

# 光无源器件及传感器译文集

机电部二十三所 九室  
情报室

一九九二年十二月

TP212-5;  
1003-2

# 南京航空学院图书馆 借书应还日期

## 目

机械电子工业部第二十三研究所	....	1
1. 先进的光纤器件	....	4
2. 特种光纤	....	15
3. 保偏光纤器件	....	31
4. 用保偏光纤制造的先进耦合器元	....	44
5. 光纤偏振器和偏振分束器的设计	....	52
6. 用熔融拉锥技术制造的单模M×N	....	59
7. 单模熔融拉锥耦合器:在传感器、	....	65
8. 偏振敏感性低的小通道间隔熔融	....	76
9. 光纤放大器用波分复用器	....	81
10. 高隔离度单锥滤波器	....	88
11. FSMA压接切割式光纤连接器的军用质量鉴定试验	....	94
12. 具有高后向反射损耗性能的光纤连接器	....	102
13. 坚固、高性能、可现场端接的扩束连接器的研制	....	112
14. ST型连接器兼容技术的改进	....	123
15. 单模保偏光纤的连接特性	....	132
16. 保偏光纤的熔接	....	136
17. 光纤连接器	....	143
18. 多芯光纤转动接头	....	150
19. 一种用于光纤连接器的快速非环氧粘合系统	....	157
20. 一种网络保护用的旁路光开关	....	161
21. 低损耗1×2单模光开关	....	169
22. 光纤传感器的国际标准化活动	....	176
23. 光纤陀螺的进展	....	178

爱护图书, 按时归还, 违者罚款



\*30713611\*

6

教借本



713611

24. 保偏光纤构成的谐振腔中偏振轴失配引起的光学被动环形谐振腔陀螺的偏移	.....184
25. 光能推动的硅微型谐振式压力传感器	.....191
26. 10单元时分复用干涉型光纤传感器阵列	.....197
27. 一种不受温度噪声影响的圈型光纤位移传感器	.....204
28. 光纤传感器无源复用的多频率调制	.....210
29. 0.1Hz~10MHz磁场的磁致伸缩光纤传感器的外差检测	.....215
30. 光纤磁场计的非晶态金属线状探头	.....220
31. 采用光纤光谱均衡法实现高频宽带信号增强	.....228

## 光纤无源器件产品简介

机械电子工业部第二十三研究所第九研究室是国家定点的光纤无源器件研制和中试生产单位，不少成果都获得过部、局级科技进步奖，产品遍及全国各地的邮电、交通、铁路、能源、广播电视等各个领域。其产品性能简介如下：

名称	型号	光缆长度	插入损耗	后向反射损耗	工作温度	寿命
单模光纤 连接器	GLF-1B (FC/PC)	3m, 5m, 10m, 15m. 可根据用 户的需要 而定	$\leq 0.5\text{dB}$	$\geq 30\text{dB}$	$-25 \sim +70^\circ\text{C}$	500次
多模光纤 连接器	GLF-1A (FC/PC)		$\leq 0.5\text{dB}$		$-25 \sim +70^\circ\text{C}$	500次
单模光纤 连接器	FC/PC 陶瓷型		$\leq 0.5\text{dB}$	$\geq 30\text{dB}$	$-40 \sim +85^\circ\text{C}$	1000次
多模光纤 连接器	APT.A .B		$\leq 0.5\text{dB}$	$\geq 30\text{dB}$	$-25 \sim +70^\circ\text{C}$	500次
单模光纤 连接器	APT.C .D .E .F .G .H		$\leq 0.5\text{dB}$	$\geq 30\text{dB}$	$-25 \sim +70^\circ\text{C}$	500次
多模光纤 连接器	SMA 905 SMA 906		$\leq 1.0\text{dB}$		$-25 \sim +70^\circ\text{C}$	
单模光纤 连接器	SMA 905 SMA 906		$\leq 1.0\text{dB}$		$-25 \sim +70^\circ\text{C}$	
单模光纤 连接器	ST		$\leq 0.5\text{dB}$		$-25 \sim +70^\circ\text{C}$	
军用二芯 光缆连接 器	JG40-2.5 -01型		$\leq 1.0\text{dB}$		$-25 \sim +70^\circ\text{C}$	

名称	波长 $\lambda$	附加损耗(dB)	耦合比	隔离度	工作温度	结构尺寸
2x2, 1x2 单模光纤 耦合器	1.3 $\mu\text{m}$	$<0.1\sim0.5$	$1\sim99\%\pm2\%$	$>60\text{dB}$	$-20\sim100^\circ\text{C}$	$\Phi 4\times60$
	1.55 $\mu\text{m}$	$<0.1\sim0.5$	$1\sim99\%\pm2\%$	$>60\text{dB}$	$-20\sim100^\circ\text{C}$	$\Phi 4\times60$
	0.85 $\mu\text{m}$	$<0.2\sim1.0$	$1\sim99\%\pm2\%$	$>60\text{dB}$	$-20\sim100^\circ\text{C}$	$\Phi 4\times60$
	0.63 $\mu\text{m}$	$<0.3\sim1.0$	$1\sim99\%\pm2\%$	$>60\text{dB}$	$-20\sim100^\circ\text{C}$	$\Phi 4\times60$
2x2, 1x2 多模光纤 耦合器	1.3 $\mu\text{m}$	$<0.5\sim1.0$	$1\sim50\%\pm2\%$	$>50\text{dB}$	$-20\sim100^\circ\text{C}$	$\Phi 4\times60$
	0.85 $\mu\text{m}$	$<0.5\sim1.0$	$1\sim50\%\pm2\%$	$>50\text{dB}$	$-20\sim100^\circ\text{C}$	$\Phi 4\times60$
1x2 多模 Y型双工 耦合器	1.3 $\mu\text{m}$	$<5\sim7.5$			$-20\sim100^\circ\text{C}$	$\Phi 4\times60$
	0.85 $\mu\text{m}$	$<5\sim7.5$ (传输损耗)			$-20\sim100^\circ\text{C}$	$\Phi 4\times60$
1x2 单模 光纤Y型 耦合器	1.3 $\mu\text{m}$	$<0.1\sim0.5$	$1\sim99\%\pm2\%$	$>50\text{dB}$	$-10\sim+70^\circ\text{C}$	$\Phi 4\times60$
	1.55 $\mu\text{m}$	$<0.1\sim0.5$	$1\sim99\%\pm2\%$	$>50\text{dB}$	$-10\sim+70^\circ\text{C}$	$\Phi 4\times60$
1x3, 1x4 单模光纤 耦合器	1.3 $\mu\text{m}$	$<0.4\sim0.8$	$33\%\pm3\%$		$-10\sim+70^\circ\text{C}$	
	1.55 $\mu\text{m}$	$<0.1\sim0.5$	及 $25\%\pm3\%$		$-10\sim+70^\circ\text{C}$	
1x3 单模 光纤耦合 器	1.3 $\mu\text{m}$	$<0.6\sim1.2$	$12.5\%\pm4\%$		$-10\sim+70^\circ\text{C}$	
	1.55 $\mu\text{m}$	$<0.6\sim1.2$			$-10\sim+70^\circ\text{C}$	

名称	波长特性	耦合比	附加损耗	隔离度	工作温度
单模光纤 宽带耦合 器(WIC)	1300±40nm	50±5%	0.1~0.5dB	>50dB	-20~+70℃
	1550±40nm	50±5%	0.1~0.5dB	>50dB	-20~+70℃
	1250~1600nm	50±10%	0.1~0.5dB	>50dB	-20~+70℃
单模光纤 波分复用 器(WDM)	1300/1550nm		0.3~0.6dB	远端>35dB 近端 60~100dB	-20~+70℃ -20~+70℃
单模光纤固定衰减器				3~50dB	
多模光纤固定衰减器				3~45dB	
在线可调衰减器				3~45dB	
连续可调读数衰减器				3~50dB	

机械电子工业部第二十三研究所九室

地址：上海逸仙路25号

邮政编码：200437

负责人：宋金声 5421305-213

联系人：鲍鸿昌 5421305-201

# 先进的光纤器件

W.A. Cambling

Department of Electronics & Computer Science,  
The University of Southampton, SO9 5NH, Hampshire, United Kingdom

## 1. 引言

对长距离传输应用来说, 光纤已发展到高度成熟的阶段。以二氧化硅为基质的单模光纤在 $0.86\mu\text{m}$ ,  $1.3\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ 波长下的损耗已经接近理论最小值。同时, 单模光纤的带宽对所有实际应用来说, 在波长 $1.3\mu\text{m}$ 以上几乎做到无限大。现在人们的注意力已放到设计新型的光纤上, 以及用于有源和无源器件, 传感器以及其他新型的光路元件。

在南安普顿大学, 我们对四种形式的光纤结构进行了研究, 包括新材料和新型光纤的设计。首先, 我们已经研制出具有零双折射, 强线性双折射和强圆双折射光纤。其次, 我们已经制造出靠近纤芯处在纵向上含有金属材料的光纤, 它可以对横电场效应进行研究, 进而实现电气激励的调制和切换。第三, 已通过扩展MCVD技术, 研究在单模光纤的纤芯中掺入稀土和过渡金属材料。第四, 我们正在考虑制造无二氧化硅玻璃材料的光纤, 以便增强克尔效应, 法拉弟效应和声光效应。

## 2. 线性双折射光纤

在许多应用中, 光纤的模式偏振态的严格控制是十分必要的。例如, 对于干涉型光纤传感器相干传输及集成光路的耦合来说, 线偏振态的控制是非常重要的。对于普通光纤, 光路等偏振态是无法确定的。从理论上讲, 如果光纤是完全圆形对称并以直线延伸, 则从输入端发送的线偏振光将沿光纤全长保持原状态直到输出。但是, 事实上这是不可能发生的。首先光纤不可能被制成完美的圆柱体结构, 光纤内部存在缺陷和受诸如弯曲、压力、温度变化等外部因素影响时, 就会产生光束方位角的非均匀性。在这种情况下, 输入线偏振光就会被分解成沿着两个主横平面正交的分量, 这两个分量具有不同的相速度, 这两个正交分量之间的耦合将引起偏振态沿光纤长度以不定的方式产生变化。

为了稳定线偏振态, 有必要减少两个正交分量之间的耦合量。对此, 可以通过在光纤中引入强线性双折射的方法来实现。

一种方法是将纤芯制成非圆形状，使得两个主方向上的折射率分布不同。已经采用这种方法制成一些线性双折射光纤，但纤芯和包层之间折射率差必须很大，换言之，为了保持单模传输，光纤的纤芯必须非常小。这就使光纤的制造和连接增加了难度。

另一方面，这种光纤与半导体激光器的有源非圆形发光点的耦合较为方便，与激光二极管的简单的对接损耗为1.9dB。在0.85 $\mu\text{m}$ 波长下，这种光纤的传输损耗已经下降到9dB/km，在1.3 $\mu\text{m}$ 波长下为2.5dB/km。

产生线性双折射的较为通常的方法是在纤芯的外围引入非均匀应力。纤芯和包层保持圆形，但是在光纤的基质区引入膨胀系数有很大不同的非圆对称扇面体。我们已研究了几种方法，其中能产生最大双折射的方法是将光纤设计成“领结”(Bow-tie)结构。在这种结构中，产生应力的扇面形状易于产生最大程度的双折射。

这种光纤是采用改进的MCVD方法制造的。在防止水扩散进入包层和纤芯的沉积管内壁，沉积一层普通缓冲层，再沉积一层产生应力的材料(如二氧化硅硼)。然后停止管子的旋转，将预制管内相对边的应力材料腐蚀掉，继续旋转管子，用通常的方法沉积包层和纤芯，然后将沉积管收缩成实心的预制棒。收缩过程中，管内产生应力的玻璃尖状部分在光纤中呈“领结”形状。它能在预制棒内产生很高的应力，甚至可达玻璃断裂的程度，这导致预制棒破碎。如果不破碎，预制棒可被拉制成光纤。从约2000 $^{\circ}\text{C}$ 的拉制温度冷却到常温这一过程中，由于二氧化硅硼的扇形面与二氧化硅基质的热膨胀系数不同，将再度产生高度的不对称应力。与预制棒不同的是，光纤在机械上是强的，与普通光纤相比并不更易于断裂。

双折射强度很容易通过测定从光纤中散射掉的光来评定。两个传输偏振模输入和输出相位的速率取决于双折射，所以被散射的光在强度上将作周期性变化。可以得到小于1mm的拍长(归一化双折射 $B=6\times 10^{-4}$ )。图1显示了“领结”光纤的截面图，这种光纤的传输损耗与普通光纤相接近。

### 3. 偏振保持光纤和偏振光纤

前面已提到，普通通信光纤的偏振态是不确定的。另一方面，具有高度线性双折射光纤可以在两种截然不同的方法下工作。第一，两个正交模式具有低传输损耗，以大致相等的衰减进行传输。如果以等量的光输入两种模式中，由于相位常数的不同，其偏振态将沿光纤作周期变化，从线偏振到圆偏振，再从圆偏振到线偏振作反复变化。

如果仅对一种模式输入光，由于没有模式转换，光将沿整个光纤长度继续线偏振。当光纤存在较强的外部变形时，原偏振光的一部分会耦合到正交模中，并继续以这种模式传输，直至输出。

引起一种模式的优先衰减方法之一是将光纤盘绕成线圈状。由于两个主截面的折射率分布不同，两种模式的弯曲损耗边界在不同波长处。图2表示了这种效果。从图中可知，存在一个波长范围，在此范围内，两种模式的衰减度不相同。弯曲半径和通过微弯来改变。产生偏振作用的波长范围也能控制。同时具有宽的波长窗口，已获得60dB的消光比。

#### 4. 具有微双折射和微偏振色散的光纤

在拉制光纤过程中，将普通光纤预制棒绕其纵轴旋转，可制造具有内双折射几乎为零得光纤。每分钟几千转的速率是可能的，这就使得光纤中的各向异性以很短的节距长度沿光纤旋转。线偏振光是无法跟随这种双折射进行快速旋转的，所产生的结果是这种纤芯显示为园形非对称，直至影响传输模。通过此方法可使固有的线性双折射和偏振模的色散降低到很小。光纤的外部影响诸如弯曲、压力等可重新引起双折射，这种情况不受旋转纤芯的影响，所以旋转光纤可应用于光纤传感器。特别适于利用法拉弟效应测量磁场和电流。这种偏振角度的旋转正比于磁场强度沿光纤长度的积分。

#### 5. 园双折射光纤

同样，也能制造园形高双折射光纤。这种光纤可应用于检测电流、磁场和通信中的偏振控制。

也许，产生园双折射的最简单方法是将普通光纤绕其纵轴扭转。发现在左旋的和右旋的园方向上偏振模的传播常数是不相同的。但是，采用这种方法有相当的局限性，因为在拍长小于10cm时，光纤将断裂。当然，光纤在实验中也难以掌握。

产生园双折射的一个更有效得方法是制作一种纤芯不是沿光纤纵轴伸展，而是绕纵轴作螺旋形伸展的光纤。在南安普顿大学，已经开发和制造了这种光纤，其方法是将一根含纤芯和包层的普通MCVD预制棒插入另一根钻有偏心孔的二氧化硅棒里，当这种含有错位的纤芯/包层预制棒的二氧化硅棒拉制光纤时，它同时绕纵轴旋转。用这种方法制造的光纤其纤芯形成节距长度很短的紧密螺旋状。所产生的园双折射度比“扭转光纤”高一个数量级还多。拍长下降到5mm(对应的归一化双折射 $B=1.3 \times 10^{-4}$ )，甚至更小。

这种螺旋式光纤具有一种人们所感兴趣的特性，即二阶模，高阶模的弯曲损耗比基模的弯曲损耗增大很多，所以这种光纤能在高归一化频率( $V=25$ )下工作，并能有效地保持单模传输。这样纤芯直径可比普通光纤大许多。目前，正在研究运用这种光纤测量磁场和电流。

## 6. 椭圆双折射光纤

在拉制具有高线性双折射光纤(例如领结型光纤)过程中,可以通过旋转方法来制造椭圆双折射光纤。这种光纤具有永久性固定旋转的双折射轴。偏振特性模产生椭圆偏振,椭圆双折射取决于未旋光纤的线双折射特性和扭转速度。旋转光纤的椭圆偏振模间拍长 $L'_p$ 的数值取决于未旋转光纤的拍长 $L_p$ :

$$L'_p = L_p L_t / ((4L_p^2 + L_t^2)^{1/2} - 2L_p)$$

式中 $L_t$ 为旋转节距。拍长 $L'_p$ 表征抗外部干扰,一般应小于10mm。图3所示的椭圆模拍长,在各种不同数值的拍长 $L_p$ 下,是旋转拍长 $L_t$ 的函数。同时也作出了比值 $n=2L_p/L_t$ 从1到4时的曲线。从图中可以看出,如果旋转节距大于未旋光纤的拍长,则光纤通过旋转方法可望得到四倍的拍长。因此,领结型光纤能保持高椭圆双折射。特征模的椭圆度(短轴/长轴)由下式给出:

$$\epsilon = \tan(1/2 \tan^{-1}(2L_p/L_t))$$

当旋转速度较高时( $2L_p/L_t > 2$ ),椭圆度就接近一致,因此模式主要呈现圆偏振。这时光纤几乎不产生法拉弟效应,而且灵敏度(法拉弟旋转角 $< 20^\circ$ )几乎与完全各向同性光纤( $2L_p/L_t=0$ )无差异,因为 $2L_p/L_t$ 数值比2(相当于产生椭圆拍长 $L'_p=4.24L_p$ )大的多。因此,为了确保充分大的椭圆双折射( $L_p < 10\text{mm}$ ),未旋转光纤的拍长 $L_p$ 必须小于3mm。采用这种技术,已经制造出拍长短至7.2mm的椭圆双折射光纤,它足以能够克服几乎最差的封装影响。

应用椭圆光纤制成的电流传感器具有良好的工作性能,它对温度和压力变化所引起的干扰具有相当高的灵敏度。例如业已证明,将椭圆光纤绕成直径为25mm,圈数为100的线圈,当利用反射技术和宽带光源来补偿温度效应时,它具有500A的电流检测范围,其检测器的散弹噪声可限至1mA rms/Hz<sup>0.5</sup>。如果适当选择光源和光的耦合方法可望使灵敏度提高到100mA rms/Hz<sup>0.5</sup>。

## 7. 迅衰场器件

在有些传感器中,必须在纤芯及纤芯周围产生传输光场的直通道,例如喇曼分光镜、生化感应和谐振吸收。揭示迅衰场有几种方法。这些方法包括在制造过程中磨去包层并进行抛光;将光纤拉成锥形,使之引起场的扩展而超越被减小的包层;在拉丝前研磨预制棒,然后再拉制成D形光纤;在离开纤芯的一定距离,在光纤内形成轴向孔。

如果将单模光纤预制棒的一边去除基质和包层,例如采用平面研磨和抛光预制棒

表面的方法所形成的D形预制棒可被拉制成保持与预制棒形状相同的D形光纤(见图4)。为了防止玻璃的熔流而回复成圆截面,拉制温度不能过高。拉制过程具有火焰抛光作用,使得被研磨的玻璃表面产生极光滑的低散射的表面,在这表面上能获得相互影响作用。选择余留预制棒材料的厚度或在其后去除部分余留包层可使光纤形成迅衰场的通道,采用这种光纤可构成光纤耦合器和光纤偏振器。

在其最简单的形式中,空心截面形光纤是上述D形光纤的改进型光纤,这种光纤在距纤芯外固定位置上含有一个单独的轴向孔。光纤的制造方法为:首先在预制棒上研磨并抛光一个平面(如制造D形光纤的预制棒),然后将其插入紧配合的玻璃套管内,选择光纤拉制的条件使保证预制棒和玻璃管熔在一起。对应于预制棒的磨去部分,沿纤芯一边形成一个D形小孔。此外,这种对研磨玻璃表面的火焰抛光作用可得到极其光滑和低散射的表面。

这种光纤的一种特殊应用是制成金属/玻璃光纤偏振器。在这种偏振器里,把金属直接拼入光纤,接近纤芯(如图5所示)。其结果是可以制造连续长度的高性能金属/玻璃光纤偏振器,通过选择所切断的光纤长度可有效地控制偏振器的消光比。图5中所示的光纤是丙烯酸护套光纤,数值孔径(NA) $\approx 0.16$ ,截止波长 $\approx 1.25\mu\text{m}$ ,纤芯与孔间距为 $3\mu\text{m}$ 。这种光纤的制造方法为:将D形孔光纤与一根含有锡48%,钢52%的合金(熔点 $120^\circ\text{C}$ )的不锈钢注射针对接起来,将光纤和注射针加热到 $130^\circ\text{C}$ ,并通过不锈钢管金属上方引入约4巴的气压。填充速度约为每分钟2米。这样形成的组合型金属/玻璃光纤能以与普通光纤相同的方式进行操作,切割和连接。一根5cm长的这种光纤偏振器在 $1300\text{nm}$ 至 $1600\text{nm}$ 的宽带范围内具有约40dB的消光比(见图6)。亦已测出这些器件的温度稳定性,已显示出在 $-40\sim 100^\circ\text{C}$ 范围内具有对温度的不敏感性。最大工作温度限于器件所含金属的熔点(上述器件为 $120^\circ\text{C}$ )。但是,可通过选择不同的合金来提高器件的工作温度。

消光比和插入损耗均与长度成正比。从理论上讲,在不惜增加插入损耗的情况下,可以设计实际上具有无限消光比的偏振器。这是非常重要的,因为在许多应用场合,尤其是在光纤陀螺中需要大的消光比,同时1dB或2dB的插入损耗也是可以接受的。本文所报道的这种光纤偏振器可以通过简单地切割光纤至所需的长度来进行这种选择。另外,通过简单地调整纤芯与金属的间距,对于长度从几厘米变化到几米的情况,可设计提供所要求的消光比。当光纤属高强度双折射时,通过瑞利散射可以确定在这些光纤中获得的消光比极限。但是,由于这种偏振器可制作得非常短小(仅1cm或更短),其最大消光比可望超过100dB。

如上所述,对于传感器应用,还可将其他液体或气体引入光纤孔内。采用对称地

置于纤芯两边的纵向金属扇形结构，再加上适当的电压能产生通过纤芯的电场，然后运用光克尔效应对传输波进行调制。这种器件可应用于电压测量或者调制器。在这后一种形式中，已报道仅用几十伏的半波电压调几MHz的带宽。

这种对称双孔光纤的进一步的应用是作为压力传感器，在这种传感器中，将所要监控压力的流体注入孔中，这种流体压力的任何变化将引起光纤输出端偏振态的变化。已报道响应时间快达1ms。

## 8. 掺稀土材料单模光纤

在近红外波长范围内，为了保持低的传输损耗，必须将光纤中除基本玻璃外的所有成份降到最低限度。众所周知，采用这种途径的传输损耗已降至每公里几分贝。另一方面，在低损耗波长下，如果光纤的损耗没有很大的增加而能使光纤具有或提高有关性能，则这种光纤具有潜在的吸引力，在例如传感器和信号处理器件中有广泛的应用，本文前面所探讨的方法是纤芯和包层均保持纯净，通过诸如机械应力、电场、磁场和温度变化等等外部所加力对传播的光波进行调制。另一种改变光纤特性的方法是在纤芯或包层中掺入少量的合适材料。

在南安普顿大学，已经研究了将稀土离子引入光纤的导光区域的可能性技术。可能的发展是：

1. 光纤激光器和光纤放大器；
2. 通过吸收和荧光作用的分配型温度传感器；
3. 提高维尔德常数；
4. 提高克尔效应和光非线性系数。

我们已设计一种通过对MCVD工艺技术的改进而对光纤掺杂方法。传统的MCVD制造光纤工艺的一个主要优点是适当的卤化物材料可用作原料，这些材料具有非常高的纯度，并在常温下显液体状。将这种技术扩展至卤化物，所以解决的问题是这种材料在常温下呈固体，具有高熔点，因此蒸气压低，且以水合物形式存在。

图7是为克服这些问题而采用的方法。在沉积之前，对普通二氧化硅基质进行改形，并将所需的添加剂，如 $\text{NdCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ （纯度99.9%，熔点758℃），放入位于上游端的特制添加剂容腔里。然后在氯气氛围下加热容器，使添加剂干燥；与此同时，无水晶体熔化在容器腔壁上。然后清洗沉积玻璃管的内壁，以去除在干燥过程中可能会沉积在内壁上的任何添加剂。接下去以通常的方法沉积包层玻璃。在沉积纤芯过程中，将添加剂空腔加热到约1000℃，使之产生少量的 $\text{NdCl}_3$ 蒸气，这种蒸气通过反应物流被带入下游端。在反应物流中，蒸气被氧化并结合到纤芯。沉积纤芯的温度要保持得低于通



当于光纤中的泵浦功率为 3 mW, 在大部分掺铒增益曲线的范围内, 这种激光器是可调的, 具有 92 nm 的可观调节范围, 以及约 1 mW 的输出功率。

掺铒光纤激光器的工作波长为 1.536  $\mu\text{m}$ , 此波长在普通通信光纤中的传输损耗是最小的。可用 980 nm 的连续波染料激光器作为泵源。尽管掺铒激光器是三能级激光系统, 仅 5  $\mu\text{m}$  的纤芯直径, 允许只需几毫瓦的泵功率就很容易产生吸收饱和, 提供吸收功率约 4 mW 的前所未有的阈值。在注入泵浦功率为 17 mW 时, 输出功率为 7 mW。在接近 1.54  $\mu\text{m}$  波长, 14 nm 和 11 nm 的两个范围已获得可调的工作, 具有仅 90 mW 的吸收泵功率。

除上述结果外, 还获得高增益的光纤放大器以及工作波长为 1.55  $\mu\text{m}$ , 在重复频率 200 Hz 下峰值输出功率为 200 mW 的 30 ns 脉冲 Q 开关工作。

即使从这种早期结果也可以明显地看出, 光纤激光器可以形成阈值功率比光纤器件和电路低的固态光源; 输出的波长可进行调节; 其价格相比于传统激光器要便宜, 另一个特点是在结构设计和工作过程中有任意的可绕性。例如, 可将其紧密地绕成线圈状而不影响其激光作用, 即不需要对光纤激活介质进行精确的光学准直, 也不需要反射镜进行精确的光学准直。对于反射镜, 只要求用一般方法使镜面与光纤切割端面直接简单地贴在一起。光纤激光器可在单模和基模下工作, 能得到可控的高斯输出光束。由于纤芯的强烈导引作用, 光纤激光器的阈值功率较小, 使得弱过渡材料和采用其他技术还未展现激光作用的材料可能产生激光作用。又因为较小的纤芯直径, 冷却非常有效果, 允许在常温下连续工作。这类激光器制作工艺简单, 而且柔软性好, 使得一系列掺杂的组合是非常有效和经济的。

## 10. 结 论

很显然, 一系列新型光纤材料和结构可以增加光纤在许多不同类型的应用。尽管光纤器件相比于集成光路在体积上较大, 但是具有良好的柔软性, 便于制造并能与光纤传输相兼容, 避免了光纤与平面光路之间大的耦合损耗。除了如耦合器、滤波器这些无源器件外, 一系列有源器件可用新型光纤设计, 其中包括光放大器、可调光源直至基于非线性作用, 包括孤立子传输, 喇曼作用等等的器件。

## 11. 参考文献 (共 19 篇, 略)

译自《SPIE Vol. 1085 Optical Fiber and Their Applications V(1989)》 p19~28

郭金齐 译

宋金声 校

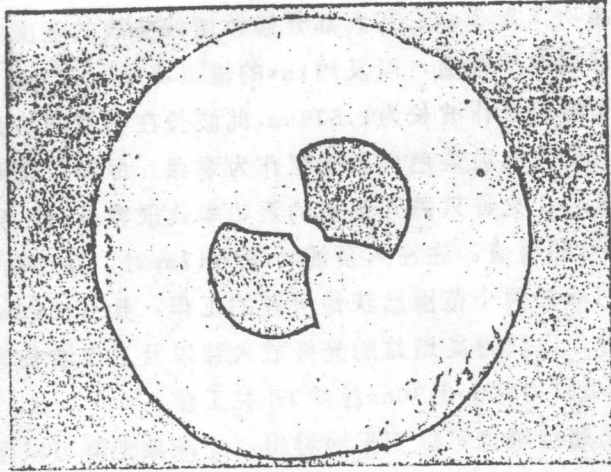


图1. “领结”型光纤截面图，显示纤芯、包层区域和应力产生部分（黑色区域）

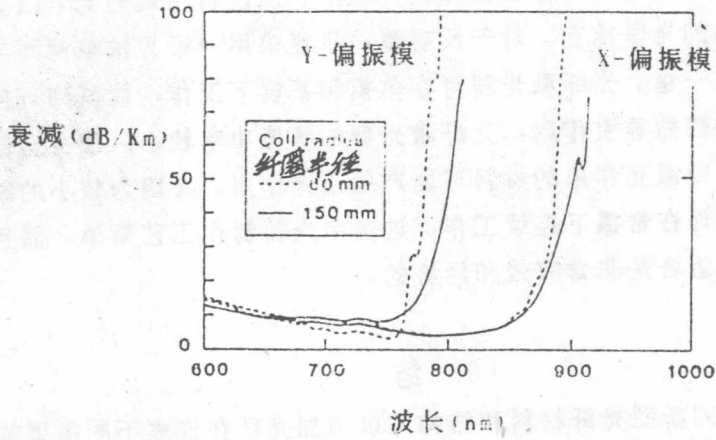


图2. 二正交偏振模在“领结”型光纤中的传输损耗

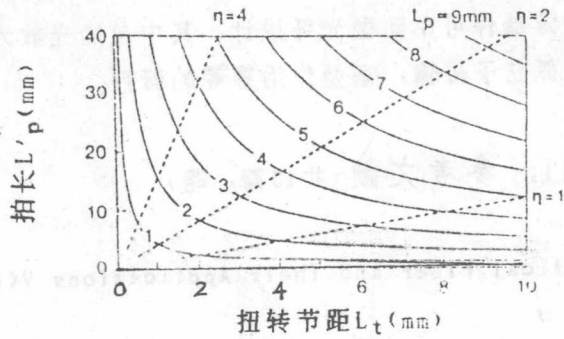


图3 对应于不同的未旋转拍长 $L_p$ 的旋转节距，旋转“领结”型光纤中椭圆模变化函数。图中虚线表示 $\eta = 2L_p/L_t$ 常数。

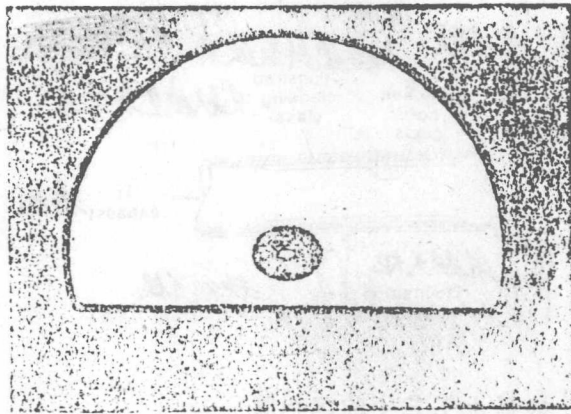


图4. D型椭圆纤芯光纤微型照片

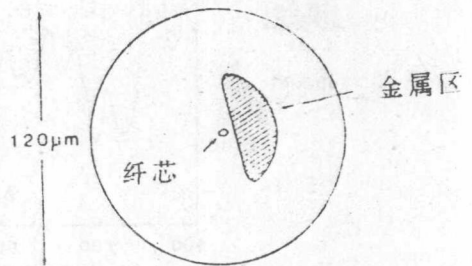
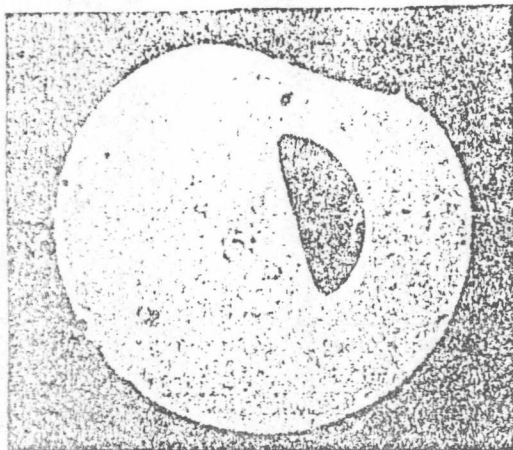


图5. 复合型金属-玻璃偏振器的照片和结构图解  
显示出金属与纤芯相靠很近。

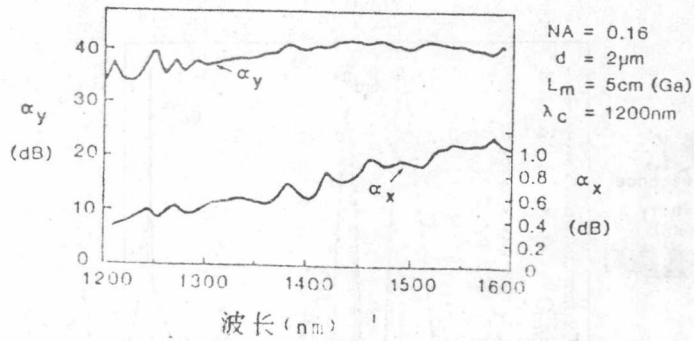


图6. 5cm长的复合金属-玻璃偏振器的内部损耗 $\alpha_x$ 和  
消光比 $\alpha_y$ 的光谱变化情况

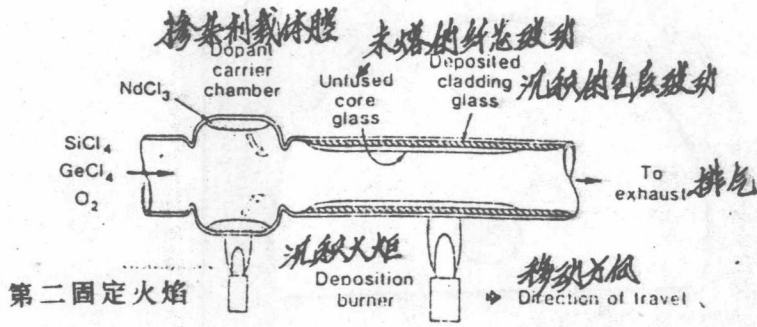


图7. 掺稀土工艺中的沉积管

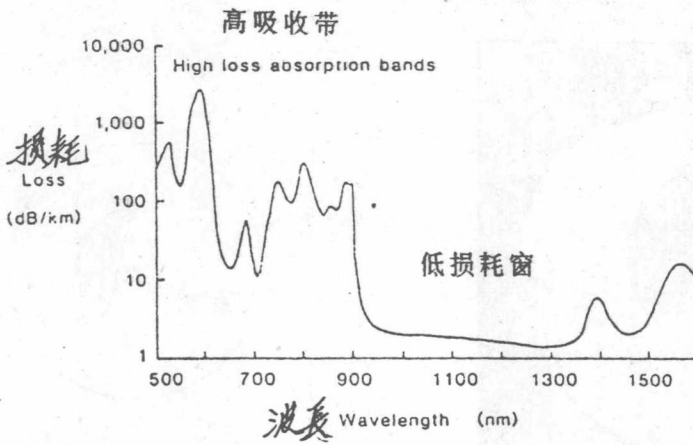


图8. 掺钕光纤激光器的吸收频谱

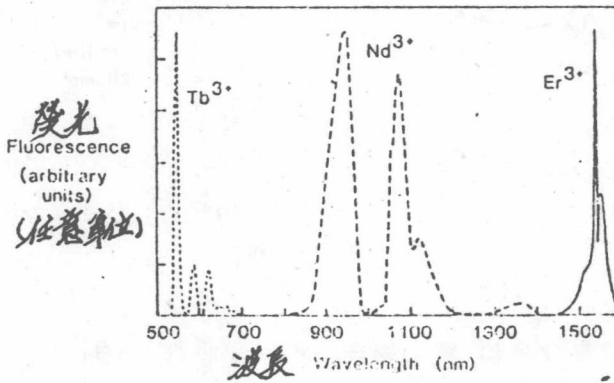


图9. 掺铽、钕和铒光纤在荧光时的光谱