

文章编号: 0258-7025(2004)02-0181-04

GeO₂ 介质膜红外空芯传能光纤模式特性的实验研究

杨义, 侯峙云, 周桂耀, 侯蓝田*

(燕山大学红外光纤与传感研究所, 河北 秦皇岛 066004)

摘要 通过实验讨论了 GeO₂ 介质膜空芯光纤在直线和弯曲状态下的输出能量模式分布及其中存在的模式偏移现象, 并探讨了介质膜空芯传能光纤的输出能量模式特性优于常规空芯传能光纤的原因。

关键词 光电子学; 空芯光纤; 模式; 偏移

中图分类号 TN 012 文献标识码 A

Experimental Study on Mode Character in GeO₂ Dielectric Hollow Waveguides

YANG Yi, HOU Zhi-yun, ZHOU Gui-yao, HOU Lan-tian

(Institute of IR Fiber and Sensor, Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei 066004, China)

Abstract The output energy distribution of modes in straight and bend hollow waveguide with GeO₂ dielectric layer and its deviation are discussed in this paper by experimental way. The reason why the output energy distribution of modes in dielectric hollow waveguide is better than normal hollow waveguide is discussed too.

Key words optoelectronics; hollow waveguide; mode; deviation

1 引言

在当今医疗卫生、工业加工和工艺雕刻等应用领域, 多选用空芯传能光纤作为传输大功率激光能的媒质^[1,2]。在使用过程中, 空芯光纤中模式能量特性是衡量其性能的重要指标。如果空芯光纤在受到外力作用发生弯曲变形时, 其中的模式能量分布能尽可能地保持原来的状态, 则对于光纤的实际使用有着重要意义。

以往对空芯光纤传输特性的研究大多数仅限于对光纤中能量传输损耗的计算。在这些计算中, 大多数都着眼于求解模式之间能量耦合率和单一模式径向上损耗的具体数值。但是在这些计算中, 大都忽略了空芯光纤中各模式在弯曲时其相对轴心分布的变化。本文以我所研制的 GeO₂ 介质膜红外空芯传能光纤(结构如图 1 所示)为例^[3,4], 对空芯光纤中模式特性进行相应研究。

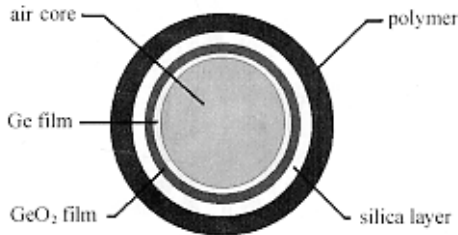


图 1 GeO₂ 介质膜空芯传能光纤的结构

Fig. 1 Structure GeO₂ hollow waveguide

2 实验装置

实验中选择了一条长为 2 m, 内径为 0.87 mm 并用外敷聚合物进行加强的 GeO₂ 介质膜红外空芯传能光纤。激光光源是一台稳态功率为 30 W 的 CO₂ 混合模激光器, 其输出光发散角为 4 mrad。为了保持光纤水平, 在实验过程中分别在距离光纤输入端 0 cm, 40 cm, 80 cm, 120 cm, 160 cm, 200 cm 处

收稿日期 2003-05-09; 收到修改稿日期 2003-08-04

作者简介 杨义(1978—)男, 四川成都人, 燕山大学在读博士研究生, 现从事光电子学及光纤通讯领域的研究。

* 通信联系人, E-mail: hlantian@heinfo.net

使用紧固件,使由于机械特性产生的误差降低到 1 mm 以下。在激光器的输出端与透镜之间使用一带有半透膜的反射镜,令部分光能在其表面反射。反射光能分布由一光敏式能量计进行逐点扫描式测量。经半透膜反射镜透射的光能经一焦距为 130

mm 的 Zn_2Se 透镜向光纤中耦合。输出光能分布则用一光敏式能量计进行逐点扫描式测量。为了保证这一系统各部分位置的准确性,使用一台 He-Ne 激光器进行标示。

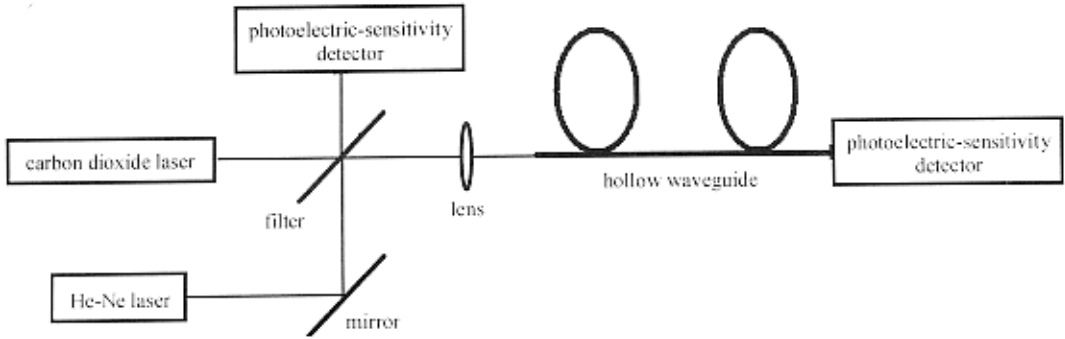


图 2 实验装置

Fig. 2 Structure of the experiment system

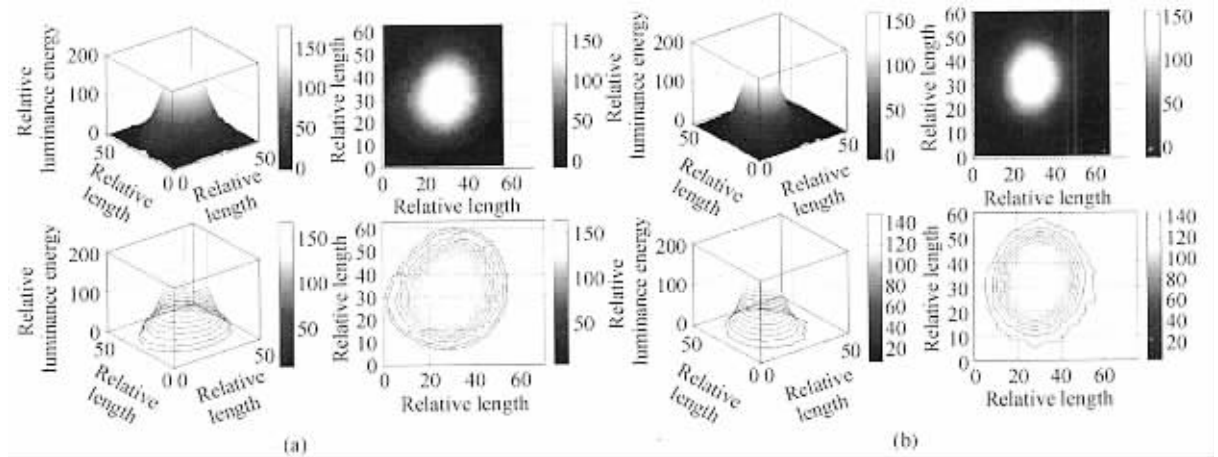


图 3 激光器输出能量分布 (a) 和空芯光纤直线状态下输出能量分布 (b)

Fig. 3 Energy output distribution from a laser (a) and straight GeO_2 dielectric hollow waveguides (b)

3 实验结果及讨论

为了能更好地对空芯光纤的模式特性进行说明,引入了热度能量图的概念。使用该图可以清楚地对实验中测得的能量分布进行形象化的表示。对于三维热度能量图,作图时每一个 $x-y$ 平面上的坐标点代表一个经由能量计测得点的能量值,而 z 轴坐标则代表该点的点能量相对值。对于二维热度能量图,其 $x-y$ 平面上各点的能量相对值可用灰度给出。

先测量了激光器输出端能量分布情况,结果如图 3(a) 所示,由图可看出该结果服从高斯分布。在同一情况下测得直线状态下光纤输出端能量分布如图 3(b) 所示。扫描取得的结果已经预先通过 B 样

条进行了平滑。

通过对两图的比较,可以发现该空芯光纤较好地保持了输入端低阶模式的能量分布状态。空芯光纤输出端能量分布近似为 HE_{11} 模。根据空芯光纤传输理论^[5-7], HE_{11} 模为空芯光纤中传输损耗最小的模式,所以输入模式中 HE_{11} 模成分大部分被保留。而输入模式中其他高阶成分由于损耗较大(对于损耗仅次于 HE_{11} 模的 HE_{12} 模,由 Miyagi 损耗公式可以得到的损耗理论值也为 HE_{11} 模损耗值的 2 倍以上)相应地被部分过滤掉。但是相对于普通全反射(ATR)空芯光纤和金属空芯光纤,由于空芯光纤内敷介质膜,其中的高阶模式被过滤的部分相应较小,所以其输出能量分布能相对较好地保持输入端

的模式能量分布特性。

为了测得空芯光纤在弯曲时的模式特性 ,分别使光纤以曲率半径为 60 cm 40 cm 30 cm 和 10 cm 弯曲。为了保证空芯光纤为均匀弯曲 ,在实验中使用带紧固件的水平平面对空芯光纤进行固定 ,并分别在 6 个方向上测量由空芯光纤弯曲形成的环的直径 ,以保

证测得的空芯光纤弯曲时曲率半径误差小于 1 mm ,而近似为同一弯曲半径。为了避免直线状态下光纤的模式传输特性影响弯曲光纤的测量结果 ,直接使光纤在弯曲结束处输出能量。这是以往实验中没有注意到的。为了能更好地观察光纤中的模式变化 ,使光纤输入处于不良耦合 ,以利激起高次模。

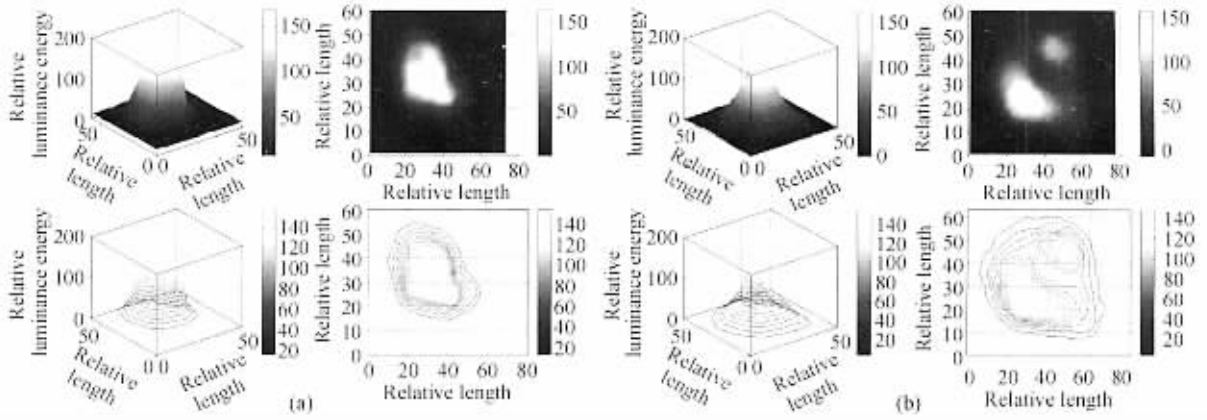


图 4 GeO₂ 介质膜空芯光纤以曲率半径 60 cm (a)和 40 cm (b)弯曲状态下的输出能量分布

Fig. 4 Energy distribution in a bent GeO₂ dielectric hollow waveguides with 60 cm (a) and 40 cm (b) radius

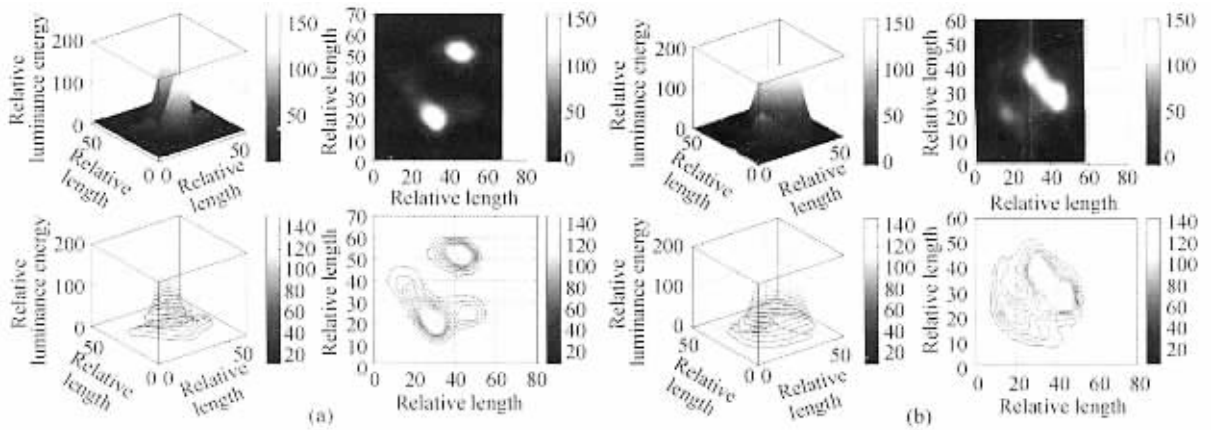


图 5 GeO₂ 介质膜空芯光纤以曲率半径 30 cm (a)和 10 cm (b)弯曲状态下的输出能量分布

Fig. 5 Energy distribution in a bent GeO₂ dielectric hollow waveguides with 30 cm (a) and 10 cm (b) radius

实验结果如图 4 ,图 5 所示。图 4 (a)是空芯光纤以曲率半径 60 cm 弯曲一周时的输出能量分布。由图可看出在输出模式中高阶模所占成分有明显增加 ,这些高阶模式与原有的低阶模式叠加 ,破坏了原有的宏观模式能量分布特性。这是由于低阶模中部分能量在空芯光纤弯曲时耦合到了原有高阶模中 ,同时在弯曲处也激起了部分高阶模式。当光纤以更小的曲率半径弯曲时 ,各模式能量分布发生了移动。当空芯光纤弯曲的曲率半径为 40 cm 时 ,如图 4 (b) 输出模式能量分布中低阶模所占成分向远离

弯曲中心点 (即光纤横断面上靠外一边)处移动 ,而高阶模则反之。当曲率半径进一步减小时这一变化更加明显 ,如图 5 (a) ,这时不仅低阶模与高阶模距离拉大 ,而且低阶模一侧的能量在不断减小 ,而高阶模一侧的能量则有相对增强。当空芯光纤以其极限曲率半径弯曲时 (该空芯光纤机械性能允许的最小弯曲半径为 10 cm) ,如图 5 (b) ,大部分能量分布于空芯光纤横断面的内侧高阶模区 ,而低阶模区能量更少。

当空芯光纤弯曲时 ,由于在弯曲处光场叠加使

模式特性发生畸变。如果引入阶跃光纤中模式群的概念,把径向相位常数相同的一组模式看作一个模式群,这一模式群由于有相同的径向相位常数,所以其径向归一化相位常数也相同。根据径向相位常数的概念,光能在沿光纤径向进行传播时,各模式依照径向相位常数进行波动。但观察发现当光纤弯曲的曲率半径加大时,主传导模和占主导地位的次传导模的这一径向波动变得很不明显,同时各模式之间的群时延相对值也相对减小。在以往的理论中曾经认为各传导模的中心点依旧位于光纤的中心。但是如果这个假设成立,各传导模就会有很大的径向模式能量分布变化。所以由这一实验结果推断,各模式的分布中心点必发生偏移。

根据电磁场模式理论,各模式对应的分布相当于对场能进行 Bessel 级数分解,而对级数的分解不一定要建立在标准环坐标系的基础上。如果按照具有同样径向相位常数变化的一组模式,等同于一类模式群,则相当于对模式群进行重新定义。在重新设定环坐标系中心点的基础上,应用数值方法进行 Bessel 分解即可以在远离弯曲中心点处得到低阶模,而高阶模则反之。

总之,对于介质膜空芯光纤,由于其内敷介质膜对存在于各模式中的能量有较少的衰减,对不同偏振光的反射差异小,而低阶模向高阶模的能量耦合也同样较少,这相应抑制了高阶模的产生和模式偏移,所以其模式特性相对稳定。

4 结 论

对于 GeO_2 介质膜红外空芯传能光纤,由于内

敷了介质膜,所以其输入模式特性可以得到较好的保持。当空芯光纤均匀弯曲时,在弯曲处会激起高阶模式,而且原来存在于低阶模式中的能量会向高阶模式耦合,使空芯光纤输出特性恶化。当弯曲超过一定程度后,空芯光纤中低阶模和高阶模会发生偏移,进一步恶化输出能量分布。对于介质膜空芯光纤,由于其介质膜对水平偏振光和垂直偏振光的反射差异较小,并且其中各模式间耦合较小,所以引起偏振态恶化的程度可以很小。

参 考 文 献

- 1 J. A. Harrington. A review of IR transmitting hollow waveguides [J]. *Fiber and Integrated Optics* ,2000 ,**19** 211 ~ 217
- 2 R. K. Nubling , J. A. Harrington. Hollow-waveguide delivery systems for high-power , industrial CO_2 lasers [J]. *Appl. Opt.* , 1996 ,**34**(3) 372 ~ 380
- 3 Lantian Hou , Guiyao Zhou , Shumin Han *et al.* . Transmitting high power double-layer dielectric hollow optical fiber [C]. *SPIE* ,2001 , **4271** 222 ~ 228
- 4 Hou Lantian , Sun Yingzhi , Zhao Bin. Study on the mode losses and bending losses of hollow-core fiber of GeO_2 and SiO_2 bases for transmitting CO_2 laser energy [J]. *Chinese J. Lasers* ,1996 ,**B5** (1) 27 ~ 32
- 5 E. A. J. Marcatili , R. A. Schmeltzer. Hollow metallic and dielectric waveguides for long distance optical transmission and lasers [J]. *The Bell System Technical Journal* ,1964 ,1782 ~ 1809
- 6 Shin-ichi Abe , M. Miyagi. Transmission and attenuation of the dominant mode in uniformly bent circular hollow waveguides for the infrared : Scalar analysis [J]. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* ,1991 ,**39**(2) 230 ~ 238
- 7 Shin-ichi Abe , M. Miyagi. Transmission and attenuation of vector modes in uniformly bent circular hollow waveguides for the infrared [J]. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* , 1992 ,**40**(5) 903 ~ 909