

# 新一代全波光纤

查健江

(江苏法尔胜光子公司, 江苏 江阴 214434)

摘要: 本文介绍的全波光纤的特点、发展和产品标准。

关键词: 全波光纤, 衰减, 水峰

Abstract: This paper describes the features, development and product specifications.

Key Words: All-wave fiber, attenuation, water peak

主要研究内容: 国内外发展情况, 达到的技术水平, 解决的技术难点, 自主知识产权情况

## 一、全波光纤的发展情况

随着我国信息技术的飞速发展, 作为信息主要载体的光纤的需求量也越来越大。在过去几年里, 国内光纤用量的年增长率达到 15%~20%。G.652 单模光纤的技术也得到了进步, 特别是打开了“第 5 窗口”, 拓展了单模光纤的工作波长范围, 从 1260nm 到 1625nm 波长都可以使用, 即全波光纤, 也称为 G.652C 和 G.652D。下表是各种单模光纤的分类。包括了 G.652、G.653 和 G.655。

表 1 单模光纤分类[7]

单模光纤分类		
IEC 分类编号	GB/T 9771 中的名称	ITU-T 建议编号
B1.1	非色散位移单模光纤	G.652A, G.652B
B1.2	截止波长位移单模光纤	G.654
B1.3	波长段扩展的非色散位移单模光纤	G.652C, G.652D
B2	色散位移单模光纤	G.653
B4	非零色散位移单模光纤	G.655

全波光纤 (All-Wave Fiber) 也称作低水峰光纤 (LWPF) 或零水峰光纤 (ZWPF), 是目前最先进的城域网用非色散位移光纤, 结构上和普通 G.652 单模光纤无异。1998 年美国朗讯 (现在 OFS) 公司首先推出的这种新型单模光纤。它是采用一种新的生产制造技术, 尽可能地消除 OH 离子 1383nm 附近处的“水吸收峰”, 使光纤损耗完全由玻璃的本征损耗决定 (如图 1), 在 1280~1625nm 的全部波长范围内都可以用于光通信。

2000 年 9 月, 在世界电信标准大会 (WTSA) 上, ITU-T 建议将其放在 G.652 光纤中, 称作 **G.652C 光纤**, 并纳入 G.652 - 2000 版本中。IEC 60793-2 也将该种光纤纳入其单模光纤的产品范围, 称为 B1.3 类光纤。2003 年 1 月, ITU 又在 G.652 系列中增加了另一种低水峰光纤 G.652D。

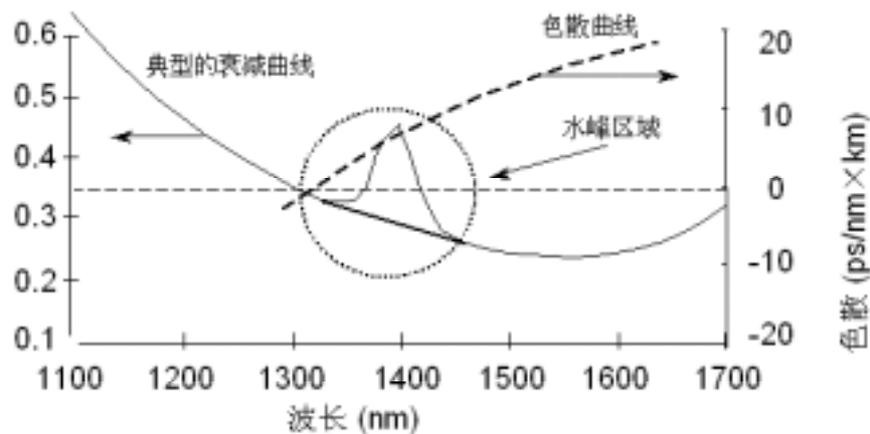


图 1 全波光纤的衰减曲线和色散曲线

## 二 . G652 A/B/C/D 光纤的产品技术指标<sup>[1][3]</sup>

表 2 G652 A/B/C/D 光纤的产品技术指标

光纤参数		G652A	G652B	G652C	G652D
模场直径 $d$ , $\mu\text{m}$		$(8.6-9.5) \pm 0.7$	$(8.6-9.5) \pm 0.7$	$(8.6-9.5) \pm 0.7$	$(8.6-9.5) \pm 0.7$
包层直径 $D$ , $\mu\text{m}$		$125 \pm 1$	$125 \pm 1$	$125 \pm 1$	$125 \pm 1$
芯/包同心度偏差, $\mu\text{m}$		0.8	0.8	0.8	0.8
包层不圆度 %		2	2	2	2
光缆截止波长 $c$ , nm		1260	1260	1260	1260
筛选应力 $S$ , Gpa		0.69	0.69	0.69	0.69
宏弯损耗 $L_{\text{macro}}$ , dB (30mm 半径, 100 圈)		0.50(1550)	0.50(1625)	0.50(1625)	0.50(1550) 0.50(1625)
最小零色散波长 $\lambda_{\text{min}}$ , nm		1300	1300	1300	1300
最大零色散波长 $\lambda_{\text{max}}$ , nm		1324	1324	1324	1324
零色散波长最大斜率 $S_{\text{max}}$ , $\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{Km})$		0.093	0.093	0.093	0.093
未成缆光纤 PMD 系数, $\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$		见注 1			
<b>光缆属性</b>					
衰减系数 $\alpha$ , dB/km	1310nm	0.5	0.4	0.4	0.4
	$1383 \pm 3\text{nm}$ a			1310 nm 值	1310 nm 值
	1550nm	0.4	0.35	0.3	0.3
	1625nm		0.4	0.4	0.4
	1310nm-1625nm			0.4	0.4
PMD 系数	光缆段数	20	20	20	20
	概率 $Q$ , %	0.01	0.01	0.01	0.01
	PMD 系数链路设计最大值 $\text{PMD}_Q$ , $\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$	0.5	0.2	0.5	0.2
a. 该波长区域能扩展到 1260nm, 1310nm 上的瑞利散射引起 0.07Db/km 的损耗增加, 这种情况下光缆的截止波长应不超过 1250。					

### 三．全波光纤的优势

全波光纤的出现使多种光通信业务有了更大的灵活性。由于有很宽的带宽可供通信之用，我们就可将全波光纤的波带划分成不同通信业务段而分别使用。可以预见，未来中小城市城域网的建设，将会大量采用这种全波光纤。人类追求高速、宽带通信网络的欲望是永无止境的，在目前带宽需求成指数增长的情况下，全波光纤正越来越受到业界的关注，它的诸多优点已被通信业界广泛接受。<sup>[2]</sup>

- 1) 可用波长范围增加 100nm，使光纤可以从 1260nm 到 1625nm 的完整传输波段，全部可用波长范围从大约 200nm 增加到 300nm，可复用的波长数大大增加；
- 2) 由于上述波长范围内，光纤的色散仅为 1550nm 波长区的一半，因而，容易实现高比特率长距离传输。例如在 1400nm 波长附近，10Gbps 速率的信号可以传输 200 公里而无需色散补偿。
- 3) 可以分配不同的业务给最适合这种业务的波长传输，改进网络管理。例如可以在 1310nm 波长区传输模拟图像信号，在 1350 ~ 1450 波长区传输高速信号（高达 10Gbps），在 1450nm 以上波长区传输其他信号。
- 4) 可用波长范围大大扩展后，允许使用波长间隔较宽、波长精度和稳定度要求较低的光源、合波器、分波器和其它元件，使元器件特别是无源器件的成本大幅度下降，这就降低了整个系统的成本。例如，通过增加波长间隔，网络可以使用较便宜的无制冷直接调制激光器，避免了昂贵的外调制激光器；对于薄膜滤波器而言，波长间隔从 100GHz 增加到 200GHz 后，滤波器成本可以降低 50%，波长间隔进一步增加到 400GHz，滤波器成本降低 70% 左右。

### 四．全波光纤的国内外发展情况

从 2001 年下半年开始，光通信产业一路下滑，作为信息载体的光纤也没有躲过这次劫难。光纤价格从每公里 100 美元下降到 15 美元。世界范围内，仅有中国、日本、韩国、美国等市场还有增长。世界各大光纤巨头都将目光瞄准了中国市场，使得本来竞争激烈得中国市场变得更加水深火热。美国康宁、法国阿尔卡特、日本藤仓、日本住友、日本古河、韩国大韩电信、韩国三星等企业，不是大量向中国国内倾销低价光纤，就是在国内建厂拉丝。到 2003 年末，国内实际光纤产量已经接近 3500 万公里，而实际光纤预制棒得产量（国内只有长飞、法尔胜、富通具有自制单模预制棒的能力）但只有不到 800 万公里。这么少的制棒能力是无法和国外大企业进行竞争的。

2003 年 5 月 7 日长飞光纤光缆有限公司和江苏法尔胜光子有限公司代表国内非色散位移单模光纤产业正式提交的反倾销调查申请，请求对原产于美国、日本和韩国的进口非色散位移单模光纤进行反倾销调查。经过历时 1 年的调查取证，2004 年 6 月 16 日，商务部给出了反倾销初裁结果，进口的美国，韩国和日本等国的 G.652 单模光纤都将额外增加数目不等的反倾销税。但 6 月 23 日，中国又将反倾销调查再延长 6 个月。

虽然面临着诸多的不利于因素，光纤生产厂家克服重重困难，不断提升技术水平，改进产品质量，全波光纤的研究和生产得到了迅速发展。各家相继推出了自己的低水峰光纤或无水峰光纤。如美国朗讯、康宁；法国阿尔卡特公司；日本藤仓公司、住友公司；韩国大韩公司、三星公司；我国的长飞公司和法尔胜光子公司等等，法尔胜光子公司的 G 652 C 单模光纤已经批量推向市场。

表 3 是江苏法尔胜光子公司（FPC）的全波光纤的性能参数一览表：

类别	项 目	单 位	特性	
			典型值	最大值
传 输 性	1310nm 衰减	dB/km	0.32	0.35
	1550nm 衰减	dB/km	0.19	0.22

	1383nm 衰减	dB/km	0.28	0.31
	衰减点不连续性	dB	0.05	
	衰减波长特性	dB/km	0.05	
	衰减不均匀性	dB	0.05	
	零色散波长范围	nm	1300~1324	
	零色散斜率	ps/(nm <sup>2</sup> . km)	0.093	
	1288-1339nm 色散系数	ps/(nm. km)	3.5	
	1271-1360nm 色散系数	ps/(nm. km)	5.3	
	1550nm 色散系数	ps/(nm. km)	18	
	偏振模色散 (PMD)	ps/ $\sqrt{\text{km}}$	0.3	
	截止波长 ( $\lambda_c$ )	nm	1260	
	宏弯损耗 ( 1550nm, 1625nm )	dB	37.5 半径松绕 100 圈 , 0.5	
尺寸参数	1310nm 模场直径	$\mu\text{m}$	9.2 ± 0.5	
	包层直径	$\mu\text{m}$	125 ± 1	
	芯/包层同心度误差	$\mu\text{m}$	0.8	
	包层不圆度	%	2	
	涂覆层直径 ( 未着色 )	$\mu\text{m}$	243 ± 7	
	包层/涂覆层同心度误差	$\mu\text{m}$	12	
机械性能	筛选应变	%	1.0	
	抗拉强度	10m 长度最低强度 Weibull 概率水平 : 2.76GPa ( 15% ) 3.45 GPa ( 50% )		
	光纤动态疲劳参数 $n_d$	/	20	
	光纤翘曲半径	m	4	
	光纤涂层剥离力	N	2~8	
环境性能	温度特性 ( - 60~ + 85 )		在 1310nm 和 1550nm 波长允许附加衰减 0.05dB/km	
	浸水性能 ( 23 ± 2 , 30 天 )			
	湿热性能 ( 85 ± 2 , 85%以上相对湿度, 30 天 )			
	热老化性能 ( 85 ± 2 , 30 天 )			

从上表中可以看到，江苏法尔胜光子公司的全波光纤在 1310nm 和 1550nm 的实际衰减比常规 G.652.B 要低很多，在 1385nm 附近衰减为 0.28dB/km 左右，基本消除了 OH 根在此波长的吸收峰；其传输性能、几何参数、机械性能等各个方面性能都大大的满足 ITU-T 建议将其放在 G.652C 光纤标准，全波光纤的推出全面提升了公司的技术水平和 G.652 光纤的市场竞争能力。

## 五．新一代全波光纤的技术水平比较

表 4 全波光纤的比较数据

		Corning 美国康宁 SMF-28e	Alcatel 法国阿尔卡特 E-SMF	Fujikura 日本藤仓 FutureGuide <sup>T</sup> M-LWP <sup>*</sup>	Sumitomo 日本住友 PureBand	FPC 无水峰 光纤	Samsung 韩国三星 WidePass	YOFC 中国长飞 FullBand
衰减	单位	最大值	最大值	最大值	最大值	最大值	最大值	最大值
1310 nm	dB/km	0.33~0.35	0.34~0.35	0.35	0.33	0.35	0.36	0.36
1383 nm	dB/km			0.31	0.29	0.31		
1385 nm ± 3 nm 氢老化	dB/km	0.31~0.35	0.32~0.35		0.30	0.34	0.34	0.34
1550 nm	dB/km	0.19~0.20	0.20~0.22	0.20	0.19	0.22	0.22	0.22
1625 nm	dB/km	0.20~0.23	0.22~0.25		0.20	0.24	0.24	0.24
1450 nm	dB/km		0.26					
1310 nm 波长范围的衰减要求 (1285-1330nm)	dB/km	0.03	0.03					
1550 nm 波长范围的衰减要求 (1525-1575nm)	dB/km	0.02	0.02					
制作方法		OVD	APVD	VAD	VAD		PCVD	PCVD
所达到 ITU-U 标准		G652C/D	G652C/D	G652C	G652C/D	G652C	G652C/D	G652C/D
公布时间		2003.3	2001.11	2002	2002.1	2004.4	2003.10	2003.10

## 五．各种制作全波光纤的方法比较

表 5 各种工艺制作全波光纤的方法

制作方法	VAD+SOOT(套管)	OVD+SOOT	MCVD+SOOT	PCVD + 套管
专利限制	没有	US6477305	没有 (除美国国内)	法国
衰减	1	3	2	2
水峰控制	1	2	3	3
MFD 变化控制	2	1	2	2
色散	3	2	1	1

1、2、3 分别表示各种工艺制作的光纤参数控制的容易程度，1 代表较容易，2 代表一般，3 代表较难。各种方法制作全波光纤的方法比较下来：

- 1) VAD 方法生产的无水峰光纤，在衰减和水峰上具有优势，1385nm 衰减水平最低可以达到 0.27 dB/km,1550nm 衰减达到 0.187 dB/km 左右。
- 2) OVD 方法生产的无水峰光纤，在 MFD 的控制上要比 VAD 和 MCVD 法制作的要好。
- 3) MCVD 方法生产的无水峰光纤在色散控制上要比 OVD 和 VAD 法生产的要好。
- 4) PCVD 方法和 MCVD 方法生产的无水峰光纤水平相当。

下面简单介绍一下各种工艺生产全波光纤的过程。

### 5.1 VAD 制作无水峰光纤

VAD 制作全波光纤的过程如下[6]：

- 1) VAD 法制作芯棒 (内包层 D/芯层直径 $<7.5$ )
- 2) 芯棒在氯气气氛中脱水 (1200 )
- 3) 芯棒在氦气气氛中烧结 (1500 )
- 4) 延伸芯棒 (氢氧焰为热源)
- 5) 等离子火焰蚀洗除去 OH<sup>-</sup> 污染层
- 6) 在芯棒外面套低 OH<sup>-</sup> 含量的套管
- 7) 光纤拉丝

各工序简单介绍如下

- 1) 用 VAD 工序制作芯棒 (如图 2)。

在旋转的芯棒顶部用火焰水解法沉积芯层和内包层，制成疏松体。内包层直径 D/芯层直径 d 的比值略小于 7.5。由于 VAD 制芯工艺是成本较高的工艺，沉积量和  $(D/d)^2$  成正比。D/d 越小，对外套管的要求越高。因为 D/d 值小，一部分光能会在内包层和套管中进行传输，各种杂质包括 OH<sup>-</sup> 离子就会增加传输损耗。由于 OH<sup>-</sup> 离子在很容易在热处理 (尤其是拉丝过程中) 从外包层运动到芯层，因此工艺对外套管的含 OH<sup>-</sup> 离子的浓度要求就相当严格。商业化生产的 D/d 比值一般在 2.0 ~ 7.5 之间。

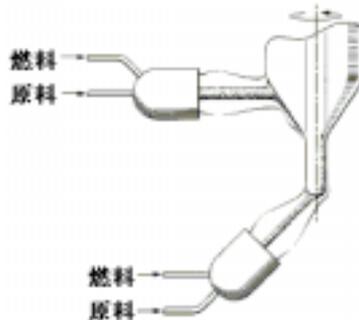


图 2 VAD 制作芯棒示意图

## 2) 芯棒在氯气气氛中脱水

沉积好的芯棒疏松体要放在 1200℃ 含氯或含氟的气氛中。脱水的原理是氯气进入芯棒孔隙中取代 C，其产生的 Si-Cl 键吸收波长在 25 微米，远离光纤工作波段。脱水的速率取决于脱水温度和氯气的流量。脱水后 OH 离子的含量将少于  $8 \times 10^{-10}$  (w%)。

## 3) 芯棒在氦气气氛中烧结

芯棒在炉内继续升温到 1500℃，通入氦气进行烧结。氦气是一种分子体积很小而传热系数很高的气体，能够将热量带到芯部，是疏松体依靠表面张力而生成透明的玻璃体。烧结效果取决于下送速度、烧结温度、氦气流量等因素。

## 4) 芯棒延伸

VAD 制作的芯棒一般都较粗且外径不均匀，无法直接插入套管合成预制棒，需要经过一道延伸工序来使外径变均匀变细。芯棒延伸可以采用成本较低的氢氧火焰作为热源，但氢氧焰会造成芯棒表面 OH 离子污染，需要后面进行等离子蚀洗或酸洗。另外一种办法是采用等离子体作为热源进行延伸，可以省去一个去 OH 离子的过程。延伸工艺有横延，由上往下延伸，由下往上延伸等多种方法。

## 5) 等离子蚀洗

如图 3 所示，Bell Lab 开发的等离子火炬。等离子蚀洗的原理是：等离子火焰沿着旋转着的芯棒进行轴向移动，高达 9000℃ 的火焰将芯棒表面的一层物质迅速升华挥发。一般的蚀洗深度是  $0.25 \pm 0.15$  mm，足以将表面的 OH 离子去除干净。

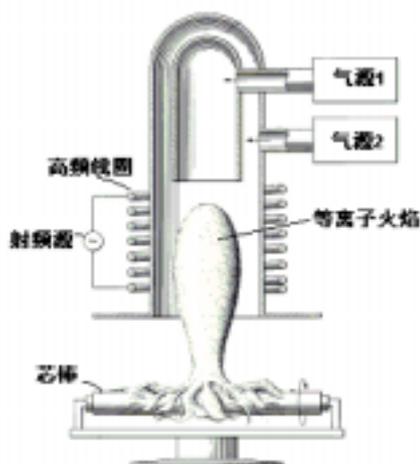


图 3 等离子蚀洗原理图

## 6) 低 OH 含量的合成石英管作外包层

由于采用了更大的外套管，整个光纤的成本急剧降低。对石英管的要求是高纯、低损耗和高抗拉强度。石英管的 OH 含量决定了芯棒制作时的 D/d 值的大小。在套管车床上将芯棒和套管装配在一起，用环形氢氧焰沿轴线从上到下进行加热，同时用真空泵抽去缝隙内的空气，使套管烧结在芯棒上，形成一体的预制棒。

表 6 外套管水份含量和芯棒 D/d 的关系

芯棒 D/d 值	外套管 OH 含量
7.5	<200 ppm
5.2	<1.0 ppm
4.4	<0.5 ppm

## 7) 光纤拉制

光纤拉制工艺属于传统工艺，这里不在复述。

## 5.2 OVD 制作无水峰光纤

OVD 制作全波光纤的过程如下：

- 1) OVD 法制作芯棒及抽芯
- 2) 芯棒的脱水和烧结
- 3) 延伸芯棒
- 4) 在芯棒外沉积外包层
- 5) 光纤拉丝

各工序简单介绍如下

### 1) OVD 法制作芯棒

在旋转的靶棒 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 外沉积一层碳，而后沉积芯层和内包层。靶棒的一端有一特制的抽芯管，沉积结束后，需要将靶棒从疏松体中抽出。

### 2) 芯棒脱水和烧结

和 VAD 工艺不同，OVD 的芯棒疏松体中心有抽去靶棒而留下的中心孔，如图 4。研究表明，水峰主要由于中心孔闭合前残留其内的水份造成的。虽然芯棒疏松体经过了脱水和烧结，但中心孔周围的部分在脱水以后很容易吸收水分。当脱水后的芯棒疏松体遇到含氢气氛（不仅限于  $\text{H}_2\text{O}$ ）时，中心孔那表面就会产生物理吸附水 ( $\text{OH}_2$ ) 和化学吸附水 ( $\text{Beta OH}$ )，从而导致光纤水峰的增加。

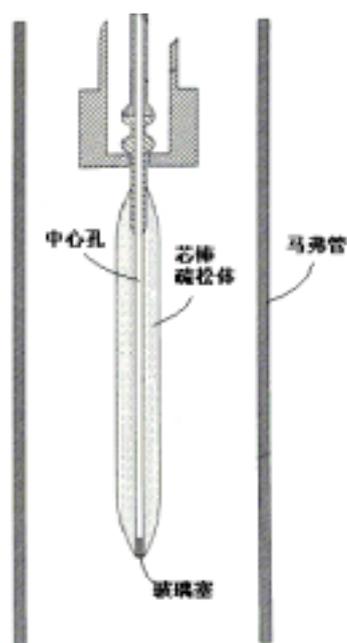


图 4 OVD 芯棒疏松体脱水烧结过程

严格控制中心孔部分的暴露于含氢环境是降低水峰的关键。办法 1 是在悬挂着的芯棒疏松体底端插入一个玻璃塞，然后放入炉内进行脱水。马弗管和中心孔先分别通 He 进行吹扫。炉内温度控制在  $1000 - 1200$ ，在炉内再通入氯气进行脱水，氯气和氦气的比例大约为 1:25。随后将温度逐渐上升为  $1500$  进行烧结，中心孔上端加 10TORR 的负压，有利于孔在烧结中闭合，这种方法可以将芯棒的水份控制在 1ppb 以内。

方法 2 是在脱水过程中先用 He 进行吹扫，然后用 He 作为载气从装  $\text{D}_2\text{O}$  的鼓泡瓶中载带一定量的  $\text{D}_2\text{O}$  进入马弗管，接着再通入 He 进行吹扫，最后通入氯气和氦气的混合气体进行脱水。

### 3) 延伸芯棒

烧结好的芯棒需要经过和 VAD 芯棒相同的延伸过程，以获得直径较小的适合套管或外沉积的芯棒。有的芯棒不在烧结过程中闭合中心孔，而是在延伸过程中闭合，芯棒顶部一直施以负压。

#### 4) 在芯棒外沉积外包层

在延伸好的芯棒外沉积疏松体，而后进行脱水和烧结。此方法已经较为普通，不再复述。也有文献报道采用(Rod-in SOOT tube)工艺进行套管成棒，但还未见详细描述。

#### 5) 光纤拉制这里也不再复述。

### 5.3 MCVD 制作无水峰光纤

MCVD 工艺制作光纤的工艺已经广为人知，用 MCVD 方法制作全波光纤需要注意很多地方，在工艺、设备和原料方面进行了各种改进后，使生产出来的光纤水峰能进一步降低。

#### 1) 提高反应温度去除基管内壁杂质

研究发现，不仅基管的外表面的杂质（包括 OH 离子）会对光纤的损耗产生影响，基管内表面的杂质也很有影响。沉积内包层时，提高管壁的温度，将管壁温度上升到 1700 以上，有利于内表内的易挥发杂质的去除。

#### 2) 采用高纯的原料

由于 MCVD 工艺中没有脱水过程，沉积时直接玻璃化，所以有必要采用 OH 离子含量极低的原料。随着原料提纯工艺的不断进步，目前的原料中杂质含量可达到几个 ppb 以下，为生产无水峰光纤提供可能。

#### 3) 增加 b/a 的比值

为阻止基管中的水份在高温下扩散到芯层，有必要采用较大的 b/a 的比值，即加厚内包层的厚度，来阻止水份的扩散。

#### 4) 采用低水峰的基管

低水峰基管的运用也是十分必要，Heareus 已经向客户提供低 OH 离子含量 (<10ppb) 的基管和套管，且即将来华投资建厂。

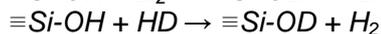
#### 5) 采用无 OH 离子的热源（如等离子火炬，如图 3）

在 MCVD 工艺中，原先采用的氢氧火焰会将水份带到基管外表面，在套管后水份将留在芯棒界面上，拉丝过程中会扩散到芯部，造成光纤水峰的增加。传统的表面处理有机械磨抛、化学腐蚀和等离子蚀洗。

采用无 OH 离子的热源如等离子火炬，用于沉积包层、芯层和塌缩芯棒等步骤，可避免 OH 离子对基管的污染。等离子火炬作为热源是朗讯的专利，具有温度高，温度场集中稳定等特点，火焰中心的温度高达 9000，边缘温度也有几千度。作为 MCVD 工艺热源，必须控制好缩径、均匀性，解决的方法有提高转速，改变卧式车床为竖式车床。

#### 6) OD 置换法

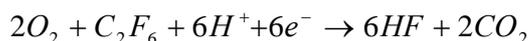
另外，意大利 CSELT 实验室 E.MODONE 等人曾经报道一种方法[13]，在基管内和/或玻璃化的沉积层内通入 D<sub>2</sub>，可以将内表层的 OH 离子置换为 OD 离子，反应式如下



OD 的键能为 466 kJ/mol，而 OH 的键能为 460 kJ/mol，所以激发置换反应必须在 300 以上的温度。置换后，水峰发生位移，使 1385 nm 处的水峰下降。

### 5.4 PCVD 制作无水峰光纤

2003 年光通信会议报告的文献[11]中介绍了在 PCVD 工艺中通入氟利昂可以降低羟基含量。理由是在等离子状态下，水分子分解成具有高度活性的游离态，与氟利昂作用产生氟化氢和二氧化碳排走，从而降低羟基含量的作用，化学反应式如下：



P.Matthijsse 在 2004 年 2 月 OFC 大会上作的报告[12]进一步说明，PCVD 工艺可以生产出低水峰光纤，但需要在如下几个问题上进行控制：1) 原料，包括氯气、氧气和基管。2) 机械部件，如气体密封装置、旋转接头。3) 工序中表面沾污，如管子安装、塌缩、芯棒储存、套管等。另外，报告也指出，塌缩工艺中引用  $O_2/C_2F_2$  等离子蚀洗。不同的是 PCVD 在管子中心通入  $C_2F_2$  刻蚀掉中心线上的污染物。塌缩以后还要用 HF 湿化学侵蚀法去除外表面的污染物。目前报道 PCVD 可以把水峰控制在 0.30 dB/km。PCVD 工艺的顺序如下图：

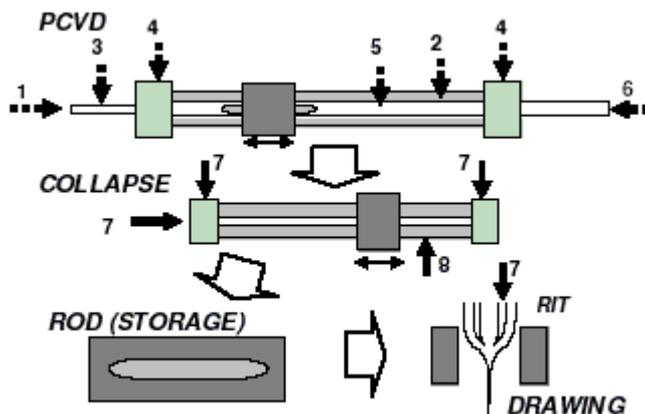


图 5 PCVD+Jacket 工艺程序

## 5.5 光纤氘处理过程

光纤在拉制过程中，会产生一些无序的 Si-O· 自由基[4]，极易和 H· 生成 Si-OH，造成 1385nm 处的水峰增加。因此各种全波光纤拉完丝后都要经过氘处理，才能够经受得住长时间的含氢环境的侵蚀。氘处理的原理是让氘和 Si-O· 自由基形成 Si-OD，吸收峰在 1850nm，这样在光纤的整个寿命期间，氢就无法取代氘的位置。氘和 Si-O· 自由基的反应如下： $2\equiv Si-O\cdot + D_2 \rightarrow 2\equiv Si-OD$ 。按照 ITU-T G.652C/D 的要求，光纤在经过氢老化后光纤的  $1383 \pm 3nm$  处的衰减系数要不低于 1310nm 处的衰减，才能称作全波光纤。

## 六．结束语

除了 G.652 光纤消除了 1383 nm 处的水峰，打开了 E 波段。其他光纤如 G.655 也朝着低水峰的方向发展，如住友公司的水峰抑制 PureMetro 光纤，康宁的 MetroCore 光纤等。所以现在全波光纤的概念也不局限于 G652 光纤了。

另外，全波光纤和 CWDM 的结合预示着 FTTP（光纤到家庭）的未来。在未来的几年之内，我们要结合自身工艺特点，生产出满足市场需求的全波光纤。

致谢：技术质量部经理康晓健、孙建军高级工程师等提出了宝贵的意见和建议，在此表示感谢。

## 参考文献

- [1] ITU-T G.652, Characteristics of a single-mode optical fiber and cable, Prepublished Recommendation, March 2003
- [2] Gordon Thomas, Towards the clarity limit in optical fibre, Nature, Vol 404(6775) 16 March 2000 , pp 262-264
- [3] 唐仁杰, 光纤技术的最新发展及光纤标准动态, 全国第二届光纤光缆用材料技术研讨会, pp2-pp20
- [4] 薛建军、查健江, 迎接下一代光纤网络的挑战, 全国第二届光纤光缆用材料技术研讨会, pp108-pp114
- [5] Kazumasa Ohsono, High Performance Optical Fibers for Next Generation transmission Systems, Hitachi Cable Review No. 22 (August 2003)
- [6] 陈炳炎, 通信光纤的进展和规范: 从 G.652 到 G.655, 光纤与电缆及其应用技术, No.1 2002, pp1-pp12
- [7] 徐乃英, 现代单模光纤的改进及其制造技术, 光纤与电缆及其应用技术, No.3 2002, pp1-pp8
- [8] George E. Berkey, Low water peak optical waveguide and method of manufacturing same, U.S. patent 6477305, Nov. 5, 2002
- [9] Fred Paul Partus, Optical fiber with low OH impurity and communication system using the optical fiber, U.S. patent 5692087, Nov. 25, 1997
- [10] Kai Huei Chang, Method of making a fiber having low loss at 1385 nm by cladding a Vad preform with a  $D/d < 7.5$ , U.S. patent 6131415, Oct. 17, 2000
- [11] 谢康, 长飞公司全贝 ( FullBand ) 光纤及其特性, 第三届中国光通信技术与市场研讨会, pp167-pp171
- [12] P.Matthijsse, Towards the low limits of 1383 nm loss in PCVD enabled single mode fiber production, presented at OFC 2004, Los Angeles, Paper TuB5 Feb. 2004
- [13] E.Modone, OH reduction in preforms by isotope exchange, Eletronics Letters, Vol. 17 No. 21, Oct 15, 1981