

论文集

中国光学学会
纤维光学和集成光学专业委员会
成立暨学术交流大会

1984.10

中国科学院学部委员
中国光学学会名誉理事长
中国科学院西安光机所名誉所长

龚 祖 同

祝 词

一定要用最先进
的科学技术来建设我们的祖国

87
TN 25
16
3

1981.24

目 录

一定要用最先进的科学技术来建设我们的祖国

.....中国科学院学部委员 中国光学学会名誉
理事长 中国科学院西安光机所名誉所长 莫祖同 (1)

A、特邀报告

- A₁ 光纤研究新进展
.....中国科学院上海硅酸盐所 张英华 (3)
- A₂、变折射率光学的进展
.....中国科学院西安光机所 刘德森 (16)
- A₃、我国集成光学过去十年的回顾与今后的展望
.....中国科学院长春物理所 于荣金 (27)
- A₄、集成光学和光纤技术在军事上的应用
.....上海交通大学应用物理系 陈益新 (35)
- A₅、光纤传感器基本要素及进展
.....上海交通大学电子工程系 张美敦 (36)
- A₆、我所光纤通信开发应用情况简介
.....电子工业部1934所 马 迅 周 祐 (47)

B、光导纤维和物理性能分析

- B₁ 传感器用可见光波段单模光纤研制
.....上海石英玻璃厂 朱君灏 上海交大 张美敦 (53)
- B₂ 一种新的偏振保持的异形光纤
.....上海交大 杨付子 谢绳武 陈英礼 方俊鑫 (54)
- B₃ 超高带宽长波长 $\text{GeO}_2-\text{P}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2$ 系多模光纤的研究
.....中国科学院上海硅酸盐所 张英华 高兴华 庄子侯
项海波 周文岳 张寿春 (55)
- B₄ $\text{SiCl}_4-\text{BBr}_3$ 高温氧化平衡计算
.....中国科学院上海硅酸盐所 高新华 郭祝昆 (56)
-法制作大 N.A. 光纤
.....电子工业部1934所 何运辅 (57)



B182219

- B₇ 多模光纤的选模激发
.....同济大学 孙宗建 (58)
- B₇ GaAs激光器激发带球面透镜圆柱套层光波导纤维的调整误差分析
.....厦门大学物理系 石守勇 张志鹏 (58)
- B₈ 接合 α 随 z 变化多模光纤模式色散的补偿探讨
.....浙江大学无线电工程系 陈光海 刘锐 (59)
- B₉ 弯曲单模光纤波导效应双折射的分析
.....上海交通大学 方锡生 张煦 林宗琦 (59)
- B₁₀ 短拍长及具有不均匀性的单模光纤的双折射测量方法
.....上海交通大学 黄上元 张煦 林宗琦 (61)
- B₁₁ 单模光纤双折射测试的解析方法
.....清华大学无线电系 廖廷彪 潘安培 吕玫 秦小蓉 吴庚生 (62)
- B₁₂ 随机耦合下单模光纤偏振度的分析
.....上海交通大学 黄上元 张煦 林宗琦 (63)
- B₁₃ W型光纤偏振的变化
.....南京通信工程学院 张中如 孙松庚 (65)
- B₁₄ 光纤群速色散下的瞬态前向Stokes喇曼散射的脉冲压窄效应
.....上海交通大学应用物理系 彭纲定 赖祖猷 方俊鑫 (66)
- B₁₅ 改善光纤通信中脉冲展宽和模式噪声的途径
.....成都电讯工程学院应用物理研究所 杨淑雯 陈福深 阎国蜀 叶昆珍 (68)
- B₁₆ 双色层单模光纤截止波长测量一改进的偏振法
.....南京工学院电子工程系 吴道陵 高山 (69)
- B₁₇ 具有M型折射率分布的双色层单模光纤的研究
.....南京工学院电子工程系 林志璇 蒋时俊 (71)
- B₁₈ 提高光纤通信中继距的途径 (综述)
.....华中工学院工程光学教研室 黄德修 陆冬生 陆隧丽 (72)
- B₁₉ 光纤传输系统的设计
.....浙江大学无线电工程系 刘锐 (73)
- B₂₀ 光纤产品分析
.....1934所 卢文全 刘朴 (73)
- B₂₁ 弹性形变下单模光纤中孤立波传播的偏振特性
.....山西大学物理系 周国生 (74)

C. 光导纤维应用和光纤传感器

- C₁ 拼接式X型多模光纤定向耦合器的不对称性探讨
.....上海交通大学 茅仲明 电子部23研究所



- C₂ 可见光及近红外单模定向耦合器的研制
.....上海交大 茅仲明 方锡生 黎滨洪 (78)
- C₃ 单模光纤定向耦合器的制造及其应用
.....电子工业部二十三研究所 鲍鸿昌 (79)
- C₄ 三光纤定向耦合器的转移矩阵及有关干涉式传感器光路分析
.....上海交大电子工程系 曾庆济 (80)
- C₅ 光纤衰减器
.....桂林激光通信研究所 姚荣新 (80)
- C₆ 压电式单模光纤调相器研制
.....上海交通大学 杜敏 曾庆济 (81)
- C₇ 相图及在光调相特性测试中的应用
.....上海交通大学 杜敏 曾庆济 (81)
- C₈ 干涉式光纤传感信号的正交边带解调
.....上海交大 杜敏 曾庆济 (82)
- C₉ 光纤传感器技术
.....华中工学院 陆随丽 黄德修 陆冬生 (83)
- C₁₀ 光纤传感在军事上的应用
.....清华大学无线电电子系 廖延彪 潘安培 吴庚生 (84)
- C₁₁ 光纤水声传感器的相位灵敏度
.....上海交大 项念椿 王瑞骥 (85)
- C₁₂ 干涉式光纤传感器的抽样相移检测方法
.....上海交大 项念椿 曾庆济 (86)
- C₁₃ 微型光纤电场(电压)计
.....清华大学无线电电子学系 霍玉晶 彭江得 范峰南 廖延彪 (88)
- C₁₄ 光纤F-P干涉仪声传感器的实验研究
.....清华大学 彭江得 霍玉晶 黎青 廖延彪 (89)
- C₁₅ 光纤温度传感器的理论与实验研究
.....南京工学院电子工程系 虞爱华 张明德 杨祥林 许大信 (91)
- C₁₆ 光纤电流传感器中的法拉弟效应
.....清华大学无线电电子学系 廖延彪 付方正 (92)
- C₁₇ 液体浓度光纤传感器
.....成都电讯工程学院 杨淑雯 叶昆璋 邹景荣 (93)
- C₁₈ 一种新的光纤连接技术—弹性石英毛细管法
.....上海石英玻璃厂 金富林 顾国璋 朱君源 (94)
- C₁₉ 非接触式光导纤维位移传感器的研制
.....北京市机电研究所光电室 吴熙 吴谦学 何燕妮 (95)
- C₂₀ 光导纤维传感器在铁路上的应用
.....铁道科学研究院 罗世新 (98)

C₂₁ 光纤传感技术

..... 西安光机所 曹光析(102)

D、梯度折射率光纤

D₁ 塑料折射率棒透镜最佳制作工艺的理论分析

中国科学院西安光机所..... 刘德森(103)

D₂ 在玻璃中碱离子一维扩散研究

..... 西安光机所 祝颂来(104)

D₃ 锥形自聚焦纤维的光学特性和应用

..... 安徽光机所 王振亚 马世春(104)

D₄ 测量自聚焦棒基本参数的简便方法

..... 西安光机所 曹庆林(105)

D₅ 大口径自聚焦材料折射率分布测量

..... 西安光机所 陈邹生 高应俊 杨炳云(106)

D₆ 远场法测量多组份玻璃自聚焦通信光纤数值孔径

..... 西安光机所 董新义(106)

D₇ GRIN棒型波分复用器结构参量的优化设计

..... 南京工学院 杨祥林 程玉琪 李京鸣(107)

D₈ 自聚焦透镜在光纤功率耦合中的应用特性

..... 上海交大电子工程系 曹介元(107)

D₉ 渐变介质光学简史及有关问题

..... 西安光机所 程希望(109)

E、普通光纤元件

E₁ 红外光纤材料—新氟化物体系玻璃的研究

..... 武汉大学化学系 张立鹏 等(111)

E₂ 红外光纤材料的研究Ⅱ、 $ZrF_4-BaF_2-GdF_3$ 系玻璃

..... 武汉大学化学系 张克立等(111)

E₃ 红外光纤材料的研究四、 $-ZrF_4-BaF_2-CeF_4$ 系玻璃

..... 武汉大学无机光纤组 戴国钧(112)

E₄ 一种红外光纤玻璃的研制

..... 西安光机所 祁学孟(112)

E₅ 对光纤面板若干质量问题的分析

..... 兵器工业部二九八厂 方强南(113)

E₆ 光纤面板用光学玻璃芯料熔制总结

..... 江苏常熟玻璃厂 (114)

E₇ 光学纤维面板退火工艺的探讨

-建材院玻璃二所 任华英 何业英 朱耀武 (114)
- E₈ 光学纤维面板热压过程中的收缩量的计算
.....兵器工业部528厂 郑良珍 (115)
- E₉ 光纤元件的刀口效应与传递函数
.....兵器工业部205所 杨照金 贾大明 (115)
- E₁₅ 微通道板综述
.....兵器工业部205所 张继胜 (115)
- E₁₁ 实心法制微通道板过程中“酸蚀去芯”工艺的探讨
.....建材院玻璃二所光纤室 石玉芬 缪坤治 (116)
- E₁₂ 微通道板 γ -射线准直器
.....航天部第二总体设计院 董佩刚 建材院玻璃二所 缪坤治 (116)
- E₁₃ 纤维光学在辐射诊断中的应用
.....北京2101信箱 黄裕年 任国光 (117)
- E₁₄ 纤维光学在军事上的应用
.....兵器工业部205所 吴登珍 (118)
- E₁₆ 纤维光学名词术语和定义汇编
.....兵器工业部528厂 周佩芬 周中岳 沃野 (118)
- E₁₆ 微通道板增益的热稳定性
.....中国科学院西安光机所 汪金祥 (119)
- E₁₇ 铅硅酸盐玻璃表面的浸折特性及其稳定化处理
.....中国科学院西安光机所 汪金祥 (120)
- E₁₈ 微通道板发展概况
.....中国科学院西安光机所 汪金祥 (121)
- E₁₉ 玻璃的二次发射和组成的关系
.....中国科学院西安光机所 焦保定 刘建彪 (122)
- E₂₀ 光学纤维面板导光芯涂确层厚度的定
.....中国科学院西安光机所 张林潘 (122)
- E₂₁ 光纤板的光吸收玻璃的研究
.....中国科学院西安光机所 马成义 (123)

F、光波导理论

- F₁ 平面波导系统的量子力学模型理论
.....上海交大应用物理系 郑杭 方俊鑫 (127)
- F₂ 任意对称界面常折射率波导的模式传播常数及吸收系数的理论计算
.....吉林大学 胡礼中 刘式慵 (128)
- F₃ 高折射率衬底上的平板波导的光学特性
.....吉林大学 马春生 刘式慵 刘明大 (129)

- F₄ 条形光波导中的二维扩散分布
清华大学无线电电子学系 孙卫民 彭吉虎(130)
- F₅ 模耦合的密度矩阵方法
南京信通工程学系 张中如(133)
- F₆ 双波导中二次谐波的产生
南京通信工程学院 张中如(135)
- F₇ 多层介质光波导求解的计算机程序的研究
华中工学院 陆冬生 黄德修 陆隧丽(136)
- F₈ 条形扩散波导的传播特性
长春物理所 金锋(137)
- F₉ Ti扩散LN光波导色散特性和模场特性
长春物理所 石邦伍(138)
- F₁₀ 光子学说和光子学
中国科学院西安光机所 李景镇(139)

G、光波导的制备和测试

- G₁ 反应溅射Nb₂O₅光波导及其应用
成都电讯工程学院 陆荣鑫(141)
- G₂ 在苯甲酸—苯甲酸锂中制备离子交换波导及其特性
陈铮(142)
- G₃ LiNbO₃单模条波导的研究
上海交大应用物理系 韩小逸 徐敬典 陈益新(143)
- G₄ 离子交换玻璃光波导
上海交大应用物理系 徐敬典(144)
- G₅ 多模掩埋式平面光波导的制作及测试
上海交大应用物理系 阮丽真 李宝贞 吴惠珍 徐敬典 陈益新(144)
- G₆ 棱镜耦合器测量薄膜折射率的准确度
上海机械学院 邵尧臣(145)
- G₇ 利用热光效应确定Ti:LiNbO₃单模波导的折射率轮廓
哈尔滨工业大学 金光海 万立德(146)
- G₈ 用不同折射率介质测定单模波导的折射率轮廓
哈尔滨工业大学 金光海 万立德(147)
- G₉ 测量聚合物薄膜折射率和厚度的新方法
南加利福尼亚大学激光研究中心 T. N. Ding, and E. G. Garmire(149)
- G₁₀ 光波导反向导模的测量
长春物理所 李玉善(152)
- G₁₁ 高折射率硫化锌波导薄膜参数的测量

- 长春物理所 徐德维等(155)
- G₁₁ CBG型光波导测试仪
 长春第一光学仪器厂 杨光元 王永兴 于立伟
 长春物理所 金锋 任秉复(156)
- ## H、光波导器件
- H₁ 混合式模截止强度调制器
 陈铮(159)
- H₂ LiNbO₃平面光波导中较高频率的声光Bragg衍射
 北京工业大学应用物理系 王靖华 何士雅 张中苏 张荣改(160)
- H₃ 薄膜波导开关(或调制器)电极设计及应用
 上海机械学院 袁一方 朱瑞永 陈抱雪(161)
- H₄ GaAs分布耦合波导型光调制器的研究
 浙江大学无线电系 王明华 江岚 刘宏岩(162)
- H₅ Ti扩散LiNbO₃波导干涉型调制器
 电子工业部44所 黄章勇 杨德伟 郑能(164)
- H₆ Bragg效应电光波导透镜
 上海交通大学 许政权(165)
- H₇ 平面光波导中菲涅尔透镜参数的确定
 北京工业大学应用物理系 饶首德 何瑜 王靖华(166)
- H₈ 球面波导短程透镜的聚焦特性分析
 天津大学光学仪器教研室 蔡德水 马国旗 康福宁 崔宇明 赵慧珍(167)
- H₉ 楔形薄膜光波耦合器的研究
 北京邮电学院应用物理系 张祖好 周虚(168)
- H₁₀ 布拉格型全息光栅耦合器
 长春物理所 徐德维 李亚君
 上海激光所 徐昆贤 唐荣森(169)
- H₁₁ 棱镜—光栅耦合器的分析和计算
 北京邮电学院应用物理系 徐力 陈德昭(170)
- H₁₂ “PW—Ⅰ型波导测试仪”精度分析与测试
 天津大学 陈万和 丁桂兰 赵慧珍
 刘桂英 崔宇明 姜 通(171)
- H₁₃ 全内反射式Ti—LiNbO₃Y型波导调制器/开关
 重庆市第三军医大学 李明(173)

I 半导体光电器件及应用

- I₁ InGaAsP/InP异质结光晶体管的研制

-上海交大应用物理系 朱雨 龚小成 朱祁沐 陈益新(175)
- I₁ InGaAsP/InP异质结光晶体管的数值模拟
上海交大应用物理系 朱雨 龚小成 陈益新(175)
- I₂ 适于半导体集成光学的低温LPE生长
吉林大学 张国义 施丽娟 刘式燊(177)
- I₃ 适于聚酰亚胺光波导的G₂A₂镜面的化学刻蚀
吉林大学 刘明大 刘式燊 张晖 李淑文 马春生 张国义(178)
- I₄ 脉冲阈值法测注入式激光器载流子寿命
长春物理所 赵鲁光(178)
- I₅ 1.3μm InGaAsP/InP DH激光器PN结特性的检测
长春物理所 张自芬 孟淑华 武胜利 李向文 赵鲁光(180)
- I₇ 分析光波导耦合系统的一种新方法
成都电讯工程学院 杨淑霞(180)
- I₈ 分析球透镜单模光纤连接器损耗特性的一种新方法
成都电讯工程学院 李江(182)
- 编后记.....纤维光学和集成光学专业委员会筹备组(183)

一定要用最先进的科学技术 来建设我们的祖国

中国科学院学部委员
中国光学学会名誉理事长 龚祖同
中国科学院西安光机所名誉所长

最先进的科学技术而不提最新的科学技术，一般说来最新的就是最先进的，所谓后来居上“今胜昔”。但老的中间也有正确的，也有不被淘汰的，这部分也是先进的，我们还要保存它，不能放弃。也有可能，老的科技里，我们保存它的正确部分而抛弃它的落后即不正确的部分，而仍用它正确的部份。譬如建设政治方面，我们必须用最正确最先进的共产主义，但对古来正确的也就是先进的遗产，也仍须加以保留和发扬。

在另一方面看，最先进的科学技术也不是可以一步登天的，万丈高楼平地起，这是朴素的真理，所以我们也不可以急躁，应该持之以恒，不怕失败，再接再厉，以达到最后胜利。

对光学领域而论，旧基础必须巩固提高，新领域要勇敢地占领。光学纤维方面从荷兰人Van Heel用玻璃管作套层(cladding)，解决了光学绝缘，并于1970年美国 corning 公司的 kapton 等人用气相沉积法把光纤损耗降低到20分贝/公里后，其应用范围，有所突破。光通信，光纤陀螺，和其它传感器蓬勃发展，成为第三次新技术革命内容之一。集成光学将是光计算机的主要骨干。这个专业学会——纤维光学和集成光学专业学会的成立，标志着我国这个新领域的全国性的组织规划的建立。我预祝这个组织的发扬光大对四个现代化作出应有的贡献。对这本摘要，我引改诗经上的四句，以作祝词：

“高山仰止
景行行之
暂不能至
然力向往之 ”

！

A1 光纤研究新进展

张 英 华

(中国科学院上海硅酸盐所)

纤维光学工业近年得到了飞速的发展, 光纤研究开辟了光纤通信和光纤传感技术等新的应用领域, 正在使信息的传输和转换产生革命的变化, 近年来, 单模色散位移光纤, 单模单偏振光纤和红外光纤等研究蓬勃发展, 并产生了一批有应用价值的成果, 下面简要地将光纤研究的进展作一介绍。表 1 列出光纤技术的发展和实用化阶段:

表 1 光纤技术实用化阶段

	应用	光 纤		技术特点	光源/探测器
		波 长	品 种		
第一代 1978-1982	中心办公室间 干线	0.85 μm	多模阶跃 多模梯度	单感光缆	GaAs/Si
第二代 1980-1984	长距离干线 二点之间 数据连线	0.85-1.30 μm 1.30 μm 0.85 μm	多模梯度、 单模 单模 多模阶跃 多模梯度	机械联结	GaInAsP/Ge
第三代 1982-1987	中心实验室干 线-WDM 数据网络 军事	0.85-1.3 μm 1.3 μm "	多模梯度 " "	熔接技术	GaInAsP/ PINFET
第四代 1984-1990	改进长距离干线 海底系统 光纤传感器	1.55 μm 1.30 μm 0.6~1.3 μm	单模 多模梯度 单模单偏振	耦合器 WDM 器件	C ^s ?
第五代 1987-2000	本地回路或 称本地网络	1.3~1.55 μm > 2 μm	?		集成光学

一、光纤制备工艺

光纤制备工艺都采用气相反应法。目前沿用的有改良化学气相沉积法(MCVD法)^[2], 等离子改良化学气相沉积法(PMCVD法)^[3], 外沉法(OVD法)^[4]、气相轴向沉积法(VAD法)^[5]和等离子气相沉积法(PCVD法)^[6]多种工艺, 近年来研究的重点是提高气相沉积法的沉积速率, 降低成本, 获得高生产效率的工业生产方法。

在这方面,上述几种工艺都得到了显著进展。

上述各种工艺的原理图简示于图1。改良化学气相沉积法(MCVD法)又称内沉法^[7]广泛被世界各国所采用,其简单原理是:氧氢气饱和了卤化物原料(SiCl_4 、 GeCl_4 、 PoCl_3 、 BBr_3 等)与反应氧气一起进入固定在玻璃车床上旋转的石英管内,在管外氢氧焰加热至1400—1600℃产生氧化反应,生成亚微米级的石英玻璃细粉沉积于石英管内壁,并熔融成玻璃薄膜,包芯层,一般沉积几十层然后停止加料于2000℃高温下,籍石英管的表面张力将石英管熔缩成实心预制棒,MCVD法的微粒沉积受热泳现象控制。热泳的基本机理是处于温度梯度下的悬浮子受到朝温度降低方向的净力作用而向低温管壁迁移并产生沉积,其沉积效率与 $[1 - T_e/T_r]$ 成正比, T_r 是反应温度, T_e 是气体下方的温度。与此同时,在高速沉积的情况下,也需考虑高速气流下的热转换对化学反应的限制,采用增加热带长度,增加He气提高气体热扩散率 α 的条件下降低总气体流量。

等离子改良化学气相沉积法(PCVD法)是以 $\sim 4\text{MC}$ 的射频线圈套在 $\phi 50\text{mm}$ 的石英管外,在加热区下方用水冷却。由于激发的等离子体温度高达近万度,增强了热泳力,使沉积速率可达6克/分、MCVD工艺易掌握,设备投资较低。

外沉法(OD法)和气相轴向沉积法(VAD)法都采用火焰水解原理,即卤化物在氢氧焰的火焰高温下直接水解氧化产生亚微米级的石英玻璃细粉并放出盐酸气。产生的石英微粒形成多孔状的预制棒,然后再进行通氯脱水烧结成透明的光纤预制棒。OD法采用横向逐层沉积,因此可象MCVD法那样控制每层的掺杂量来制备特定结构的光纤。VAD^[8]法则采用重直方向沉积,梯形和特定波导结构是籍掺杂剂在空间的浓度扩散和不同温度下不同的反应率来获得,芯包层采用不同的喷灯来完成。热水解的优点是反应沉积速率高,被认为是制备大预制棒的较经济的工艺方法。其缺点是工艺较难掌握,尤其是VAD法在折射率剖面控制和烧结过程的工艺控制都比较复杂,近年来都取得了突破,成为生产光纤的主要工艺。

等离子激活化学气相沉积法(PCVD法):该法采用2.45GHz的微波谐振腔激活非等温等离子体获得高温触发气体反应,其反应效率 SiO_2 约100% GeO_2 约为85%,是该工艺最大优点,但是从目前最高沉积速率为2克/分,一般是5克分的水平,与前三者相比,经济效益极差,不为世界各国普遍采用。

表2列出了各种工艺制备法目前的水平。

二、多模光纤

多模光纤有芯层折射率为恒值的阶跃型和芯层折射率按幂指数函数分布的梯度型光纤二种(图2),前者带宽较低,因此,随着梯度型光纤制备工艺的掌握已逐步被后者所取代。近年来,主要进展是长波长($1.30\mu\text{m}$)第二代多模光纤由研制进入实用化。研究重点有下面几个方面:

(1) 羟基杂质损耗的降低:^[9]

光纤的总损耗 α 由下列几项组成: (1.3)

$$\alpha = a/\lambda^4 + b + c(\lambda) + \alpha_1 e^{\lambda_2/\lambda_0} + \alpha_2 e^{\lambda_2/\lambda_0}$$

式中: a/λ^4 为瑞利散射损耗, a 为瑞利散射系数, λ 为波长。

b 为结构不完整损耗又称波导损耗

$c(\lambda)$ 为杂质吸收损耗

$\alpha_1 e^{\lambda_1/\lambda_0}$ 为红外吸收损耗

$\alpha_2 e^{\lambda_2/\lambda_0}$ 为紫外吸收损耗

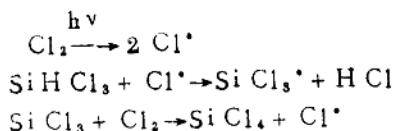
表2 各种光纤制备法的比较

性能	MCVD法		OVD法	VAD法	PCVD法
	标准的	PMCV D法			
NA					
典型的	0.23	0.23	0.2	0.2	—
已报导的最高水平	0.39	—	0.3	0.32	0.35
沉积速率 (g/min)					
典型的	0.35—0.5	3.5	1.1	0.4	0.5
已报导的最高水平	2.3	6.0	4	4.5—5	1.3
拉制最长光纤(km)	40	>20	50	220	16
损耗: (db/km)					
一般水平					
0.85 μ m	2.8—2.9		2.5—2.9	2.5	
1.3 μ m	0.55—0.83		0.55—0.83	~0.5	
1.5—1.6 μ m					
最高水平					
1.3 μ m	0.32	0.7	0.45	0.42	1
1.5—1.6 μ m	0.22	0.5	—	0.2	0.8
带宽 GHz, km					
一般水平					
0.85 μ m	0.680	—	0.80—1.0	1	—
1.3 μ m	0.870	—	0.80—1.0	1.3	—
最高水平	4.7 (NA = 0.32)				
1.3 μ m	2 (NA = 0.29)		2	9.7	2.3

目前随着工艺水平的提高, 由芯包界面不完整和光纤内部气泡夹杂物等引起的波导损耗 b 下降到 $0 \sim 0.1 \text{ db/km}$ 紫外本征和红外本征损耗主要取决于光纤材料的组分, B—O, P—O, Si—O, Ge—O 键的基本振动频率分别为 $7.3; 8.0; 9.2$ 和 $11.0 \mu\text{m}$, a/λ^4 瑞利散射由于工艺改进也能降低得极限, 它是工艺和组份的函数。因此, 对于过

渡金属离子杂质基本可以忽略不计的情况下,对制备长波长多模光纤主要是控制和降低羟基的杂质含量。羟基O H的基本振动在 $2.73\mu\text{m}$,因此,在 $1.39\mu\text{m}$ 和 $0.95\mu\text{m}$ 处出现第一、二次谐波的吸收。1PPM O H在相应波长产生 1db/km ($0.95\mu\text{m}$)和 65db/km ($1.39\mu\text{m}$)的损耗。

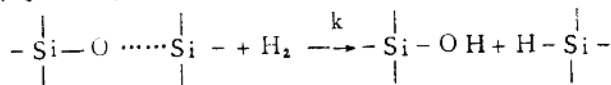
降低羟基含量的途径首先是降低卤化物中含氢杂质的含量^[10],一般 SiCl_4 中含有 SiHCl_3 几+至几千PPN,其他卤化物原料中亦含有-CH和-OH杂质,采用通气和紫外光辐照,使 H^+ 与 Cl^- 产生光化合作用,反应如下式,经这样处理的卤化物原料中的含氢杂质可下降至5PPM以下。



在MCVD光纤制备中羟基在沉积和塌棒过程中与光纤结合率的比率约为1:10^[11]即塌棒过程对光纤损耗影响较大。采用氯气使羟基变成氯化氢逸出,从而使光纤中羟基的含量下降至3PPb左右,于 $1.39\mu\text{m}$ 仅产生 1db/km 的损耗,通气的方法也被OVD和VAD工艺所采用,在多孔须制棒烧结时通 Cl_2 (或 SOCl_2)、 He 气氛中进行,获得了满意的结果。光纤中的羟基已降低至 $<0.8\text{PPb}$,获得了自 $1.2\sim 1.6\mu\text{m}$ 损耗都 $<0.5\text{db/km}$ 的宽窗口光纤(图4)^[12]。

(2)掺氟包层及的研究^[13],由于B-C键的红外基本振动在 $7.4\mu\text{m}$ 。为了获得超低损耗的光纤,选择氟掺杂剂代替硼以获得比纯石英折射率为低的包层是有利的。氟掺杂剂用 SF_6 、 CF_4 、 eCl_2F_2 等原料引入,使光纤长波长 $1.30, 1.55\mu\text{m}$ 的光纤损耗达到了理论极限。采用氟掺杂剂,由于在高氟含量情况下会对玻璃产生腐蚀,因此用它来降低和消除MCVD和PCVD法光纤的中心凹陷方面取得新进展,例如用液相腐蚀剂(如 HF 溶液加 NH_4F 缓冲剂)或气相腐蚀剂(氟化物如 CF_4 或 SF_6)腐蚀掉低掺杂层,以消除或降低光纤中心凹陷。该法同样可用于制备单模光纤的工艺中,用此法已制成了无中心凹陷和凹陷小的单模光纤。^{[14][15][16][17]}

3、光纤损耗的长期稳定性:^{[18][19][20]}最近,发现掺磷尼龙护套的光纤在海底光缆的使用条件下和高温下, $1.30\mu\text{m}$ 的光纤损耗产生不可逆的增加, $1.2\sim 1.6\mu\text{m}$ 范围增加 $0.2\sim 0.6\text{db/km}$,实验证明,石英支撑管和尼龙护套产生氢气,氢气扩散进入石英光纤与 SiO_2 中的氧生成羟基,其反应如下:



O $\cdots$ Si代表Si-O键的断键。

$$d[\text{Si}-\text{OH}]/cH = k[\text{Si}-\text{O} \cdots \cdots \text{Si}][\text{H}_2]$$

$$[\text{Si}-\text{OH}] = K[\text{Si}-\text{O} \cdots \cdots \text{Si}] \int_0^t [\text{H}_2] dt$$

羟基O H的形成是与产生氢分子的时间累加的氢分子浓度成正比, O H于 $1.39, 0.95\mu\text{m}$ 产生吸收峰, H_2 分子于 $2.42, 1.88, 1.245, 0.85\mu\text{m}$ 处产生吸收,前者对损

耗增加为不可逆的,后者为可逆的。当光纤掺磷的情况下,5价磷在石英玻璃中产生缺陷如形成非桥氧或氧空位。 H_2 分子较易溶解在缺陷附近,因而易与磷结合生产 POH ,对于不同的磷含量0.1% (超低P); 1% (低P) 和7.5% (高P) 的光纤于不同 H_2 浓度的气氛中于50℃进行加速试验,结果表明: $1.6\mu m$ 处 POH 的吸收峰由高磷至低磷光纤下降很快,而从磷至超低磷下降变慢,从实验估算光缆内 H_2 压为0.075atm。实验推算,高磷光纤2年损耗增加3.8db/km,而低磷纤维于 $1.30\mu m$ 在2、20、200年损耗增值仅为0.02、0.03、和0.04db/km,可认为是无影响的。

VAD能制备无磷光纤,对于光纤损耗的长期稳定性无疑是有利的。

(4) 卤化物反应热力学与动力学的研究: [21][22][23] 掺杂石英光纤对光纤折射率的贡献是组成光纤波导结构的基础,各种掺杂剂对折射率贡献见图5,因此,研究卤化物的化学反应,作者采用多相体系的最小自由能组合的计算机程序u、S、Oak Ridge National Laboratory SOLGASMIX-PV 程序,为Eriksson和Rosen所发展SOLGASMIX程序的扩展。程序的最大处理量为20种元素,99种物质和包括气相组份在内的10种混合物,多相系统自由能参数的表示式为:

$$G/RT = \sum_{i=1}^{m_P} n_{Pi} \left[\left(G_i/RT \right)_{Pi} + l_{Pi} P + l_{Pi} \left(n_{Pi} / N_P \right) \right]_{P=1} \\ + \sum_{p=2}^{q+1} \sum_{i=1}^{m_p} n_{Pi} \left[\left(G_i/RT \right)_{Pi} + l_{Pi} \left(n_{Pi} / N_P \right) \right] + \sum_{p=q+2}^{q+s+1} \\ + \sum_{i=1}^{m_p} n_{Pi} \left(G_i/RT \right)_{Pi}$$

式中: G 为系统的自由能, n_i = 分子 i 的摩尔数, G^0_i = 分子 i 的标准自由能, R = 理想气体常数, T = 绝对温度, m_P = p 相中分子种类数, P = 总压力, N_P = p 相的摩尔数, 气相: $P=1$, 混合物相 $P=2-(g+1)$, 纯凝浆相 $= (q+2)-(q+s+1)$ 。

用上述最小自由能的表式在选择合适的分子种类和热力学数据后,对化学气相化应法制备光纤的基本反应; $SiCl_4 - GeCl_4 - POCl_3 - O_2$; $BBr_3 - SiCl_4 - C_2$; $SiO_2 - CH_4 - H_2O - O_2 - CF_4$; $SiO_2 - CH_4 - H_2O - O_2 - SOCl_2$ 进行计算。其结果与kleinest和Wood等人的计算得到满意的吻合。计算结果表明: $SiCl_4$ 在所有温度 $\sim 2000^\circ K$ 的情况下,完全氧化变成二氧化硅,而 $GeCl_4$ 只有部分卤化为 GeO_2 一般 $<30\%$ 。

气相反应中的水份在氯气存在的情况下产生如下反应: $H_2O + Cl_2 \rightleftharpoons HCl + \frac{1}{2}O_2$

$$\therefore C_{OH} \propto \frac{P_{H_2O}^{1/2} P_{Cl_2}^{1/2}}{P_{O_2}^{1/4}}$$

在有3-10% Cl_2 存在情况下,几乎全部的 H_2O 转化为 HCl 而不结合进预制棒,其结合比率约为1/1000。氟化物比氯化物具有更强的脱水作用。