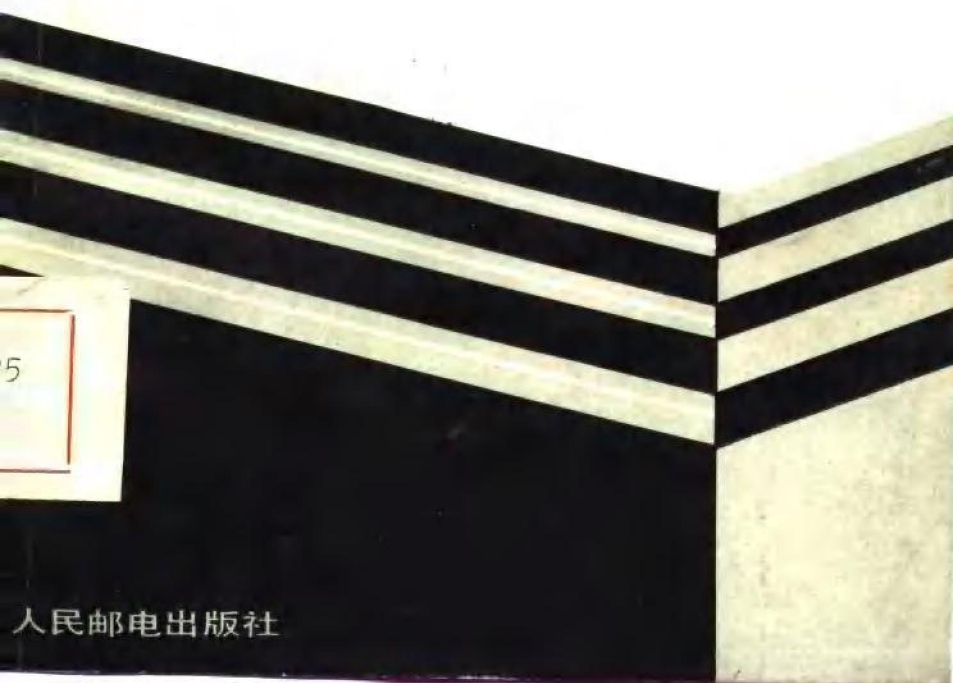


光波导和集成光学简介

三 光 学
光 学 学



5

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书首先在几何光学和物理光学的基础上阐述了光纤的作用原理,接着分别讨论了平面波导、耦合问题和主要光源,最后对调制器、偏转器和探测器作了简要的介绍。本书内容阐述精炼,着重于物理概念和实际数据的介绍。

本书可供从事光纤、集成光学以及光通信工作的技术人员和高等学校的学生阅读。

光波导和集成光学简介

[法]J.J.克勒尔 著

曾德汲 译

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本: 787×1092 1/32

1985年2月第 一 版

印张: 3 16/32 页数: 56

1985年2月河北第一次印刷

字数: 76 千字

印数: 1—3,100

统一书号: 15045·总2948-有5383

定价: 0.53元

译 序

近年来, 光通信已从理论上的研究发展到了工程应用, 由于光通信系统有着很大的信道容量, 能满足当前信息传输迅速发展要求, 所以, 受到了广泛的重视, 尤其是光纤和集成光学技术在国内外科技界引起了更大的兴趣。目前实验性的光纤通信系统均已获得满意的结果, 更有若干实用的光纤通信系统正在建设中, 因此, 不少的人渴望了解这一新技术, 而普及光波导、光纤和集成光学的知识已成为当前一个迫切的任务。

法国J.J.克勒尔正是为了满足读者的愿望而编写这本书的, 他搜集了60年代末期到70年代中期有关书刊中关于光波导、光纤和集成光学方面的许多成就编写成书, 内容比较丰富, 阐述也还精练, 并着重于物理概念和实际数据的介绍。该书不失为一本较好的介绍光波导、光纤和集成光学的普及读物。凡是在通信技术和光学方面有一定基础而又迫切要求迅速了解光通信和集成光学概貌的工程技术人员、中学教师和高等学校的学生都适于阅读本书。

译者限于法语水平和光通信理论的基础, 错误是难免的, 殷切盼望读者提出宝贵意见。

译者 于北京

序

自从1960年发明激光器以来，在信息的光传输范畴，进行了许多研究，随之集成光学诞生了。集成光学力求用光波来再现那些已用电磁波所曾做到的一切。光波的好处就在于它们有高得多的频率，能传送相当多的信息。大气是一个扰动厉害的媒质，因而就必须研究并采用另一种能提供传播波导的媒质：这个传输媒质就是光纤。在光纤技术研究方面的努力，已减小了吸收引起的损耗。吸收损耗已从每公里几百分贝达到目前的一、二分贝。只要想一想，一个两分贝的吸收损耗就相当于使光的强度减小50%，我们就会明白，这一成就为什么会使人们产生这样大的关注。这样，终于出现了可供实际使用的光波导。然而问题并不在于满足于简单的联系，还必须直接处理光信号。借助于可以和电子微电路相比拟的微型光路，我们就能对光信号进行调制、转换、混频等。这就是那些称为集成光学的新部件的技术。而能在常温下连续振荡的半导体激光器恰好提供了能同时把光电子学、光学和电子学的作用纳入同一衬底的理想光源。

J. J. 克勒尔的“光波导和集成光学简介”一书就这个问题的现况给我们作了很好的阐述。作者一开始就在几何光学的基础上，然后在物理光学的基础上，阐述了光纤的作用原理。接着提到了不同类型光纤和它们各自的制造工艺。

在第二章中讨论了平面波导，接着在第三章中介绍了它们实现的技术。一个重要的问题就是怎样把光波送入波导中去。

耦合问题则在第四章中研究。在第六章中描述了可以利用的主要光源，即发光二极管和激光二极管。最后作者在后面两章中，对调制器、偏转器和探测器作了一些叙述*。

M. 弗郎松

*下略——译者。

目 录

译序

序

引言..... (1)

1. 概述..... (1)

2. 光传播的有关问题..... (3)

a) 分子吸收..... (3)

b) 由固体或液体粒子所引起的吸收和衰减..... (3)

c) 大气的湍流..... (4)

参考文献..... (7)

第一章 光纤..... (8)

1. 工作原理..... (8)

2. 信息的传输..... (14)

3. 信号的传播..... (14)

4. 信息量..... (17)

a) 液芯光纤..... (18)

b) 有两种折射率的光纤..... (19)

参考文献..... (23)

第二章 平面波导..... (24)

1. 原理—导引的条件..... (24)

2. 导引的几何解释..... (28)

3. 实际的情况..... (29)

4. 矩形平面波导..... (31)

5. 信息传输有关的问题·····	(40)
6. 传播在能量方面的意义·····	(42)
参考文献·····	(44)
第三章 波导的制作 ·····	(45)
1. 关于制作波导的概述·····	(45)
2. 容许的误差·····	(45)
3. 电子掩膜技术原理·····	(46)
4. 电子掩膜、离子蚀刻和离子注入的应用·····	(47)
5. 电子蚀刻·····	(50)
6. “电子”技术的梗概·····	(50)
7. 复制·····	(50)
8. 光的方法·····	(52)
参考文献·····	(53)
第四章 耦合 ·····	(54)
1. 概述·····	(54)
2. 棱镜耦合·····	(56)
3. 光栅耦合·····	(61)
4. 结论·····	(63)
参考文献·····	(64)
第五章 集成光学系统中使用的光源 ·····	(65)
1. 引言·····	(65)
2. 什么是激光效应·····	(65)
3. 二极管·····	(67)
4. 两类光源的一些特性·····	(72)
参考文献·····	(73)
第六章 调制器 ·····	(74)
1. 引言·····	(74)

2. 利用电-光特性的调制	(74)
3. 转换器.....	(79)
4. 磁-光效应	(83)
5. 逻辑光路的实现.....	(83)
6. 声偏转器.....	(83)
7. 实现调制的其它方法—液晶	(88)
参考文献.....	(92)
第七章 探测	(93)
1. 引言.....	(93)
2. 光探测器.....	(93)
3. 应用举例.....	(96)
参考文献.....	(98)
第八章 集成光学的前景	(99)

引言

1. 概述

以发光信号的形式来传送信息是和人类社会一样地有着悠久的历史。信息量越多或单位时间中传送的信号越多，则传输系统越好。为了“携带”这些信息，就必须调制光束，而最简单的例子莫过于莫尔斯系统，其中信号的分布和持续时间服从于某一已知的电码。

于是发送的本质在于信息的编码，也就是说在于调制信息的载体，在这里载体就是光束；至于接收，它就在于把发送来的信号译码和判断（图 1）。

电磁方式的有线通信和无线通信的发展带来了很多技术上

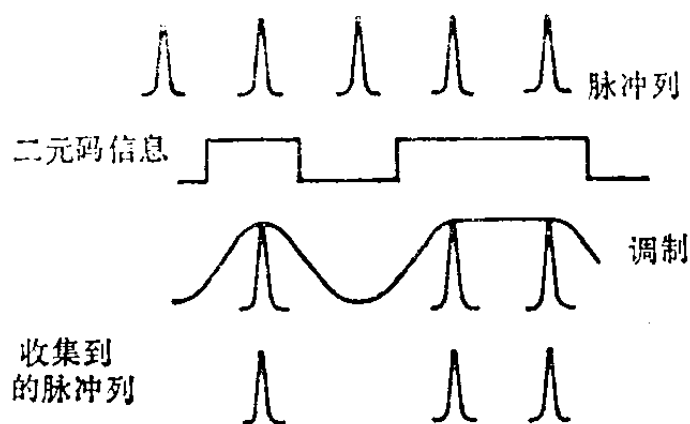


图 1 调制的例子。发信机送出一个周期脉冲列(所谓载波)。二进制信息相当于要发送的信号；在这里一个二进制信号以有或无的形式随时间变化。

调制可以用两个函数在时间上的乘积来表示，这样使原来的脉冲波列分割成一定数量的脉冲。接收就在于检测出这些脉冲。而二进制信息就被编码成脉冲形式，这些脉冲在时间上的出现不再是周期性的，而取决于所要检测的信号

的改进。作信息载体的波是高频波；这个波由一个要传送的信号来调制振幅，或调制频率。

为了能很好地再现声音和图象，就必须采用频率越来越高、频带越来越宽的技术，这是由于许多原因造成的，首先是“以太”（波段）的拥挤，因而引起利用越来越高的频率，其次就在于抽样定理，即为了能更好地跟得上信息的变化，就必须有越来越高的载频。

这些向着越来越高的频率发展的技术研究，就导致激光器（光频相干振荡器）的发明和利用。由于其发射光束的方向性和所达到的光功率使激光器从一开始就能在民用和军用遥测技术上得到了应用，接着由于激光束的优良的相干性，则使它成为用全息照相术来储存信息所不可缺少的工具。对于数据的完满传输，空气中的透射和对光的吸收起相反的作用。极短的光波是沿直线传播的，对于固定在地面上或卫星上的中继站之间的电视传输必然也是这样，然而在传输中出现干扰时，除了遥测以外，往往难于传输所有其它信息。而当光变成信号的“运载工具”时，就可把微波方面已成熟的导行波技术应用于光波了。

下面我们介绍一个完整的光传输线路，并且对各部分给出那些不断发展着的研究的最新成果（图2）。

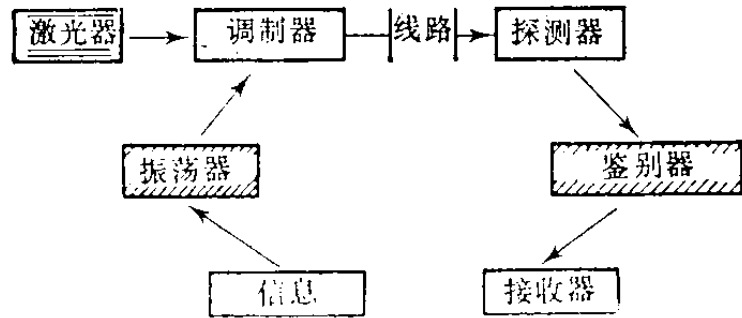


图2 光通信线路的一个例子。激光器发出作为载波的光束。信号或信息控制着调制载波的振荡器。在经过传输线之后，探测器或鉴别器将能在译码后把信息送给接收器

在传输线的输入处总是有一个发信机，理所当然人们要从这个组成部分开始介绍，但是，为了叙述简明起见，我们将会看到，由光波导—光纤或矩形波导来开始则是有好处的。然后，我们再来研究像光源、接收器和耦合器那样的一些组成部分，并将依次加以叙述。

2. 光传播的有关问题

由于把光选来作为信息的运载工具，所以很有必要看一看它为什么在大气中传播要受到扰动的影响。

我们要考虑的影响光在大气中传播的三个主要因素是：分子吸收，液体或固体粒子所引起的吸收和散射，最后还有大气的扰动。

a) 分子吸收

吸收体主要是水蒸汽、二氧化碳气体和臭氧，对以波长为函数的吸收所作的测试表明，特别是在红外波段，存在着六个窗口。这些窗口如下：

窗 口	波 长 (微 米)
1	从1 到1.07
2	从1.18到1.23
3	从1.53到1.70
4	从2.18到2.3
5	从3.5 到4
6	从9 到11

b) 由固体或液体粒子所引起的吸收和衰减

粒子的吸收和散射引起了衰减。我们区分出了 几 种 类 型

的“气溶胶”（*aèrosol*，也就是液体在大气中的浮悬），即

——直径在微米以下的小滴，吸收依 $1/\lambda^2$ 而变化；这就涉及到了雾；

——直径为几十微米的小滴，吸收依 λ 而变化（但很少）；

——5 微米左右的小滴，譬如像城市的雾，这时当 λ 减小时，吸收增大。

此外，还必须把固体粒子包括进这些小水滴中去，于是就有选择性的吸收（作为 λ 的函数）。光密度（就是入射光通量对传送出的光通量之比的对数值）每千米在 2 与 5 之间变化，这相当于每千米 20 到 50 分贝的吸收，这些数值是非常大的（图 3（a）和图 3（b））。

c) 大气的湍流（Turbulence）

空气折射率的随机变化引起光束的移动和光波在幅度及相位上的变化。这种移动就要求必须在光束分布上采用随动系统，同时也要采用相当复杂的调节。为了避免这些困难，在保

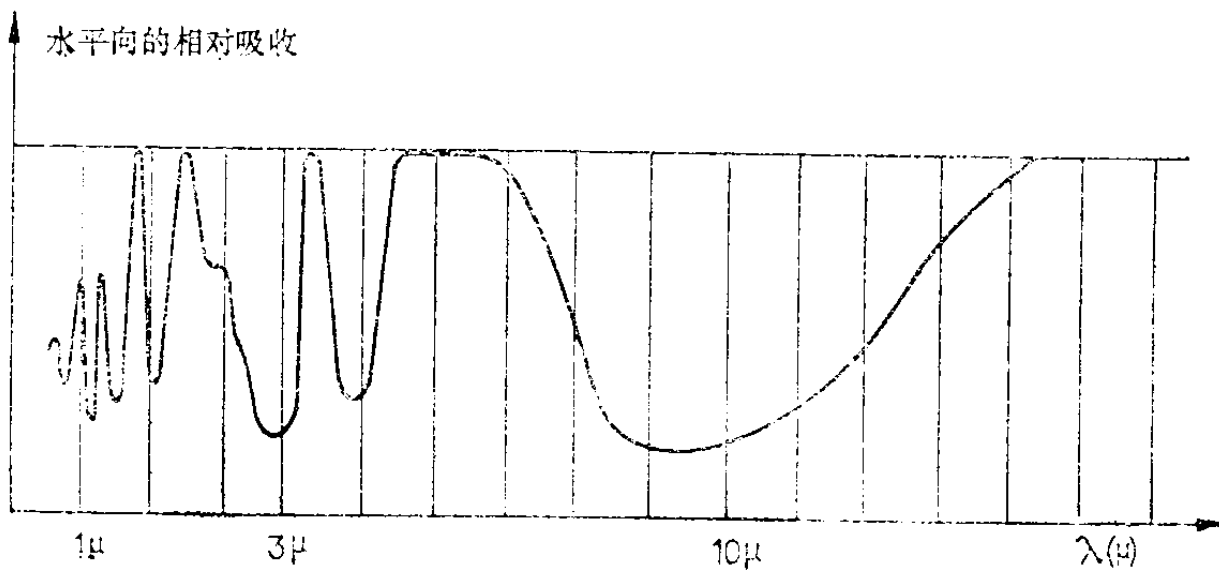


图 3（a） 红外波段内大气的吸收存在着几个窗口，为了改善所谓红外光的传输，特别是为了利用“10μ”处的窗口，进行了一些研究

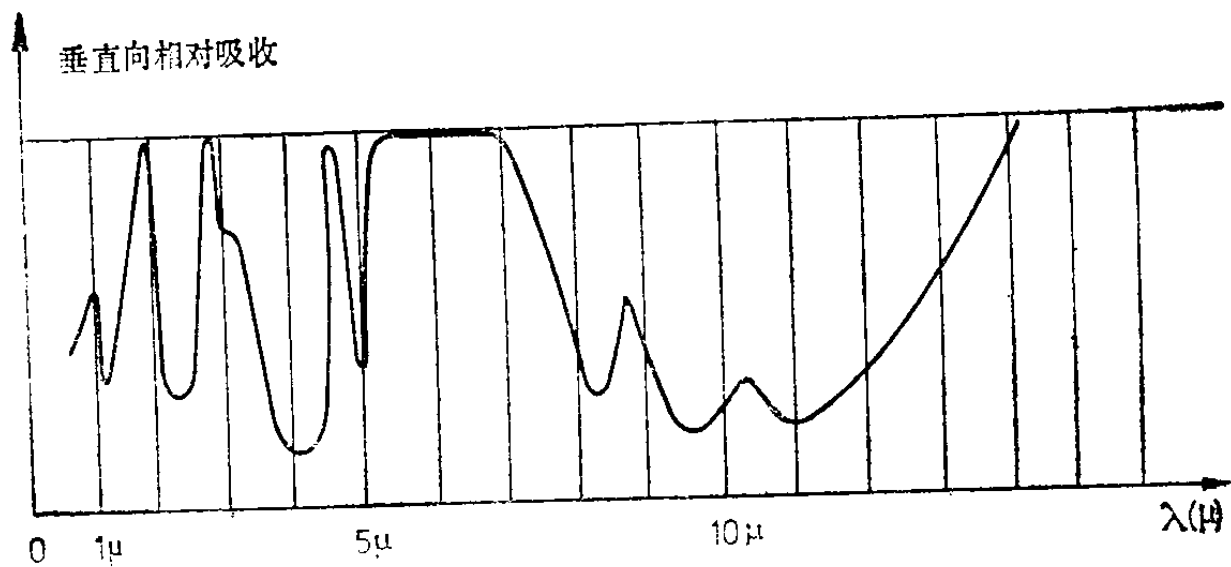


图 3 (b) 另一个方向上的吸收曲线 (吸收也是观察方向的函数)。并标出了 10μ 处窗口的宽度 (在纵坐标上, 吸收是标称化了的)。

持激光束的方向性的前提下, 已经研究出了几种解决办法。

凭借镜子和透镜来导引光线。用透镜组成的波导可能具有约 0.15 分贝/厘米的小衰减, 然而在定位装设和调直方面 则是有问题的。为了提供参考, 我们可以举出以下的一些实验性的连接 (图 4)。

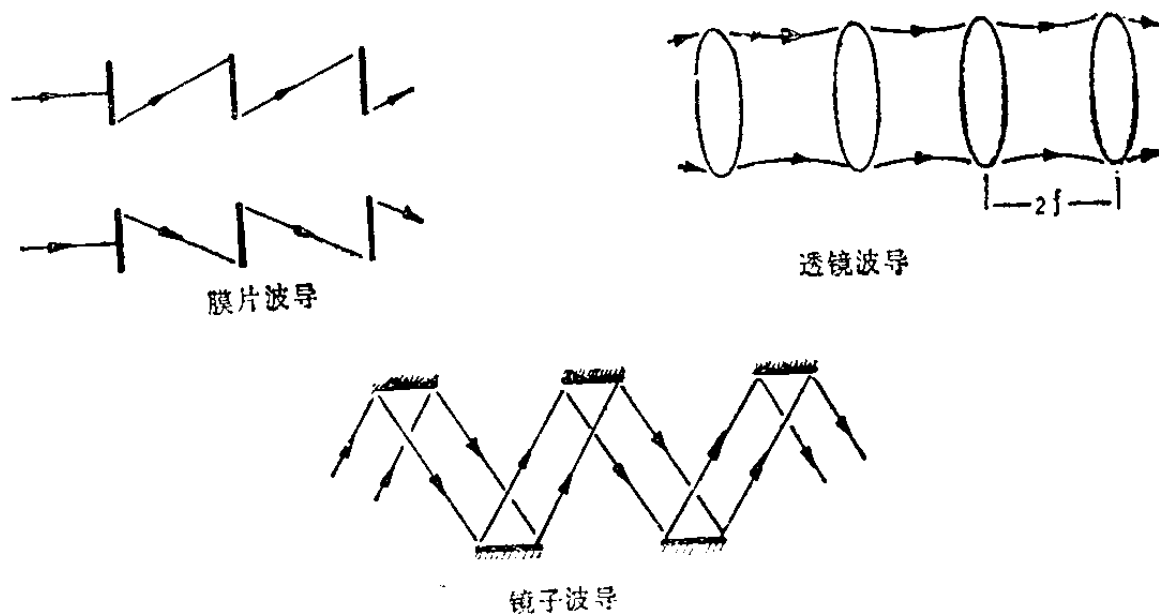


图 4 导引光波的传播试验。膜片波导: 相继的各膜片有意避免了光束的散开。镜子波导可供各种道路的照明; 为了避免光束的散开这些镜子是球面的。透镜波导遵循几何光学的原理, 形成一个光点一系列的影像

现有成就*：

福尔特—芒毛斯公司：

——装在地面上的波导；

——长度 1 千米；

——焦距为 50 米的透镜；

——全套装置的曲率半径为 1 千米；

——衰减为 0.5 分贝/千米；

——装有供抵消热扰动和地面抖动的随动系统。

贝尔系统公司：

——地下光波导；

——800 米；

——透镜的焦距为 70 米；

——透镜间的距离为 140 米；

——衰减为 0.15 分贝/千米。

另外再举出一些气体透镜系统，在这些透镜中，由于气压局部变化所引起的折射率变化能使光束聚焦，然而，折射率的变化梯度不大，这就限制了所提供的路径的曲率（图 5）。类

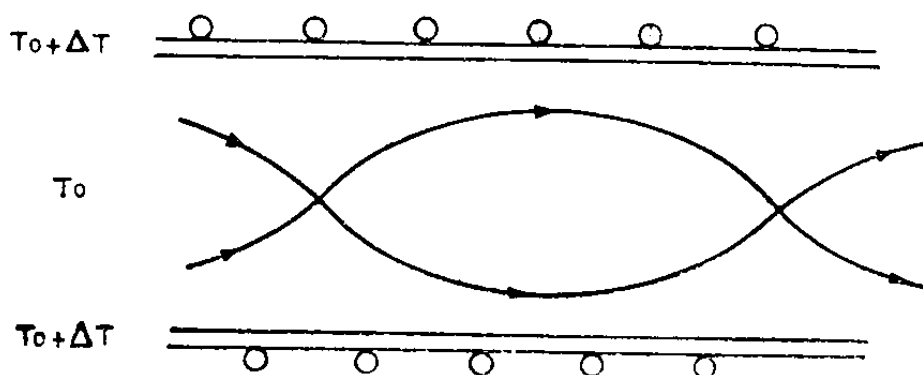


图 5 温度变化引起的折射率变化梯度，这一梯度改变了光线的路径，因而能使光线聚焦

*著者这里的“现有成就”系指七十年代初期的国际水平——译者注。

似于微波波导的光纤和光波导，在用来传输弱光方面似乎是最合适的，而且适应于所有的几何形状。

参 考 文 献

PRATT W.K. — *Lasers communications systems*, J. WILEY, New-York (1969).

MARCUSE D. — *Light transmission optics*, Van Nostrand Rheinhold Company, New York (1972).

第一章 光 纤

1. 工 作 原 理

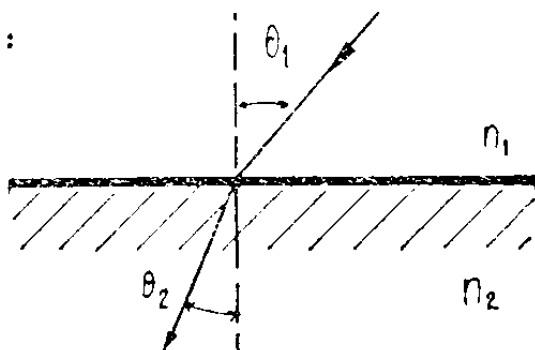
光纤是什么？是一种能传播光波的简单圆波导。

我们来回忆一下，当光波在折射率为 n_1 和 n_2 的两个媒质分界面上穿过时，入射角和折射角之间的关系由媒质的折射率依德斯卡尔特关系*来表示（图 6）：

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

从而

$$\sin i_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin i_1$$



如果 $n_1 < n_2$ 和 $|\sin i_1| < 1$ ，就有 $|\sin i_2| < 1$ 图 6 折射定律。 θ_1 入射角； θ_2 折射角； n_1 和 n_2 ：折射率

但是，如果 $n_1 > n_2$ ，也就是如果光从一个更富折光性的媒质射入折光性较差的媒质（ $n_1 > n_2$ ），当改变 θ_1 时，到某一时刻，这时 $\sin i_1$ 使得 $\sin i_2 > 1$ ，在临界情况下 $\sin i_2 = 1$ ；从而：

$$\sin i_{1l} = \frac{n_2}{n_1}$$

角度 i_{1l} 就叫做临界角（*Angle limite*）。

从这一性质出发，我们就能解释长期以来叫做光喷泉(*fontaine lumineuse*)的这一熟知的现象。一旦“关入”光波导

*译注：通常称为斯涅尔定律（*Snell's law*）

中去的光（水的折射率大于周围媒质的折射率）就将被反射许多次，并在光波导的终端再射出来；在这多次反射的过程中，光线走的是“之字”形曲折路径。如果媒质吸收是微小的，则光线的损耗也很小，我们在这里就不去考虑它，这实际上就发生了所谓“全”反射（图 7）。

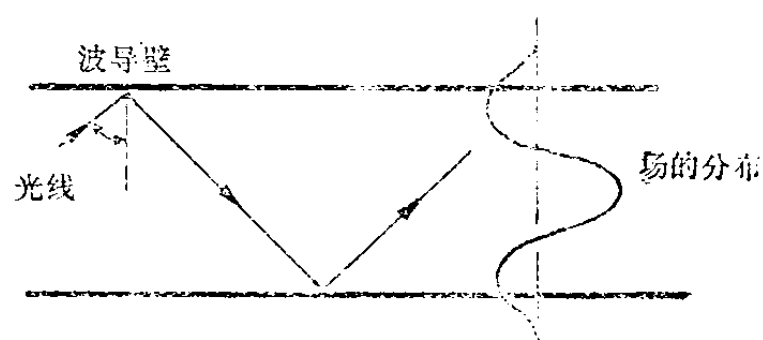


图 7 之字形模型的说明。光线在波导壁上连续反射。麦克斯韦方程给出图的垂直部分上所示的电场的分布

这就是几何光学的一个推理，而光的本质在这里什么也看不到了；这也可能是像激光那样的相干光，或者和普通光源一样的非相干光。事实上，平面的或圆的波导具有和波长相近的尺寸，为了得知在波导中所发生的过程，就必须写出电磁学方程或麦克斯韦方程。

如果我们考虑波导中波的所有可能的传播方向，并假定我们像讨论光喷泉那样对光线进行讨论，那么，我们就会发现实际上可能仅在唯一特别有利的方向上进行传播。对此，我们就说数量上有限和十分确定的这些方向对应于波的“传播模式”。

如果我们注意到波的矢量特性，从而了解光就是一种电磁场的传播，就可能区分出几种模式；横电模式，也就是电场垂直于传播方向的模式；和横磁模式，其磁场与传播方向垂直；当然也存在着混合模式。事实上，当波进入波导时，光波的偏