

干涉法测量光导纤维的折射率分布

刘 有 信

(邮电部武汉邮电科学研究院)

提 要

本文用一种测量干涉条纹偏移量的方法测量光导纤维的折射率分布,测量的误差小于1.5%,得出了令人满意的结果。同反射法结果比较,最大相对折射率差 Δ 值的误差小于4%。

一、引 言

显微干涉法早就被用来测量光纤的横向折射率分布^[1],后来虽然作过一些改进,但主要偏重于自动分析^[2]或干涉图片的处理方法^[3],后者的目的在于提高条纹的清晰程度。

本文提出了一种测量干涉图中与等距平行条纹的任一条直线上的强度分布曲线,即可得出干涉条纹偏移量的方法,进而算出所研究的物理量的变化。

二、实验结果及讨论

利用剪切干涉法获得干涉图底片。这种方法使用 Peraval-Interphako 型干涉显微镜^[4,5]将光学纤维切片横放在物镜焦平面上,经过微型 Mach-Zehnder 干涉仪分束,以旋光楔使试样所成的两个像横向地部分分离开来(剪像),分离量应大于光纤芯直径。然后在目镜焦平面上会合并发生干涉,得到的照片如图1所示。这里完整的一小段光纤样品被放在两片薄玻璃片之间,并充以折射率等于光纤包层折射率的匹配液。利用显微镜同时测出匹配液的折射率,也就是包层的折射率,在 $\bar{\lambda}=0.553\mu$ 时,测得 $n_2=1.46092$, $\bar{\lambda}=0.653\mu$ 时, $n_2=1.45628$ 。这里 $\bar{\lambda}$ 是通过滤光片后的中心波长。

图1中沿 Ox 和 Oy 的强度分布曲线和 $I_y(y)$ 分别利用干涉图底片由802型记录式测微光度计测。 $I_x(x)$ 和 $I_y(y)$ 的典型实测曲线如图2(a)和图2(b)所示。再根据干涉图是由一系列等光强线构成,这一基本概念即可得出对应不同 r 所具有的干涉条纹偏移量 $d(r)$ 。即在 $I_x(x)$ 曲线上找出对应于 x (即 r)处的 $I_x(x)$ 值,再在 $I_y(y)$ 曲线上找出 $I_y(y)=I_x(x)$ 时的 y

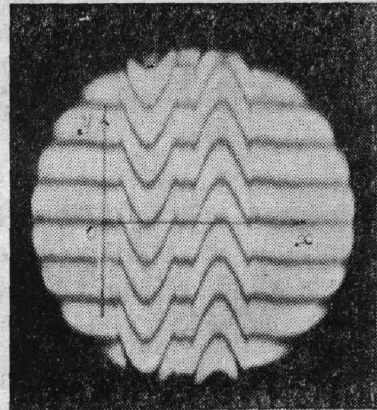


图1 一根光纤的剪切干涉照片
Fig. 1 A shear interferogram photo of an optical fiber

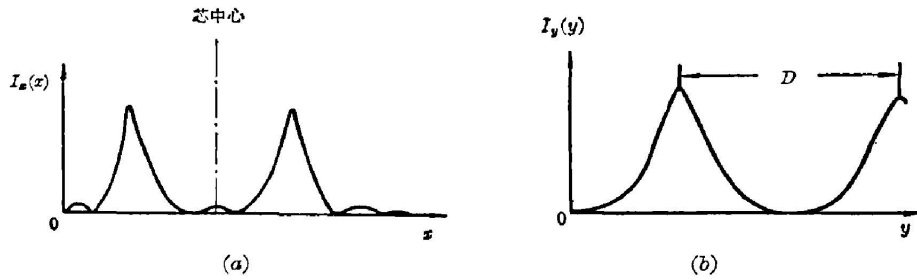


图 2 相对于图 1 照片,光度计自动记录得到的曲线(G20# 样品)

Fig. 2 Curve (of Fig. 1) recorded automatically by microphotometer (G20# sample)

值,则 $d(r) = y$ 。

为了提高测量的精度,避免显微镜放大倍数不准确带来的误差,可在显微镜下获取干涉图照片的同时用剪切法测定光纤的芯半径,用它给 x 轴准确定标。由 $I_x(x)$ 和 $I_y(y)$ 曲线按前述方法定出 $d(r)$, 如图 3 所示。为了评定本方法的重复性,图 3 给出了对同一干涉图中不同位置进行四次测量得到的结果。从图 3 可见除近芯中心和芯包层交界附近极少数点外重复性均较好,偏离平均值都小于 1.5%。

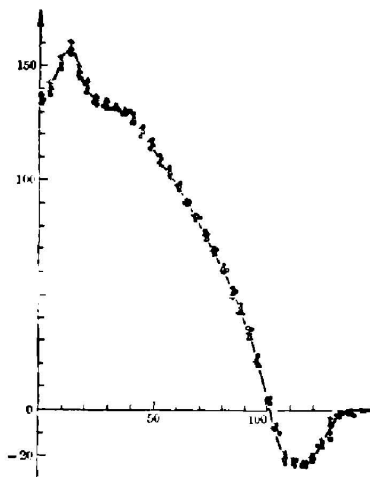


图 3 利用文中介绍的方法测量干涉条纹偏移量 $d(r)$ 重复性

Fig. 3 Repeatability of finding the fringes displacement $d(r)$ in our method

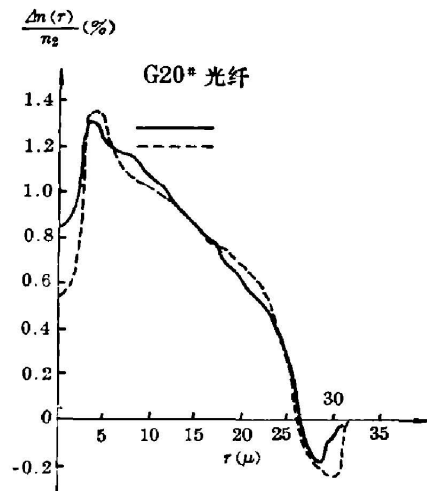


图 4 由两种不同方法测量 $d(r)$ 数据算得的结果

Fig. 4 Calculated results from two different methods of finding $d(r)$

由 $d(r)$ 数据利用 W-91 型电子计算机算出 $\Delta n(r)/n_2$, 计算公式应用文献 [6] 提出的一级近似公式, 模拟计算表明, 所用源程序计算误差一般均小于 1%。图 4 给出了 G20# 光纤的计算结果, 如图 4 中虚线所示, 还同时给出了用通常办法测量 $d(r)$ 数据算出的结果, 即由放大 550 倍的干涉图正片, 按照文献 [7] 所示方法测量 $d(r)$ 数据, 如图 4 中实线所示。由图 4 可知除芯中心和芯包交界处相差较大外一般尚可, Δ 值相差约 4%。其中相差较大的结果可能同这些区域干涉条纹变宽以及下面将谈到的原因有关。这里 Δ 值为最大相对折射率差, $\Delta = (n_{\max} - n_2) / n_{\max}$ 。

图 5 同时给出了 G29# 光纤由反射法(用“M416B 型折射率分布测量仪”,如图 5 中虚线所示。)和本文所用的横向干涉法测得的最终结果。无论从图 4 还是图 5 均发现误差较大,图 5 中 Δ 值误差约为 8%。这可能是由于采用的光源单色性较好(用 $\bar{\lambda}=0.653\mu$, $\tau_{\max}=43.0\%$ 的滤光片),干涉场中光强度变化曲线 $I_y(y)$ 十分接近 $I_y(y)=I_0 \cos^2\left(\frac{y}{D}\pi\right)$ 这一公式^[8]。在干涉图底片上亮条纹区斜率很大,在暗条纹区则斜率极小,另外图 4 和图 5 中, $I_x(x)$ 曲线都是选在经过包层区暗条纹中最暗的地方而测得。由图 2(a) 和图 2(b) 可知,测量 $d(r)$ 时,当 r 处在暗条纹区,对同样的误差 $\Delta I_x(x)$,在图 2(b) 中引起 y 的变化量 Δy 要比非暗条纹区大得多,而图 4 和图 5 两根光纤的芯中心和芯包界附近正好处在暗条纹区(从图 1 可看出),因此导致 $d(r)$ 值误差也要大得多,更何况在这些地方, $I_x(x)$ 值本身就比较小,更容易受各种因素的影响。解决这个问题的办法是:我们采用单色性略差的光源($\bar{\lambda}=0.553\mu$,

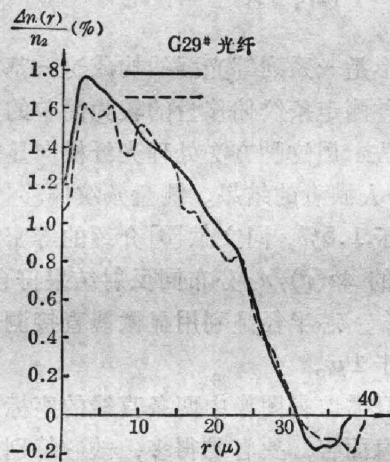


图 5 反射法所得结果同本文结果比较
Fig. 5 Comparison of the results from reflection method with the result of new method

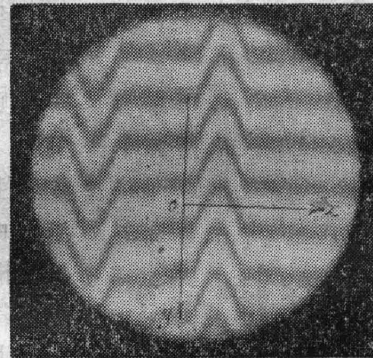


图 6 光源为 $\bar{\lambda}=0.553\mu$ 时 N30# 光纤的横向干涉照片
Fig. 6 The nondestructive traverse interferogram photo of N30# sample ($\bar{\lambda}=0.553\mu$)

$\tau_{\max}=34.0\%$ 的滤光片)获取干涉显微照片,如图 6 所示,可见 $I_y(y)$ 变化较平稳(这一点从非单色光的干涉原理显而易见),由此照片测出 $I_x(x)$ 、 $I_y(y)$ 曲线,如图 7 所示。此外,测量 $I_x(x)$ 时 Ox 轴的选取以避开包层区的最暗处和最亮处为好,如图 6 和图 8 所示。采用这些措施后读取 $d(r)$ 数据,算出的最终结果和反射法结果一并绘于图 8。显然结果大为改善, Δ

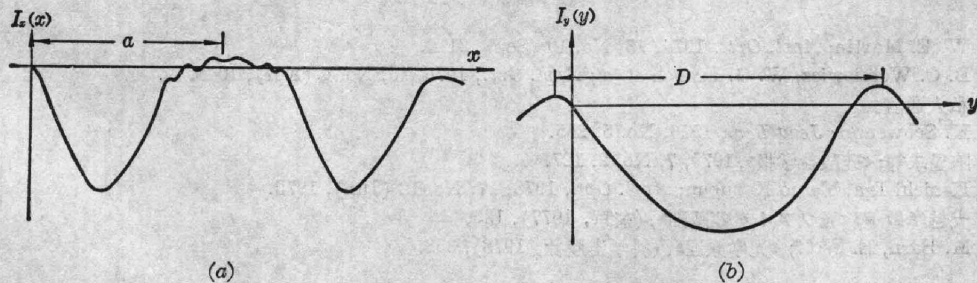


图 7 相对于图 6 照片,光度计自动记录到的曲线(N30# 样品)
Fig. 7 Curve (of Fig. 6) recorded automatically by microphotometer (N30# sample)

值仅差约 1%，曲线各处重合也比较好。

这里必须指出，单色性差， λ 值只能取平均值 $\bar{\lambda}$ ，这就可能给 $\Delta n(r)$ 值带来一定的误差，但是由于 $\Delta\lambda/\bar{\lambda}$ 较小，且引起的只是系统误差，故对 $\Delta n(r)$ 的影响可忽略不计。

上述结果都是采用非破坏性横向干涉法算得的结果，除计算误差外，光纤包层折射率的不均匀将影响最终结果，光纤折射率分布不对称造成的误差也不可忽视，如果利用垂直于轴线的光纤切片样品干涉法，上述影响就不存在，得到的 $\Delta n(r)$ 分布精度将会更高。

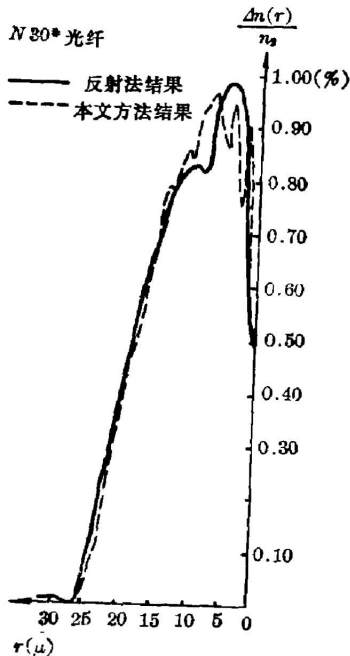


图 8 消除几种不利因素后所得 $\Delta n(r)/n_2$ 同反射法比较

Fig. 8 After the removal of a few disadvantageous causes, comparison of $\Delta n(r)/n_2$ with results of reflection method

四、结 论

由于干涉图形是一系列等光强线构成这一基本概念出发，导出了一种测定条纹偏移量的较为简单的方法——一维测量数据法。用这种方法处理光纤横向显微干涉图负片，得出了令人满意的结果。测量条纹偏移量 $d(r)$ 的重复性误差小于 1.5%，同文献[3]介绍的等密法结果相当。由此算出的 $\Delta n(r)/n_2$ 分布同反射结果符合良好， Δ 值仅相差约 1%。芯半径是利用显微镜直接测出，实验表明其误差小于 1μ 。

由于此法只需取得图像中两条直线的座标信息，较之曲线上的信息而言，要容易得多，故它特别适宜于采用自动处理系统，有利于简化处理步骤和电子学问题。

这种方法具有一般性，并不仅仅限于光纤测量，凡属类似的问题均可应用。

本工作测量部分在激光通信研究所四室进行。实验中得到陈永诗等同志的大力协助，谨致谢意！

参 考 文 献

- [1] W. E. Martin; *Appl. Opt.*, 1974, **13**, No. 19 (Sep), 2112.
- [2] B. C. Wonsiewicz, W. G. French et. al; *Appl. Opt.*, 1976, **15**, No. 4 (Apr), 1048.
- [3] 私人通信。
- [4] K. Schwenzer; *Jena Bev.*, 1976, No. 5, 255.
- [5] 陈显求等;《硅酸盐学报》, 1979, **7**, No. 2, 127.
- [6] Kenichi Iga, Yasuo Kokubun; *Appl. Opt.*, 1978, **17**, No. 12 (Jun), 1972.
- [7] 大越孝敬编;《光ファイバの基礎》, (东京, 1977), 189.
- [8] M. Born, E. Wolf;《光学原理》, (科学出版社, 1978), 338.

A new method for the measurement of interference fringe shift

LIU YOUXIN

(The Wuhan Post and Telecommunications Research Institute)

(Received 28 September 1981)

Abstract

From the basic concept that an interferogram is a contour map in intensity, we present a new simpler method, for measuring the shifts of interference fringes. In this method, as long as a intensity profile is taken on any straight line parallel to the equidistant parallel fringes in the interferogram (or in the interferogram film), the shift of the interference fringe at all points to this straight line can be found and the variance of the physical quantity of interest is calculated thereafter. It allows the measuring equipments and the automatic analysis to be simplified, and data can be taken at any point in the interferogram disregarding the position of fringes. Our experiments show that the repeatability error is less than 1.5%. Satisfactory results have been obtained when this method is applied to the measurement of refractive-index profiles of optical fibers with the nondestructive traverse interferometry. As compared with the results from reflection method, the error of the maximum relative refractive-index difference is about 1% and the whole profile curves accord well with each other.

~~~~~  
(上接第 236 页)

的注意。光学双稳态器件研究正向超小型、超高速、低功耗和室温运转的方向发展。其中阿里桑那大学光学科学中心的 H. M. Gibbs 教授的研究组居于领先地位,他们在会上发表了七篇文章,报导了他们在室温 GaAs 光学双稳性,薄膜干涉滤光器光学双稳性以及光学双稳性的横向效应、自聚焦效应、过冲效应、串音效应和复现脉动效应等的研究成果。

(3) 包括光学设计、光学加工、光学材料、光学仪器和光学镀膜在内的工程光学领域,薄膜光学文章占 1/3,说明薄膜光学在近代光学的发展中占重要地位。现在已能用镀膜的方法来制造供远红外使用的滤光器和供 X 光使用的多层膜。

(4) 激光器的研究重点已从发现新型激光器转向提高常用激光器的质量水平,即研究如何使现有激光器实现可调谐、单模、稳频、高效率、小型化和短脉冲输出。例如可调谐染料激光器、环形激光器以及准分子激光器的研究比较深入,这些激光器对非线性光学、激光光谱学、激光化学和激光生物学的研究是重要的工具。而高功率激光器对核聚变、军事应用和工业应用有重要意义。在探索新型激光器方面,已开始向远紫外和 X 射线激光器进军。

(5) 大气光学和光学遥感方面的文章有 48 篇,也是较多的一类,它反映了当前美国航空、宇航、天文、气象等方面对光学的特殊需要。例如有七篇文章专门研究蓝-绿色激光在通过湍流、云层和水传播的问题。

(6) 光纤通讯是目前应用近代光学技术的一个最有前途的实际领域。在美国已解决了耗损最小的长

(下转第 281 页)