲的。利用这种装置适宜于做成各种可以经过弯路的内腔窥测镜，这在工业上和医学上已广泛使用如胃镜、膀胱镜、内腔窥察镜等。

(3) 作为光分配器，将信号从一种组合形式通过纤维间输入端和输出端有次序的进行位置转换，转换成另一种形式，如图4所示用作扫描器的纤维光学直线——圆形信息变换器，这使得对直线图像的扫描变成为对圆周形的扫描。然后相继地把每一纤维传

递的信息输入光电管中，这种装置可以大大简化扫描机械装置。

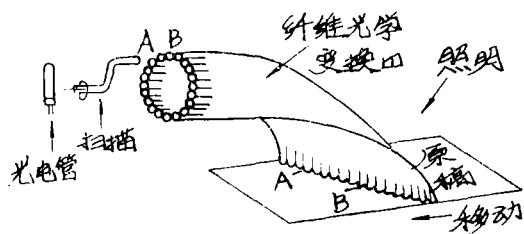


图4 传真扫描用直线——圆形信息变换器对直线A、B的扫描变成为对圆周上A、B点的扫描。

另外，纤维束还可以作成锥形，可把大面积的光聚成一小点以增加光强，有利于光学传输时光的耦合，也可用这种锥形纤维来使象放大或缩小。

#### (4) 纤维面板

在电真空成象器件中，在荧光屏上所成象都在玻璃壳内，如果要将在玻璃壳内所成象引渡到另一环节就需中继镜头投影，这样对于光的利用率是很低的，因为从荧光屏发出的光是全漫射的，而通过镜头的光只是较小的一部份。在某种情况下，中继镜头占去体积和尺寸也是一个决定性因素。纤维面板是一种由大量光学纤维整齐地按纵向排列，并做到气密，因此做为荧光屏的窗板，就能将荧光屏上的图像在窗板外表面显示出来。这样，如果要把图像用感光底片摄取下来，只需将底片贴置在面板外表面就可以了。同样，如果将象增强器的光阴极端的窗口也可用纤维面板制成。那么就可以将两个象增强器对接串联起来，形成级联式象增强器。

纤维面板的功能，还在于可以改变象场弯曲来适应光学或电子光学系统中所形成的像场弯曲，从而大大提高视场范围和边缘视场的清晰度。这对于电子成像的质量的改进是一个突破。

(5) 光通讯用传光纤维，本年代初，把高纯材料用来制成光学纤维，使光在纤维中的衰减从每米若干分贝降低到每公里若干分贝。这启发我们使传光纤维作为光通讯的

现实性，新的进展做到传光纤传光损耗每公里二分贝以下。用此作成光缆实现光通讯，可以使距离长达8—10公里不须中继放大，这比用同轴电缆的微波通讯具有突出的优越性。同时它还具有尺寸小、容易与集成光学终端匹配；拐弯半径小，适于复杂地形或室内布线；非电感元件，不用抗闪电保护装置；传输光强不失散，窜漏小；容量大，能够实现多束传输等优点。目前，利用传光纤的光通讯已进入实验试用阶段，很有发展前途。

二、折射型光学纤维，又称自聚焦光导纤维。这种纤维沿轴心的折射率比周围高和径向成抛物线分布。这种光导纤维不须再有包皮，光进入纤维后，是围绕纤维心轴传播，不会碰到纤维壁处，这样就减去了外壁损耗因素，并且大大减小光信号传输的失真性，可以进行大容量的信息传递。

聚焦纤维与折射型纤维（也称涂层纤维）的区别在于聚焦纤维能保持光束结构，一个纤维就能传递图像，而折射型纤维要用一束纤维才能传递网格象。如用它制造的内窥镜可采用单根纤维，直径可制得1毫米以下，并可和摄影机配合进行照像。

自聚焦纤维光导除了用单根纤维代替包皮纤维束传象而外，亦可制成纤维束及纤维面板，这时一个图像经过这种纤维束就可以出现许多图像，它可用于同时缩小的多个图像的印刷及其它类似装置中。

三、空心纤维列阵，这是一种和纤维面板工艺相同的熔合复合纤维列阵，其芯为可被酸侵蚀的玻璃制成，面板熔合后用酸或电化学侵蚀以除去芯，留下空心纤维列阵。

用空心纤维作成纤维面板，空心壁便成为具有特殊表面电阻的表面层（利用玻璃本身或外加敷层）并具有二次电子发射能力。面板一端是光阴极，另一端放置荧光屏，整个组合放在真空中，并在面板两端加上高压电场，以使电子在管内得到加速。由光阴极发出的电子按所在部位进入纤维的空心通

道，受电场加速，当碰到管壁时就产生倍增电子，电子在通道中受到多次倍增后打击在荧光屏上而发光。这种列阵可以在几毫米内得到 $10^6$ 的电子增益。可比普通的电子光学三级串联增强器好得多，体积却小得多，结构也简单可靠。在微光夜视仪器中已代替前面所说的级联式象增强器，成为第二代仪器。也可和电视摄像机结合起来成为微光电视摄像机，用于军事目的。

多元复合光学，是将多量的小光学系统组合起来，使它起到一个单独大光学系统的作用。这个原理大至用于天文望远镜，小至用于一般的光学器件。这种发展倾向，已显示出了它的优越性，值得注意。下面仅举例加以说明：

（1）复合天文望远镜，用六块直径各为二米的镜面代替一块面积相同的主镜，各镜面单独调焦，做成一个组合成象系统。这种望远镜在机械结构上比单镜式要小得多。

（2）在主动光学跟踪系统中，用激光照射目标上的反射光学棱镜，光仍从原方向返回作为跟踪信号。可以用大量的小型角反射器代替一个单一完整的角反射器，可以用塑料印模的方法作成许多密集的角反射器组成“角反射布”包在目标上，这样减轻了重量，提高了效率，降低成本。

（3）在照像机中的取景器免去厚度较大的玻璃场镜，做成细环状的费涅尔镜，可以用塑料压制成型，降低成本，减轻了重量。

（4）在许多需要高聚光能力的照明聚光系统中，不用非球面玻璃聚光器，改用细环的费涅尔透镜，可大大减少体积和重量。

（5）大屏幕投影电视屏，用密集的小光学透镜组合（可在塑料上压印出来）使屏幕反射光集中在观众所在范围内而不射向空闲方向，可以提高屏幕显示亮度。

（6）蝇眼光学系统用光学数据存贮器（可用塑料制出），简化了制造工艺，成本大

大下降。

## 激 光

激光是60年代以来发展异常迅速的新兴的科学技术，之所以如此，仍是由于激光具有前所未有的优异特性，使得它在国民经济、军事上得到广泛的和新的应用。通常激光有四大特性：

1. 方向性好，普通光源向四面八方发光，没有方向性，而激光几乎是一束平行光，光束的发散角很小，一般只有几个毫弧度，比现今世界上最好的探照灯系统的发散角还要小几百倍。

2. 亮度高，亮度是光源发光能力的标志，激光能够达到能量高度集中，所以激光的亮度比普通光源高出亿万倍（ $10^8-10^{10}$ 倍）。

3. 单色性好，普通光源很多包含很宽广的波长范围，而激光能集中在单一波长上。在现用的有些光源，特别是专用光源，虽然有时也有单色性，但激光可以达比以往光源更为单一的程度，有几个数量级的差别。

4. 相干性好，指发光频率的单一性，在相当长的时间内保持光波前后相位关系不变，在大程差（二千米）下也能产生干涉。

现在各种激光器的工作物质和工作原理多种多样并且还在发展。工作规模大到占用庞大的建筑物，小至半导体的微粒。波长一头是远红外和微波接壤，另一端延伸至紫外。连续输出功率小至毫瓦以下，大至数万瓦，峰值功率高可达万亿瓦，脉冲时间可短至微微秒以下。主要类型见表1。

经过十几年的发展，激光技术已形成专门的科学领域——激光物理学，并正在成为一门应用范围极为广阔的激光工程技术。前者研究激光发生的机理，探索新型的和具有新性能的激光器，根据激光应用中所提出的理论问题进行分析研究提高激光器的效能，

研究激光和物质相互作用的各种现象，特别是强光对物质的效应（非线性光学）用以开辟科学上及实际应用上的新途径等等。在工程技术领域则是如何根据不同应用上的需要，探求适当的激光技术途径，建立设计参数，设计合理的激光器以及围绕使用要求所需从事的有关外围技术问题。

当前在技术发展上主要有以下几方面：

1. 寻求并研究大功率激光器，用以可控制热核聚变反应的手段，探索利用核聚变作为能源的途径，研究核爆炸机理。

2. 研究大功率激光作为杀伤性光武器的途径。

3. 利用激光进行同位素分离，特别是铀同位素的分离，作为制备核原料的有效手段。根据国际报导，已有有效的技术途径，并开始向工程技术上迈进。

4. 利用激光所能获得的高的空间分辨率，时间分辨率和波长分辨率，形成激光光谱学，用以研究原子和分子的微观动态过程，获取物质的物理和化学变化的微观动态知识，用以指导改造物质世界，或对物质的变化过程进行分析。例如：用激光进行定向或催化化学反应，用激光研究大气污染等等。

5. 激光的生物效应，研究用激光提高农作物的生长效率，激光遗传变异及育种等。

6. 激光应用于信息光学和全息照像，应用于光通讯和集成光学。

7. 激光外围技术的研究，如激光工作物质及专用材料的制备工艺，激光探测器件的研究等。

8. 激光在军事上的应用。

9. 激光在国民经济和科学技术上的应用。

下面就激光在工、农、医、军等方面的应用做概况介绍。

工业方面和科技方面：

1) 激光准直和导向，一般用 He—Ne

激光器及其应用 表 1

种 类	主要波长 ( $\mu$ )	特 性	输 出 大 概 值	应 用
气 体 激 光 器	He-Ne 激光器	稳定的连续输出, 优异的相干性 寿命达 1—3 万小时	0.1—数百毫瓦	最常用于工程准直器及波长标 准、通讯、信息处理、全息照像光 源。
	A <sup>+</sup> 激光器	稳定的连续输出, 优异的相干性 寿命 3000—5000 小时	0.1—100 瓦	可作兰绿强单色光源及准直光 束, 全息计量用光源。
	He-Cd 激光器	紫外连续输出	1—500 毫瓦	
	CO <sub>2</sub> 激光器	高效率 (达 10—20%), 红外大气 透射窗口波长、中小功率已系列 化, 寿命 1 万小时	一几百瓦 (连续) TEA 可达数万瓦 —10 <sup>6</sup> 瓦 (脉冲)	光学加工、通讯、医用。
	N <sub>2</sub> 激光器	紫外线、大功率	—10 兆瓦 (脉冲)	紫外激励光源
固 体 激 光 器	红宝石激光器	高能脉冲, 脉冲时间可短至毫微 秒	—1.00 兆瓦	测距、激光雷达
	钕玻璃激光器	高能脉冲, 脉冲时间可短至 0.1 毫微秒	1 兆瓦	光加工
	YAG 激光器	高功率、高重复率, 脉冲输出时 间为毫微秒级	—1 千瓦 (连续) —数十兆瓦 (脉冲)	光加工、激光雷达
半 导 体 激 光 器 (GaAs 或 AlGaAs)	0.9	小型、结构简单、高效率、调制 或移频容易, 在液氮下工作至室 温	—10 毫瓦 (连续) —10 瓦 (脉冲)	信号光源、通讯
染料激光器	0.265 —1.2	光谱纯, 方向性好, 光强大, 波 长可调	微瓦—兆瓦	高分辨率光谱分析, 分离同位 素, 污染检测,

激光器用作航空及造船工业的安装定位指示线,用于大型机械中旋转轴的同心定位、开发矿井、隧道的导向、控制铁道起拔的平直等。

## 2) 精密长度计量

(a) 用经稳定控制的激光波长作为长度和频率的自然基准。

(b) 激光测长仪,利用干涉计量原理,用以检验标准尺和量块,精度达1/10微米。

(c) 激光测长仪,用于机械测量,范围可达60米以上,精度为微米级。

## 3) 激光测距

(a) 和经纬仪连用进行工程测距,用较小的高频调制的半导体激光器,工作范围数公里,精度1厘米左右。

(b) 用于大地测量的精密测距仪,量程30公里,精度约为量程的百万分之一。

## 4) 激光干涉仪及全息照像

(a) 精测平面及球径。

(b) 激光全息摄影,全息振动模式图,三维光弹性测量等。

(c) 热膨胀及材料尺寸稳定性的精密及快速测量。

(d) 用长距离干涉仪测量岩石应力(作为地震研究及预报的工具)。

5) 激光测速,利用多普勒频移测速,用以探测管道液体流速等。

## 6) 激光雷达

(a) 激光气象雷达用以测云高。

(b) 大气污染测量雷达。

7) 利用激光聚焦产生高温的特点,例如,能聚焦在直径为0.01—0.3毫米的小面积上,产生10000℃以上的高温特性,制成光谱仪器的激发光源,进行微区分析,微量分析以及难熔材料的分析。

## 8) 激光加工

(a) 激光打孔,例如用红宝石激光器进行钟表轴承打孔,汽车喷嘴油咀打孔等。

(b) 激光焊接,激光焊接优点是深宽

比高,可焊接不同金属及普通焊接难以达到的部位等。

(c) 激光切割,各种钢材、石英玻璃、塑料、布料、橡胶、木材等等都可用激光进行高速加工,切割件平滑无渣,热影响区很小而不变形。特别适于不锈钢,工具钢及钛钢等的加工。因为是非接触加工,适于加工复杂的平面曲线和空间曲线。

(d) 激光微调,用于如在薄膜电阻生产中调节电阻值,调节精密陀螺转子的动平衡等。

9) 激光光谱仪,如用作微远光谱源,激光拉曼光谱仪,可调谐染料激光光谱仪等。

10) 激光分离同位素,最大优点是分离效果好,一次即可浓缩到很高。例如,用激光技术分离铀,一次可从0.71%浓缩到60%。短短几年时间,已在实验室用激光成功地分离了氢、硼、氮、碳、钠、溴、钙、钡、铀等十几种元素同位素。

在农业方面:

11) 用激光照射种子提高产量,获取早熟效果。

12) 用激光照射使遗传变异,创立高产、早熟、优质、抗病、适应性强等新品种。

在医学方面应用

13) 激光手术刀,已成功的进行了胸外科手术。

14) 眼科治疗,用于视网膜凝固,虹膜切除闭塞血管,松解眼内血块等。

15) 激光理疗,医治一些常见的皮肤病如牛皮癣,神经性皮炎等。

在军事及尖端技术方面

16) 测距,激光测距是激光在军事上应用较早的项目之一,它的优点是操作简单测量速度快而精度高。地面激光测距,在16公里的距离上,误差不超过2米。美帝在一些坦克上装备了激光测距仪。另外激光测距还可用于靶场弹道测距,人造卫星轨道测距

(下接第28页)

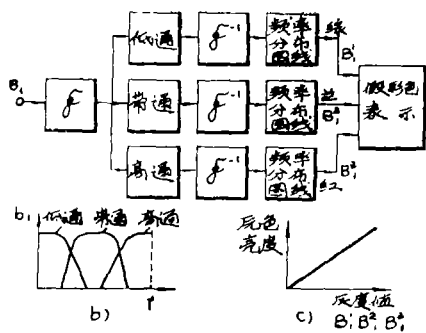


图11 假彩色频率排列

a) 方块图, b) 滤频特性曲线的情况, c) 频率部分的灰度值的排列对相应原色亮度的排列。

只有频率信道内的统一颜色分配适于每个频率信道进行频率分布图的线性比。

最后应该提到, 在多种数字处理办法的

范围内, 只谈到象质改善的几个办法。特别由于技术上的和财政开支上的原因, 彩色和假彩色图象处理的结果不能介绍。

## 结 论

上述工作是对象质改善几种方法的总结, 文章叙述了在图象范围或在频率范围内可以进行的, 为在已知和未知系统误差情况中再现图象的方法。除了低通滤频和高通滤频反衬加强不同方法的处理外, 还提到几种假彩色显示的可能性, 由于复制技术的原因, 这里未将结果介绍。

译自“Bildmessung und Luftbildwesen”

1976.2.s53—60

(王亚平 译; 大舟、芦寿桐校)

(上接第15页)

等。

17) 激光摄影, 用以提高分辨率, 特别是夜间摄影的分辨率。激光红外摄影机可以在完全无光的黑夜里, 拍摄出极为清晰的侦察照片。利用激光摄影还可以从飞机上直接把拍摄的图像变成无线电信号发送出去, 地面再把它再现成侦察照片。

18) 激光制导, 激光精密制导武器对目标具有极高的命中率, 具有抗干扰性强等优点。

19) 激光水下侦察, 日本电子技术综合研究所使用氩离子激光器制成一种可探水下物体的探测系统。实验表明, 此系统能以每秒25帧的速度显示出距离为光衰减距离五倍以上的靶面, 可进行水下电视摄影。