集成光学

王殖东 编著

77

科学出版社

73 777
117

集成光学

王殖东 编著

1107975

科学出版社
1980

内 容 简 介

集成光学是诞生仅只十年的一门新兴科学技术。

本书的引言介绍了什么是集成光学。前两章是为阅读主题所必需的基础光学知识。第三章讲解波导原理。第四章叙述了分立薄膜光学器件，这是集成光学当前取得重要成就的领域。第五章列出一些集成光路设想。第六章阐述集成光学的发展远景。

本书对集成光学领域作了通俗介绍，可供具有中学文化程度的广大干部、知识青年学习，也可供光学工业和通信技术的有关人员以及大学低年级学生阅读，对于中学教师亦有一定参考价值。

集 成 光 学

王殖东 编著

*

科学出版社 出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行　各地新华书店经售

*

1980 年 2 月第 一 版　开本：787×1092 1/32

1980 年 2 月第一次印刷　印张：4 5/8

印数：0001—13,900　字数：88,000

统一书号：13031·1179

本社书号：1647·13—3

定价： 0.40 元

目　　录

引言…… 1
第一章　几何光学基础…… 8
一　光的直线传播 …… 8
二　光的反射 …… 12
1．光的反射现象…… 12
2．光的反射定律 …… 13
3．光路的可逆性…… 14
4．光的单向反射和漫反射…… 15
三　光的折射 …… 16
1．光的折射现象…… 16
2．光的折射定律…… 18
3．相对折射率和绝对折射率的关系…… 21
四　光的全反射 …… 23
1．光的全反射现象…… 23
2．全反射临界角的确定…… 25
3．基底上薄膜内全反射的研究…… 26
五　棱镜、透镜 …… 29
1．棱镜…… 29
2．透镜…… 32
第二章　物理光学基础…… 40
一　振动和波的一些基本概念 …… 40
1．简谐振动…… 40
2．波…… 42

二　电磁波和光波 …… 45
三　光的反射和折射 …… 48
四　色散、吸收和散射 …… 54
1. 光的色散 …… 54
2. 光的吸收 …… 54
3. 光的散射 …… 55
五　光的干涉 …… 56
六　光的衍射 …… 60
七　光的偏振 …… 62
第三章　波导传输原理 …… 66
一　金属波导传输原理 …… 68
1. 金属板对电磁波的反射 …… 70
2. 波导管对电磁波的叠加与传输 …… 74
3. 矩形波导 …… 80
4. 截止波长与波导波长 …… 82
二　介质波导原理 …… 86
1. 非对称多层波导 …… 87
2. 波导的有效厚度 …… 92
3. 矩形波导 …… 94
4. 耦合线路的最大耦合长度 …… 96
5. 介质波导允许弯曲的曲率半径 …… 97
6. 界面粗糙引起散射损耗 …… 98
第四章　分立薄膜光学器件 …… 100
一　薄膜器件 …… 101
1. 薄膜棱镜 …… 101
2. 薄膜反射镜 …… 103
3. 薄膜激光器 …… 103
4. 薄膜耦合器 …… 109
5. 薄膜调制器 …… 119
6. 薄膜探测器 …… 125

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.

7. 薄膜滤波器…… 126
二 薄膜器件材料、特性与工艺 …… 127
第五章 集成光路…… 132
第六章 集成光学的应用及展望…… 138

引　　言

一

什么是集成光学？它是怎样发展起来的，现状如何？它有什么用？这都是看到书名的读者所关心的问题，我们在书的开始先描叙几句，使读者在鸟瞰之下以决定有无阅读下去的兴趣，值不值得自己花精力去了解这样的一门学问，或者对部分青年来说能否引起将来去从事这方面工作的兴趣。这就是本段文字的目的。

电信通信经历了从长波到微波；从传递信号、声音到静止图片和活动形象的历史发展过程，现在正朝向激光通信迈进。以传送电话为例，同轴电缆系统最初只通两千路，后来发展到九万路，微波通信可传送几十万路。由于激光技术的出现，使相干电磁波扩展到了可见光波段，因为光的基频比无线电波高几个数量级，故频带极其宽广，在理论上，激光可同时传输一百亿路电话，或一千万套电视节目。这对无线电频带过分拥挤、迫切要求将传输频率提高、使工作频带更宽、容量更大来说，露出了十分喜人的曙光。无线电通信技术的成功，对于古老的光学技术无疑是一个鞭策。光学技术本质上也是解决传输信息问题的，如何借助于成功的电信技术和理论，使技术

光学来一个革命性的变化，已提到了议事日程上。革命导师恩格斯说："社会一旦有技术上的需要，则这种需要就会比十所大学更能把科学推向前进。"这样，为了发展光通信、光计算机及光信息处理技术，集成光学就于 1969 年应运而生了。这门诞生至今虽然仅十来岁尚属科学幼儿期的学科，却不可等闲视之，它关系着今后信息处理的重大革命。如果说，现在是电信息处理时代，那么，二十世纪八十年代将开始进入光信息处理时代，下世纪初将是光信息处理的全盛时期。看来，光信息将要有与电信息平分秋色之势。

集成光学是研究什么的呢？它是研究集成光路的理论及其制造的一门科学。集成光路这一术语是仿效半导体集成电路一词而命名的。它采用类似于半导体集成电路的技术，把一些光学元件（如发光元件、光放大元件、光逻辑元件、光传输元件、光的各种调节控制元件、光耦合元件和光接收元件）以薄膜形式集成在同一衬底上，构成一个具有独立功能的微型光学系统。集成光路从采用的工艺手段、结构形式、特点等方面来看，与集成电路颇像一对姊妹。对加工技术电子束曝光、离子束蚀刻、分子束和离子束外延等的研究，还可带动超大规模集成电路技术的发展，在实现原子级的加工精度上，两种集成工艺相辅相成，相互推动。

在普通的光学系统中，一般说占用空间体积大，关键元件在使用过程中不够稳定，有要随时调整的麻烦。另外，利用光做为信息传递和处理手段，需用光电控制方法进行调制、开关，要有较高电压，这对于高频信息处理是特别不利的。而采用集

成光路，则元件坚固可靠，不使失调；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。集成光学就是在这些特点的现实性上，在具有体积小、性能稳定可靠、效率高、功耗低、使用方便等优点的基础上发展起来的。

目前在实验室中研制成功的集成光学元件、器件有低损耗光学纤维、传输回路、透镜、反射镜、耦合器、定向耦合器、分束器、衰减器、调制器、谐振器、偏转器、滤光器、激光器、放大器、谐波发生器和傅里叶变换元件等，还有由上述元件、器件组成的集成光学组件。但是由上述元件、器件所构成的，能够完成较为复杂功能的集成光学系统还未获什么进展，正待人们去开发工作。可以想像，这样的集成光学回路打破了传统的光学系统的设计概念，那种分立元件、器件的通信系统将被取换，光学信息传输的整个过程可能先经历由集成光学回路和半导体集成电路所组成的集成光电子学系统阶段，尔后，进入全集成光学系统阶段。

由于激光在大气信道中传输受云雾影响而衰减，所以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，激光通信用于宇宙空间信息传递或在地球上建立管道通信，就不会受天气的限制了。近几年来，由于传光纤维透过率的大幅度提高，利用传光纤维做成“光缆”的通信方式引起了人们的极大重视，当前利用光学纤维作为通信手段在技术上已经确立，一些技术先进国家正在转入到工程设计和应用方面。集成光学则是伴随着纤维光学通信的需要而正在发展中的新光学技术。以薄膜光波导为基础的集成光

路和以纤维光波导为基础的纤维光路相结合起来，可成为整个光通信系统中的高效率的终端和中间环节设备。集成光学有着广阔发展领域，不妨略举数例以见一般：

①我们现在通用的电话，只能听到对方的声音，不能见到对方的容貌。如果既能听其声，又能见其容，那么，对于探亲访友来说就可以大大减少乘汽车、火车、飞机的次数了，这将为交通运输节约出多大的生产力啊！为人民带来多大的方便啊！欲通行这种可视电话，就要求大大增大通信容量，而纤维、薄膜光波导通信正是符合要求的值得大力发展的方向。

②建立光缆电视网，既能解决无线电波频带拥挤与传播上受建筑物影响，又能解决光路稳定性问题，这种光路系统能同时播放收看几千套电视。可以广泛推行电视教学、医疗会诊、电视参观、技术交流等。尤其在军事上可以用电视来了解作战实况。

③在计算技术方面，正在研究光计算机。由于光学计算技术的发展，已使模拟式的光运算（如傅氏变换）在实验室里得到初步应用。正在探索用光逻辑单元组成的全光数字计算机——一代新式计算机。

④在飞机和舰艇内，采用光通信系统，既可减轻负重，又可免受干扰。

⑤利用集成光路光强度的集中，在低功率下就可研究各种非线性效应，并使非线性光学领域元件化。

⑥集成光路的实现，肯定会给电子学领域带来新的手段，会给光学装置开辟新的途径，并对其它学科产生新的影响。

⑦集成光学在光信息处理中所占的地位正和集成电路在电子学技术中的地位相当，这怎能不引起人们的注意呢！

最后，我们也指出：集成光学目前还处于基础研究阶段、离实际应用还有距离。仍需要进行新材料、新元件、新方法的探索研究，以及研制能完成复杂功能、适合多种用途的集成光学器件。估计几年之后，工程应用研制阶段就会到来，希望有志于此的同志，为本世纪末由电技术向光技术世界衍化的途程上，预先走出一步有预见性的好棋，为四个现代化多做贡献。正是，发展未有穷期，只要肯登攀！

二

党的十一大和五届人大规定的全党、全国人民在新时期的总任务，庄严地载入了国家的根本大法。要完成新时期的总任务，就要求科学技术工作者和教育工作者切实承担起向广大群众普及科学技术的任务来，这本读物就是为响应这项伟大号召而做的一个努力尝试。

不必讳言，在自然科学和技术方面，我们现在比世界先进水平是落后了，我们承认这个落后，但不甘落后，要迎头赶上去，这就要求我们善于吸收一切外国的好东西，把它们统统拿过来，为我所用。因此，首先应有所介绍，以便了解情况，而不应闭关自守，盲目排外，必须清除林彪、"四人帮"的反革命修正主义路线的影响，正确地贯彻执行毛主席提出的向外国学习的口号。集成光学就是首先在外国的土地上发芽的，我们先介

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.

绍它，学习它，然后，大家再把它和自己的独创结合起来，以便尽快赶上和超过世界先进水平。

我们知道，专业队伍担负着攻坚任务，他们是提高整个中华民族的科学文化水平的尖兵和骨干力量。但是，这个队伍需要不断充实新鲜血液，因此就要向广大人民宣传科学知识，使它们的科学水平不断地得到提高，这样，将能为专业队伍的发展提供广泛的基础和优良的条件。为此，要求我们有人去做这个普及、释俗的工作，以利于建立广大的后备军，以便在适当时机能成长出优秀的人才，培养出浩浩荡荡的科技大军来。因此，尽管集成光学极不成熟，我们还是花些力气做些简介，为了将来能使有志于此的爱好者，投身于这一领域去攻关，为新历史时期光通信等的发展贡献聪明才智。

在完成新时期的总任务、提高整个中华民族的科学文化水平的进军中，许多领导干部精神解放，奋发努力，学政治、学经济、学军事、学业务、学技术，他们为了领导好科学、技术、生产部门的工作，正在孜孜不倦地吸取科学知识，情景喜人。他们迫切希望了解国内外科学技术发展动向，基本的科学技术知识、新的科学技术成果。这就向教育工作者提出任务，要挤时间作科普工作。虽然我们没经验，但愿意和同志们共同学习、一道提高。当代科学的特点是新学科不断涌现，这正是各门学科互相影响互相渗透的反映，集成光学就属于这种情况。考虑到读者的经历各式各样，因此，我们首先介绍主题所需的一切基本知识，免去阅读者东查西找之烦，或是掩卷回忆之苦。至于那些已经熟习这些基础知识的同志，那就请您直接阅读

相应的章节内容就是了。由于笔者水平和选材的限制，缺点甚至错误在所难免，希望指正。

让我们一致努力，为极大地提高整个中华民族的科学文化水平，胜利地完成建设社会主义的现代化强国的伟大历史使命而共同奋斗吧！

第一章　几何光学基础

洒扫房间、整理内务，透过窗外射进的光柱，看到尘埃飞舞；遥望露天剧场射向屏幕一道道光束交相扫映。这些俯拾即是、随时观察到的现象，都能给我们以知识，它表明了光在空气中是沿着直线前进的。

光是从那里发出的呢？上述二例中，一是从太阳发出，一是从电影机的灯头发出。我们就把这种能够自行发光的物体叫做光源。

光源可以分为天然光源和人造光源。前例中，太阳是一个天然光源，电影机用的是人造光源。根据发光物体的热状态的不同，人造光源又可分为两种：一种叫热光源，例如火柴、煤油灯、蜡烛、白炽灯等；一种叫冷光源，例如日光灯等。根据光源发光的机制的不同，光源又可分为自然光光源和激射光光源，前者如太阳、白炽灯等，后者如氦氖激光器、红宝石激光器等。

既然从光的直进开了话题，那么，就让我们从这里开篇说下去吧！

一　光的直线传播

“任何知识的来源，在于人的肉体感官对客观外界的感

觉，否认了这个感觉，否认了直接经验，否认亲自参加变革现实的实践，他就不是唯物论者”。夜晚在公路上奔驰的汽车，从车灯里射出两束耀眼的光柱；空防系统的探照灯，射向黑暗的天空，是一条笔直的光带。这些众人皆知的、生活里常见的现象，表明光在空气里是直线前进的。不仅如此，多方面的观察发现除空气而外，光在水和玻璃等透明物质中的传播也是直线式前进的。

我们称光能够在其中传播的物质叫做媒质或介质。空气、水和玻璃等都是媒质。如果媒质中各处的性质是一样的，就称为均匀媒质。大量的实践经验总结出这样一条基本性质，从光源发出的光，在均匀媒质中是沿着直线传播的。

人们根据光的直线传播性质，引入了一个新概念，即把表示光的传播方向的直线(几何线)叫做光线。

如果光源是一个很小的发光点，或者光源虽有一定的大小，但比起它到照射物体间的距离却小很多，就称这种光源为点光源。从点光源发出的光是均匀地向四周发射的，所以其光线如图 1-1 的辐射状。从太阳上一点射到地球上某物体的光束本是一个锥形，因为距离过远，光锥的角度极小，因此可以把它们看成平行光，示意在图 1-2 上。

说到这里，需要特别指出的是应该正确理解光线这一概念。根据定义，光线是几何线，它只能一根一根地画，然而一细光束本身是连续无间的，即光束内各点都有光传播，因此光线并不是细光束本身，它只不过是代表细光束的传播方向罢了。图 1-1 及图 1-2 中的每一条光线都代表了一束光，我们

1107975

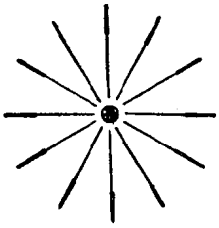

图 1-1　点光源发射光线示意图

图 1-2　平行光

在那里是沿着一细光束的轴线画出来的。

为了使读者对光的直线传播这一简单而常用的概念有深刻印象，这里不妨再举例申述一下。

众所周知，人们能够看见物体，是因为从物体来的光进入了我们的眼睛，引起光感的结果，否则就看不见它。根据光的直线传播的性质，那么，只有当我们的眼睛对着光源或反光的物体时，才有光进入眼睛引起光感，使得我们看见光源或反光的物体。为了清楚起见，可作下述这样一个实验：取一个平行六面体的暗箱，五面内部涂黑，一面透明可以进行观察，如图 1-3 所示。当光线从左侧射入，右侧的人可以看到光，与箱正对面的人也看到一束光尘；但当箱中充以无尘的极清洁空气或抽成真空时，那么，只有右侧的人能看到光，而正面的观察者则什么也看不到了。这是因为我们从一旁观望这束光

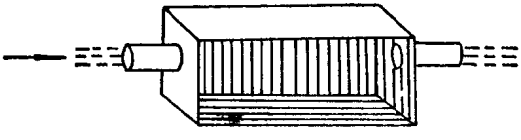

图 1-3　箱内不见任何光的径迹

时，是没有光进入眼睛的，光感无从发生，我们就看不见发光物体。只有当眼睛处在光线上时，才能有光感。值得注意的是，看见的是发光的物体或是反光的物体，而光本身是看不见的，仅是通过光看见物体。宇航员在太空中除非面向太阳而外，感到周围是一黑暗世界，这也是光的直线传播的一个很好的例证。

光的直线传播性质，在生产劳动中应用也是很广的，如：木工师傅粗略准直时，用单眼吊线，见图 1-4 所示；学生集合，排队向右看齐，每人把头向右偏过去，眼睛注视右边那人的鼻尖，而缓缓地移动自己的身体，当右边的所有人的鼻尖都刚好被自己右边的第一人的鼻尖遮住时，就说明大家都站在一条直线上了；园林工人绿化街道，植树成行，莫不利用这一原理。就连战士射击瞄准，也是利用了这一性质。当目标、准星和标尺上的缺口三点成一直线时，从标尺的缺口望过去，如果只看见准星而靶子刚好看不见，那就是瞄准好了，如图 1-5 所示那样。

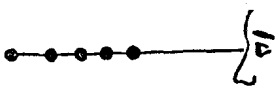

图 1-4　单眼吊线

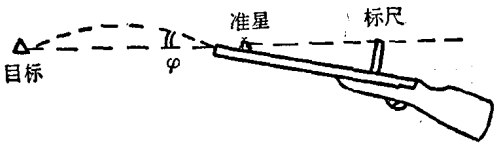

图 1-5　步枪的瞄准

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.