

# 双包层光纤的侧面泵浦耦合技术

## A. 多模光纤熔锥侧面泵浦耦合方式

多模光纤熔融拉锥定向耦合是将多根裸光纤和去掉外包层的双包层光纤缠绕在一起，在高温火焰中加热使之熔化，同时在光纤两端拉伸光纤，使光纤熔融区成为锥形过渡段，能够将泵浦光由多模光纤由双包层光纤侧面导入内包层，从而实现定向侧面耦合泵浦。

目前，国内外用于通讯方面光纤无源器件——光纤定向耦合器主要用于光分路或者合路连接器，采用较为成熟的熔锥法生产，工艺较简单，制作周期短，适于实现微机控制的半自动化生产。但是，这种用于通讯的单模光纤定向耦合器是将一路或一路以上输入光信号按一定比例要求分配到两路或多路输出的光信号中去。其原理决定其只能进行对输入信号光功率分配，因此输出的信号光功率必定小于输入最大信号的光功率，因而无法用于实现光功率的扩展。由于在双包层光纤侧面耦合泵浦技术中，在锥形区耦合段需要将多模泵浦光纤的包层去除露出纤芯，同时双包层的外包层也要去除露出内包层，并且要使之能够融合在一起，因此其生产工艺较为复杂，虽然已有相关专利可供查询参考，但是最为重要的关键过程未见报导。参考文献[1]介绍了一种双包层熔锥侧面耦合器的生产工艺，从中也可以看出，其生产过程与目前的单模光纤耦合器有很大不同。国外已有一些公司能够生产多模光纤功率定向耦合器，例如总部位于德国的 IPG 和美国的 OFS，他们已将此项技术用于高功率的光纤激光器以及 Raman 光纤放大器等领域，图 1 所示为 OFS 的多模光纤熔融拉锥定向耦合器原理图。

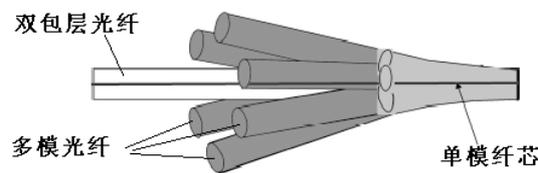


图 1 OFS 的多模光纤熔融拉锥定向耦合器

OFS 提供的典型数据如下表：

表 1 OFS 熔锥耦合器典型参数

多模输入光纤参数	
数值孔径	0.16
纤芯直径	105 $\mu\text{m}$
包层直径	125 $\mu\text{m}$
涂敷直径	250 $\mu\text{m}$
输出光纤参数	
数值孔径	0.45
包层直径	125 $\mu\text{m}$ 或 200 $\mu\text{m}$
涂敷直径	250 $\mu\text{m}$ 或 300 $\mu\text{m}$

从表中可以看出多模泵浦光纤的数值孔径和尺寸均比双包层光纤内包层小。同时对于两种光纤的材料也有一定要求,要求多模泵浦光纤纤芯折射率和双包层光纤内包层折射率接近。熔锥侧面耦合器耦合效率可以做到高于 85%。

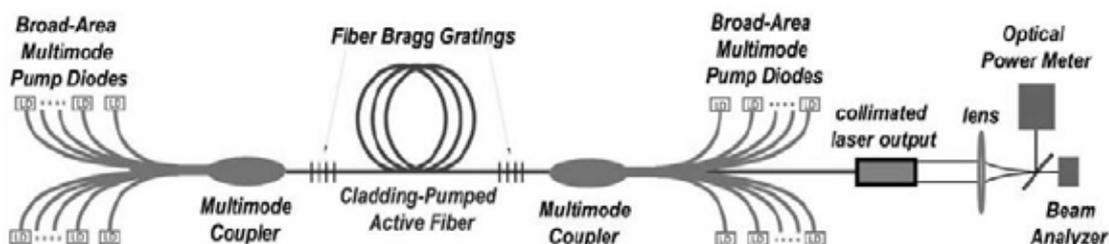


图 2 采用熔锥侧面耦合泵浦技术的高功率光纤激光器

图 2 为IPG公司利用其多模熔锥侧面耦合技术研制的高功率光纤激光器。输出为功率高达 135W基模,  $M^2$ 因子为 1.05, 由于采用光纤光栅结构从而实现全光纤化的光纤激光器。

### B. V 槽侧面泵浦耦合

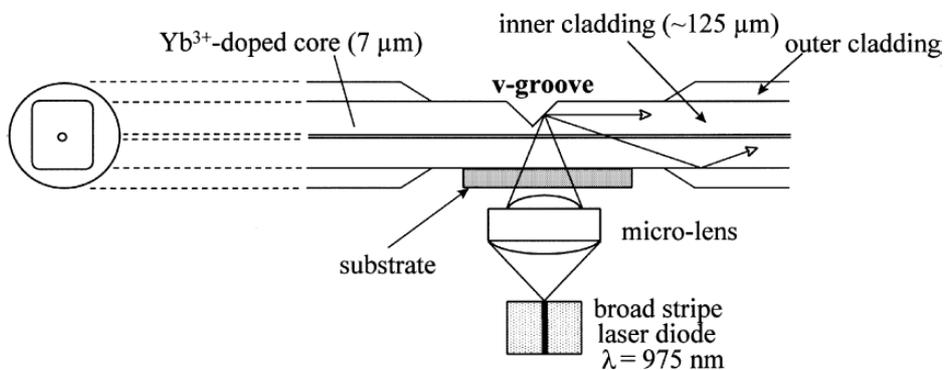


图 3 V 槽刻蚀定向耦合泵浦

图 3 中是 V 槽侧面耦合泵浦结构示意图。该技术先将双包层光纤外包层去除一小段, 然后

在裸露的内包层刻蚀出一个 V 槽，槽的一个斜面用作反射面，也可将两个面都用于反射。泵浦光由半导体激光器经微透镜耦合，使泵浦光在 V 槽的侧面汇聚，经过侧面反射后改变方向进入双包层光纤内包层，从而沿着光纤的轴向传输。

为了提高耦合效率，V 槽侧面的面型要求能够对泵浦光全反，此外还需在泵浦光入射的内包层一侧增加一层衬底，衬底材料的折射率应该于光纤内包层折射率相近，并且可以加镀增透膜。

利用该侧面耦合泵浦技术的光线激光放大器可以得到数瓦的激光输出。参考文献[7]报导的耦合效率为 76%。

该侧面泵浦耦合方式原理简单，但是由于利用了微透镜准直，LD 泵浦源、微透镜以及双包层光纤的对于相对位置对于耦合效率的影响较大。同时，由于 V 槽嵌入内包层，因此对于内包层内传输的泵浦光有较大损耗，不利于多点注入式泵浦功率的扩展。

### C. 嵌入反射镜式泵浦耦合

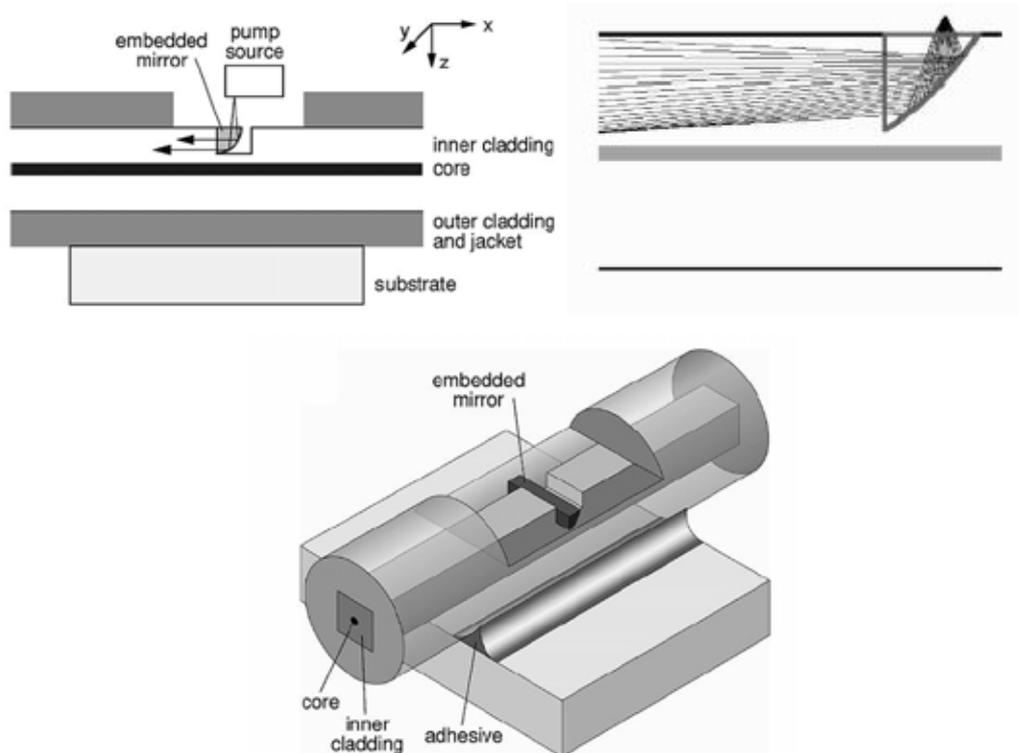


图 4 嵌入反射镜式泵浦耦合

嵌入透镜式泵浦耦合方式是在 V 槽刻蚀方式上的改进，其原理示意图如图 4 所示。

首先将双包层光纤的外包层去除一小部分，然后在内包层上刻蚀出一个小槽，槽的深度足够放入用来反射泵浦光的嵌入微反射镜，但是距纤芯还有一定距离，以保证不破坏纤芯。嵌入的微反射镜的反射面可以是平面或是根据优化设计的曲面，为了得到高的耦合效率，其反射面事先镀上了高反率的膜层，入射面镀了对泵浦光的增透膜。该技术中采用了光学胶用以将嵌入微反射镜的出射面和光纤内包层粘接固定，同时光学胶还作为折射率匹配介质用来降低界面的反射损耗。由图可以看出，LD 泵浦源应当与嵌入微反射镜足够近，以保证具有较大发散角的泵浦光能够全部照射到微反射镜的反射面上。

利用此方式获得了 5.2W（波长 1064nm）和 2.6W（波长 1550nm）的光纤激光输出，泵浦光侧面耦合效率最大为 80%。

和 V 槽侧面耦合泵浦技术一样，嵌入反射镜式泵浦耦合技术对于内包层内泵浦光的传输也有较大损耗，同样不利于多点耦合注入泵浦功率的扩展。

#### D．角度磨抛侧面泵浦耦合

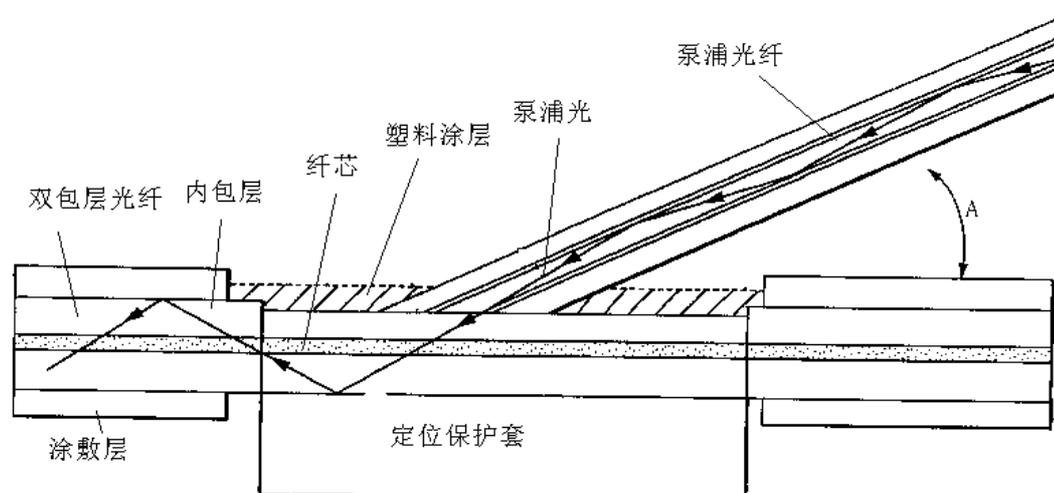


图 5 光纤角度磨抛侧面泵浦耦合示意图

图 5 为光纤角度磨抛侧面泵浦耦合结构示意图。其基本原理是在双包层光纤去一小段，剥去涂敷层和外包层，将内包层沿纵向进行磨抛，得到小段用以耦合泵浦光的平面（对于内包层形状为矩形、D 型、六角形等双包层光纤，内包层已有直线边，如果边长足够，可以不必磨抛双包层光纤）。然后将端面按一定角度磨抛好的泵浦光纤的纤芯相对该平面紧密贴和并固定好两纤的相对位置。泵浦光

即可由泵浦光纤侧面耦合进入双包层光纤的内包层。

实际上,由于泵浦光纤按一定角度磨抛好的端面并不能完全和双包层光纤内包层紧贴,因此还需要利用光学胶将其空隙填充。一方面光学胶能够将泵浦光纤端面和内包层侧面固定好,另一方面又作为折射率匹配介质将泵浦光有效导入内包层中。由于采用了光学胶,因此不必对内包层纵向进行磨抛而得到平面,直接利用光学胶也可将泵浦光由内包层的弯曲侧面导入。通常该侧面耦合泵浦技术要求泵浦光纤端面的磨抛角较大(约80度),对于光纤端面磨抛工艺提出了很高的要求。

利用该侧面泵浦耦合方式获得了高达90%的耦合效率,但是获得的光纤激光输出功率还未见有高于1W的报导。可能是由于在高泵浦功率下,光学胶难以承受其功率密度而导致挥发或分解所致。

与光纤角度磨抛侧面耦合泵浦技术相类似的是微棱镜来进行侧面耦合,但是微棱镜宽度不能大于内包层的直径,因此给微棱镜的加工带来了技术上的困难。实验得到光纤激光输出也仅仅只是毫瓦量级。

#### 参考文献

1. D.J. Digiovanni et al, Method for producing fused fiber bundles, U.S.Patent, 5935288, Aug. 10, 1999