

- [4] P. K. Bachmann, D. Leers and H. Lydtin, *Diamond and Related Materials*, 1(1991), 1.
- [5] D. E. Patterson, C. J. Chu, B. J. Bai et al., in *Appl. Diamond Films and Related Mat.*, eds. Y. Tzeng et al., (1991), 569.
- [6] J. V. Busch and J. D. Dismukes, *Diamond and Related materials*, 3(1994), 295.
- [7] 李惠琪、吕反修、杨让, *薄膜科学与技术*, No. 3 (1993), 200.
- [8] 钟国仿、吕反修、李惠琪, *薄膜科学与技术*, 7-2(1994), 1.
- [9] H. Hosumi and I. Yoshida, *Diamond Films and Technology*, 1-4 (1992), 247.
- [10] F. X. Lu, C. M. Li, J. J. Wang et al., *Proc. of ICNDST-4*, Kobe, Japan, July 18-22, (1994).
- [11] X. N. Liao, F. X. Lu, J. J. Wang et al., *C. Phys. Lett.*, 11-12(1994), 782.
- [12] M. Malcolm and W. Browne, *New York Times* July 11, (1990).
- [13] Y. Tzeng, *Diamond Films and Technoogy*, 1-1 (1991), 31.
- [14] 吕反修、杨保雄、蒋高松, *北京科技大学学报*, 14-2 (1992), 548.
- [15] F. X. Lu, G. S. Jiang, B. X. Yang et al., *Diamond and Related Materials*, 2(1993), 575.
- [16] R. J. Meilunas, R. P. H. Chang et al., *Appl. Phys. Lett.*, 59-26 (1991), 23.
- [17] 吕反修、王建军、杨保雄等, *高技术通讯*, 10(1992), 1.
- [18] 王建军、吕反修、杨保雄, *高技术通讯*, 7(1993), 17.
- [19] B. R. Stoner and J. T. Glass, *Appl. Phys. Lett.*, 60-6 (1992), 698.
- [20] X. Jiang and C. P. Klages, *Appl. Phys. Lett.*, 62-26 (1993), 3438.
- [21] Russell Seitz, *Proc. Int. Conf. Diamond and DLC Coatings*, Marco Island, Florida, USA, Oct. 15-17, (1989).
- [22] K. Okano, K. Hoshina, M. Iida et al., *Proc. ICNDST-4*, July 18-22, Kobe, Japan.
- [23] *Diamond Deposition: Sciencs & Tcechnology*, 2-12 (1991).

物理学与光纤通信技术

邹柳娟

(华中理工大学物理系, 武汉 430074)

摘要 光纤通信技术, 是物理学、化学、材料科学、计算机控制等多种学科的奇妙结合, 堪称为当代高新技术的结晶。作者用深入浅出的语言, 描述了光纤、光缆的研究、制造、传输特点, 乃至检测光纤各类参数的仪器、仪表的原理等, 以及所贯穿的物理思想和物理知识。

关键词 光纤通信, 光纤, 光纤预制棒, 全反射

光纤通信的出现和发展, 是通信史上的一场革命。它深刻地改变了电信网的面貌, 然而从整体看, 光纤通信的巨大潜力尚未开发, 光纤通信技术仍处于方兴未艾的发展阶段, 各种新技术、新器件和新构思仍在不断涌现。可以设想, 当每个家庭都有一对光纤与电信网相连时, 电信网为用户所能提供的服务将不仅仅是一路电话, 也不仅仅是数据和传真业务, 而是带宽扩大几万倍的巨大信息资源。届时, 宽带可视电话可以使相隔千里的亲人和朋友近在咫尺; 宽带会议电视可以免除很多不必要的旅行出差, 足不出户就可参加各种必须的会议, 乃至国际会议, 仅此一项全世界就可以节约成百上千亿美元的旅行花费; 医生坐在家里就可以观

察几千里外著名大夫的手术过程; 科学家和工程师坐在办公室就可以调用所需的世界各国的数据库和图象库里的资料、数据和录像节目; 学生坐在家里就参加听课、学习、答疑、乃至参加考试; 休息时, 人们可以收看到几十套高质量的节目, 或者随时从公用图象库中调出你所想看的电影和演出的录像节目。

光纤通信的发展将不仅会影响电信网的面貌和社会的进步, 而且将深刻地影响甚至改变人们的工作、思维、甚至生活方式。光纤通信已经成为现代信息社会的最坚实的基础, 并将继续推动社会向更深层次的文明和进步发展。

光纤通信技术, 完全是物理学、化学、材料科学、计算机控制等多种学科的奇妙结合, 堪称

为当代高新科学技术的结晶。

光纤通信传媒的物理基础主要是光缆，光缆的质量性能关键在于光纤。所以，光纤的研究、制造是至关重要的，大体要经过如下的过程：提纯、熔炼、拉丝、着色、套塑、最后才用不同的工艺方式成缆。

要使光纤的几何尺寸、光学特性参数、传输特性参数均符合规定的质量检测要求，关键又在于光纤预制棒（preform）的研制。拉成细丝的光纤的剖面结构是光纤预制棒剖面结构的精确的相似图形。

光纤虽细（直径一般为 $125\mu\text{m}$ ），但传输理论涉及的数学、物理知识相当深广，尤其是光纤预制棒的设计和光纤传输的最基本理论，它与我们经典物理学中光从密媒质到疏媒质的折射、反射的基本理论为根据。

光线折射的定量关系可由如下的折射定律确定：

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1)$$

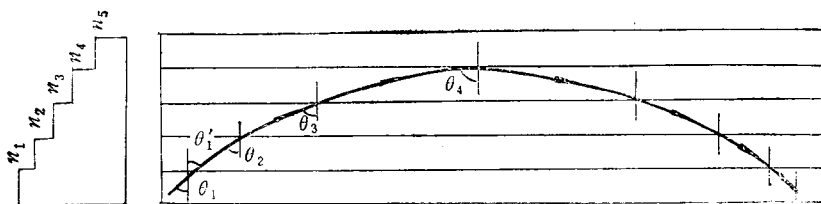


图2 光在多层介质板中的传播

光纤就是利用光的这种全反射特性来导光的。

我们构想一块多层介质板，如图2。

各层折射率自下而上逐渐减小，即为 $n_1 > n_2 > n_3 > n_4 > n_5$ 。由于都是由光密媒质射向光疏媒质，其入射角将会逐渐增大，显然应该有 $\theta_1 < \theta_2 < \theta_3 < \theta_4 \dots$ ，直到在某一界面处入射角大于临界角时，光线将不再产生折射而发生全反射。

如果光线在第1直到第 $N-1$ 层都是受到折射，入射角将不断增大，并使 θ_{N-1} 大于 $N-1$ 与 N 层界面的临界角。根据上面光线的折射和全反射定律，我们有

$$n_1 \sin \theta = n_2 \sin \theta_2 = n_3 \sin \theta_3 \dots$$

当光线由密媒质射向疏媒质时，由(1)式可知，其折射角将比入射角大。如图1中的光线①，如果不断增加入射角 θ_1 ，可使折射角 θ_2 达到 90° ，如图1中的光线②，这时(1)式变为全部返回到光密媒质中。如图1中的光线③，这种现象我们称之为全反射， θ_c 为临界角。

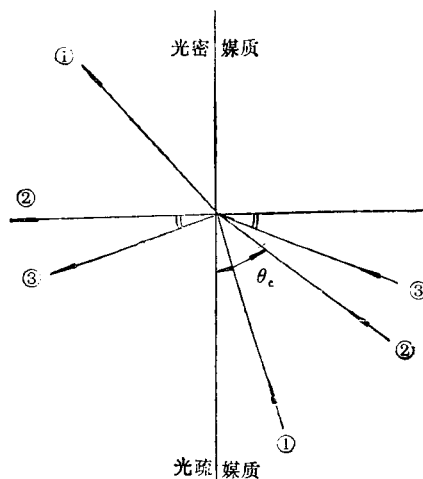


图1 临界角和光线的全反射

$$= n_{N-1} \sin \theta_{N-1} \geq n_N \quad (2)$$

由此不难得出起始入射角 θ_1 所应满足的条件：

$$\theta_1 \geq \arcsin \frac{n_N}{n_1} \quad (3)$$

因此在折射率渐变多层介质板中，要想使光线能够最终以全反射折回，其初始入射角 θ_1 必须满足(3)式。

为了寻求这样的介质板，光纤通信领域的科研工作者展开了紧张而又你追我赶的角逐。在光纤通信发展史上，首先由美国的康宁玻璃公司和美国的贝尔实验室相继研制出由这样的基本思想设计、沉积的光纤预制棒，进而拉成丝，这是初次问世的光纤，当然，衰减比较高。

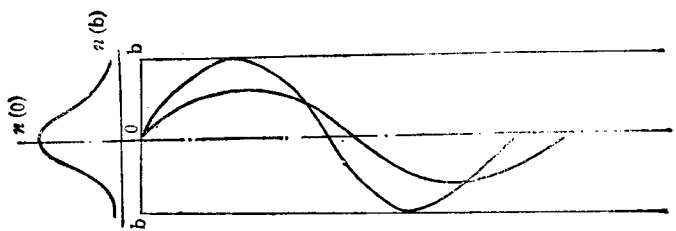


图3 光在渐变型光纤中的传播

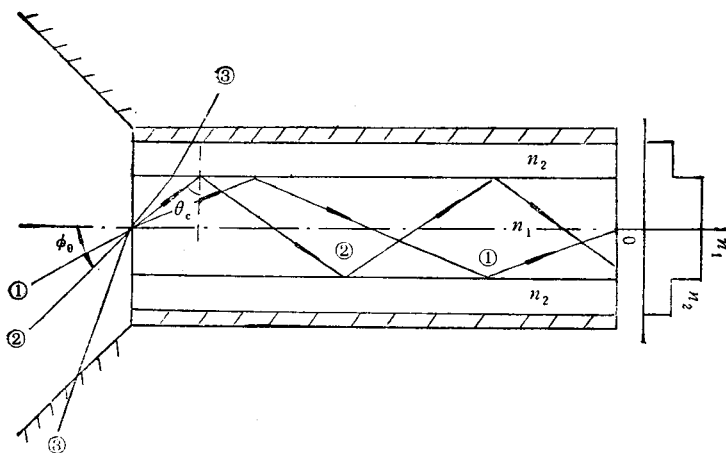


图4 光在阶跃型光纤中的入射和传播

具体实用的传输光纤的实际设计，制棒工艺所用的全套自动化和带计算机控制的设备，均是极其复杂而又昂贵的。

图3和图4分别为光在渐变型光纤和阶跃型光纤中的入射和传播。

在图4中，凡是入射到圆锥角 Φ_0 以内的光线都可满足全反射条件，将被束缚在纤芯中沿轴向传播。在光纤通信领域中， $\sin \Phi_0$ 称为光纤的数值孔径，它表示光纤的集光能力。且有

$$\sin \Phi_0 = n_1 \cos \theta_c = n_1 \sqrt{2\Delta}, \quad (4)$$

式中 $\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1}$ 是光纤的相对折射率差。

还有检测光纤各类参数的仪器、仪表的原理，乃至光纤光缆的整个研究和制造过程，所有的原理，各类的成套设备，无不利用了物理学中的基本原理和基本思想。

搞物理教学的教师往往面临课题难订的困难，专业脱离实际较远，在当前商品经济浪潮的冲击下，更有一种困境之感。但是，只要勇敢地步入高新技术领域，物理学工作者是具有雄厚的潜力的。

超快扫描探针显微术¹⁾

王云才 陈国夫 王贤华

(中国科学院西安光学精密机械研究所,瞬态光学技术国家重点实验室,西安 710068)

摘要 将超短脉冲技术应用于扫描隧道显微镜、原子力显微镜等探测显微镜可以实现一种全新的

1) 1994年12月20日收到初稿,1995年2月27日收到修改稿。