

用于切除和气化人体肝癌的 大功率光纤光缆*

叶碧青 马忠林

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文研究了高功率激光束通过国产的低损耗光纤的耦合-传输特性。已研制成由透镜-光纤-透镜组成的光纤光缆。通过2米长的石英光纤光缆已能输出200W的激光光束,其耦合-传输效率达90%。到目前为止,已成功地使用光纤光缆进行了六例肝癌手术、一例肝血管瘤手术和一例口腔癌手术。

1980年春,我们利用200W高功率连续Nd:YAG激光器,对四例病人的肝癌进行了世界上首次的激光切除和气化^[1]。手术期间,出血极少,伤口愈合良好,结果满意。当时,激光

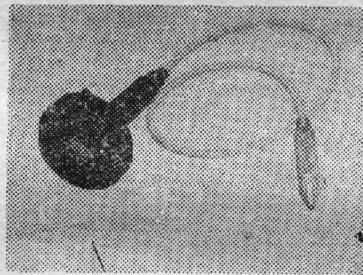


图1 带有聚焦装置的光纤光缆
Fig. 1 Fiber-optic cable with focusing devices



图2 使用可弯曲的激光手术刀进行肝癌手术
Fig. 2 Flexible laser scalpel for operating the liver cancer



图3 光纤光缆传输的激光气化肝癌结节
Fig. 3 Laser beam transmitted through cable for vaporizing the cancer nodule

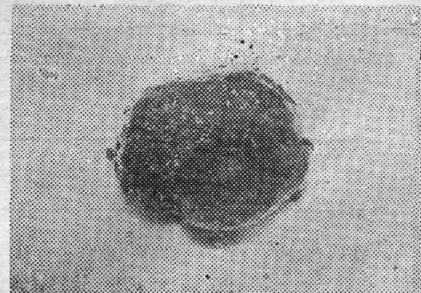


图4 巨大癌肿的切除标本(60×60×70 mm³)
Fig. 4 Resected specimen of a malignant tumor (60×60×70 mm³)

收稿日期: 1984年6月14日

* 本文为1984年美国召开的CLEO'84会议录用。

束是通过由 4 块 45° 全反射镜片组成的金属导光关节引入病人肝区的。这种导光关节比较笨重和不灵活,因而激光手术的范围受到一定的限制,特别是不能对肝左外叶的肝癌进行切除和气化手术。最近我们研制成功能传输 200W 激光功率的光纤光缆,既轻便又灵活,完全代替了光关节(图 1)。到目前为止,已成功地使用光纤光缆进行了六例肝癌手术、一例肝血管瘤手术和一例口腔癌手术(图 2、3、4)。

本文报道了关于 $1.06\ \mu\text{m}$ 高功率连续 Nd:YAG 激光通过国产圆柱形低损耗石英玻璃光纤的耦合-传输特性的实验研究。实验装置如图 5 所示。光源是一台振荡模体积最佳匹配和热效应部分补偿的高功率连续 Nd:YAG 串接激光器,激光器的输出功率在 $0\sim 250\ \text{W}$ 的范围内连续可调,光束发散角小于 $10\ \text{mrad}$ ^[2]。输出镜处的光斑直径为 $5\ \text{mm}$ 。外包硅橡胶的石英玻璃纤维由化学气相沉积法制成,它们的外芯和内芯直径分别为 $650\sim 700\ \mu\text{m}$ 和 $250\sim 400\ \mu\text{m}$,包层直径为 $1\ \text{mm}$,光纤的数值孔径为 0.17。为了将激光束有效地注入光纤,光学聚焦装置的数值孔径必须小于光纤的数值孔径,焦斑直径必须小于光纤的内芯直径。在我们的实验系统中,光学聚焦系统必须选择得能够获得会聚角为 $20^\circ\sim 12^\circ$ 、焦斑直径为 $180\sim 300\ \mu\text{m}$ 的注入激光束,从而实现最佳的光学耦合。会聚透镜系统放置在离输出镜 10 cm 处时,其合适的焦距列于表 1。对后反射镜处的激光功率相对值和光纤发射的功率同时进行测量(图 5),由硅光电池电流-激光器输出功率定标曲线可以得出注入激光功率,于是精确地确定光耦合-传输效率。

除了焦距为 $30\ \text{mm}$ 的单透镜装置外,我们还利用望远镜组合聚焦装置来改变注入激光

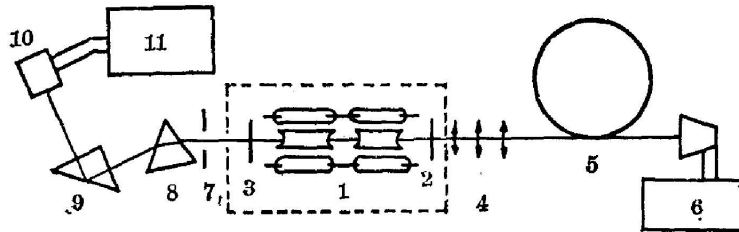


图 5 研究高功率连续激光通过光纤的耦合-传输特性的装置

Fig. 5 Arrangement for investigating the coupling-transmission characteristics of high power CW laser beam through an optical fiber

1—laser; 2—output mirror; 3—rear mirror; 4—focuser; 5—fiber; 6—power meter; 7—optical stop; 8—dispersing prism; 9—right-angle prism; 10—silicon cell; 11—recorder

表 1

会聚透镜的焦距 (mm)	数 值 孔 径	焦 斑 直 径 (μm)
18	0.17	180
20	0.15	200
22	0.14	220
25	0.12	250
28	0.11	280
30	0.10	300

束的会聚角和光斑直径,以便研究不同光学聚焦装置对光纤耦合效率的影响。实验中使用了两种望远镜组合聚焦装置,它们的焦斑直径和数值孔径为 $232\ \mu\text{m}$ 、 $179\ \mu\text{m}$ 和 0.129 、 0.168 ,相当于焦距为 23 和 $18\ \text{mm}$ 的单透镜。利用剪切干涉仪来调节望远镜的共焦位置^[3]。由表 1 可知,这些聚焦装置均与内芯直径为 $400\ \mu\text{m}$ 的光纤匹配。因而对于长 $1\ \text{m}$,内芯直径 $400\ \mu\text{m}$ 的光纤,激光功率由以上三种聚焦装置注入时,得到的耦合-传输效率依赖于注入激光功率的实验结果很相近。图 6 给出了激光功率用两种聚焦装置注入时,长 $1.5\ \text{m}$ 、内芯直径 $250\ \mu\text{m}$ 的光纤的耦合-传输效率随注入激光功率变化的实验曲线。单透镜系统远比望远镜系统容易调节,但是使用单透镜系统时焦斑尺寸大于光纤的内芯直径,所以随着注入激光功率的增大,其耦合-传输效率变得比使用望远镜聚焦装置时的小。

光纤长度对耦合-传输效率的影响的实验表明, $1\sim 4\ \text{m}$ 长的光纤的耦合-传输效率主要取决于耦合技术,而与光纤长度几乎无关。为了提高耦合性能,我们采用非球面透镜作聚焦透镜,并采用光学抛光代替直接切割来加工芯径为 $650\sim 700\ \mu\text{m}$ 的粗光纤的端面,使光纤表面平整如镜(图 7)。

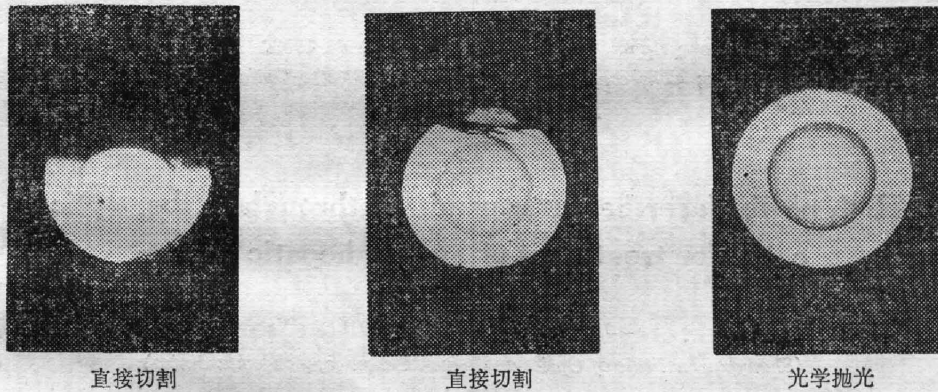


图 7 芯径 $700\ \mu\text{m}$ 的光纤端面

Fig. 7 End faces of the optical fiber with $700\ \mu\text{m}$ core diameter

在上述实验的基础上,我们研制成由透镜-光纤-透镜组成的光纤光缆。为了防止空气中尘埃附着在光纤端面,提高由极高功率密度激光束注入的光纤光缆端面的抗损伤能力,光纤端面在无尘室中用透镜密封。光缆外径为 $8\ \text{cm}$ 左右,长 $2\ \text{m}$ 、内芯直径 $380\ \mu\text{m}$ 的光纤光缆的耦合-传输效率随光缆发射功率变化的实验曲线示于图 8。光缆发射的最大功率为 $194\ \text{W}$,整体效率达 90% 。通过这根光纤光缆,也已成功地实现了大约 $7\ \text{kW}$ 的脉冲激光束的传输。1983 年 5 月美国通用电器公司的 Georgalas 和 Jones 在美国召开的 CLEO'83 国际会议上所作的报告中指出,通过一根长 $2\ \text{m}$ 、折射率阶跃分布的多模石英光纤可以传输由

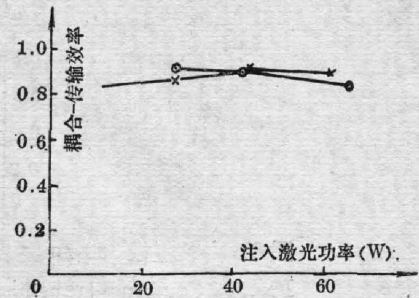


图 6 内芯直径 $250\ \mu\text{m}$ 的光纤的耦合-传输效率与注入激光功率的依赖关系。激光功率用两种聚焦装置注入
Fig. 6 Coupling-transmission efficiency versus injected laser power for the optical fiber with $250\ \mu\text{m}$ internal core diameter. The laser power is injected by two focusing devices

○—single lens ($f_c=30\ \text{mm}$) ×—telescopic combined focuser ($M=2.8$, $f=50\ \text{mm}$)

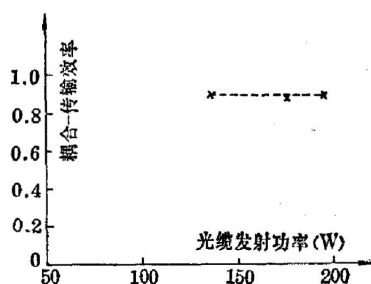


图8 内芯直径 $380\ \mu\text{m}$ 的光纤光缆的耦合-传输效率与光缆发射功率的依赖关系
Fig. 8 Coupling-transmission efficiency versus fiber emitted power for the fiber optic cable with $380\ \mu\text{m}$ internal core diameter

Nd:YAG 激光器发射的平均功率 200 W、峰值功率 10 kW 的激光脉冲, 材料加工的实验表明, 这样的激光束能够成功地切割金属^[4]。因此, 我们利用国产的石英光纤制成的传导激光的光纤光缆不仅可以在医学上用作手术刀和内窥镜型的激光治疗仪的导光系统, 而且还为其在诸如激光焊接、半导体退火、三维雕刻等工业和科研上的应用开辟了广阔的前景。

该光纤光缆的机械设计由本所孙保定、杨良民同志承担, 作者对他们的工作深表感谢。

参 考 文 献

- [1] 余业勤等;《科学通报》, 1981, **26**, No. 13 (Jul), 826.
- [2] 叶碧青, 马忠林, 凌君达;《物理学报》, 1979, **28**, No. 1 (Jan), 15;
叶碧青, 马忠林;《光学学报》, 1982, **2**, No. 5 (Sep), 425;
Ye Biqing; *Laser and Applications, Proceedings of the International Conference and School*, (Bucharest, 1982), Part 1, 143.
- [3] M. E. Riley, M. A. Gusinow; *Appl. Opt.*, 1977, **16**, No. 10 (Oct), 1753.
- [4] G. Georgalas, M. G. Jones; *The conference on Lasers and Electro-Optics*, (Baltimore, Maryland, May 1983), THU 14-1.

High power laser beam transmitted through a fiber optic cable for treatment of human hepatic cancer

YE BIQING AND MA ZHONGLIN

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 14 June 1984)

Abstract

The coupling-transmission characteristics of high power laser beam through a low-loss optical fiber made in China are investigated. The fiber optic cable composed of lens-fiber-lens is developed. 200 watt output power and 90% coupling-transmission efficiency are obtained by using the quartz fiber cable with 2m length. Up to now the fiber optic cable is successfully applied to the treatment of six cases of hepatic cancer, one case of hepatic blood vessel tumour and one case of oral cavity cancer.