

OFS ' 93

全国光纤传感学术交流会
论文集



1993 . 12 . 北京

OFS ' 93

全国光纤传感学术交流会
论文集

主办单位:

仪表元器件学会光纤传感专业委员会
敏感技术学会光纤传感专业分会
清华大学电子工程系

承办单位:

清华大学电子工程系

1993 . 12 . 北京

目 录

一、综 述

前苏联特种光纤及传感技术发展概况-----	关铁梁	(1)
21世纪光纤传感器-----	刘瑞复	(2)
光纤核测井传感器-----	廖延彪、孙德兴等	(5)
光纤陀螺的实用化进展-----	阎勇志	(10)
集成光学型光纤陀螺仪-----	周世勤	(13)
光纤振动传感器研究新进展-----	许大信	(16)
双路比较法光纤传感器的探讨-----	王惠文 何蔚等	(17)

二、光纤传感网

高精度光纤油罐群检测系统-----	廖延彪	(20)
光时分光纤传感网设计及其可靠性初探-----	查开德、王向阳	(23)
分布式光纤温度传感器系统研制中的若干问题-----	张在宣、刘天夫等	(29)
多路复用激光调频光纤位移传感技术的研究-----	田芊、章恩耀等	(32)
光纤温度传感网的试验研究-----	李文、廖延彪	(37)
一种新型的光纤阵列传感方式-----	徐亚庆、陈伟民等	(42)
光纤传感网络系统的研究-----	刘瑞复、奚小春等	(45)

三、光纤温度传感器

双金属片型光纤温度传感器的实用化研究-----	赖淑蓉、李雪松等	(48)
光纤温度传感器-----	赵杰、崔大付等	(51)
一种新型光纤测温仪-----	戴衍	(55)
一种实用反射式常温光纤传感器-----	黄文铃、卢文全	(58)
双折射式光纤温度传感器的研究-----	李文、廖延彪	(60)

四、光纤应力应变传感器

新型光纤应变传感器-----	查开德、唐平生	(64)
利用随机壁微扰辐射损耗的光纤传感器-----	林有义、张家雨	(68)
光纤油罐计量系统及其在工业实用化中的稳定性研究--	金晓丹、丁建华等	(70)
光纤应变计在大型构件检测中的应用-----	刘瑞复、袁凡等	(72)
绞合式形变光纤传感器敏化方案的探讨-----	何蔚、王惠文等	(75)
一种测量构件形变用的光强调制式光纤传感器的实验研究-----	董毅、李乃吉等	(78)

五、光纤位移传感器

光纤液位传感器-----	张树全、康崇	(81)
GYY-2型地面加油用(小鹤管)光纤液位监控计量仪----	施庆麟、徐沁	(83)
油罐车光纤动态波浪测试系统-----	姜德生、罗世升	(86)
微型光纤位移传感器及其量程扩展-----	阙道谦	(90)
测量剧烈振动环境中的相对位移量的光纤传感器的研究-	朱延彬、马俊富等	(93)

六、光纤传感技术及器件

线双折射光纤Kerr效应分析-----	陈洋训	(94)
机器人接近觉光纤传感器的研究-----	赵卉铃、王惠文等	(97)
相干纤维束的MTF特性-----	陈焕坤、钱安平	(100)
胶膜对PIN光电探测器光谱的影响-----	杨易、郭志彦等	(103)
复合材料光纤固化监控方法探讨-----	曹和、王立新等	(109)
一种实用的光纤水听器的信号检测方法-----	陈前颢、陈小宝	(113)
单根少模光纤模模干涉传感器-----	程玉琪、郑小平	(116)
光纤连接耦合透镜的研制-----	孙德兴、陈守六等	(119)
大功率量子阱半导体激光器光束特性的实验研究-----	赵华凤、杜戈果等	(122)
用于CH ₄ 气体传感的掺Tm ³⁺ 光纤宽带光源-----	董小鹏	(123)
差动输入光电接收模块的应用-----	宁鸣、奚小春	(124)
用于光纤传感的稀土掺杂光纤ASE光源-----	明海、刘宇等	(126)

前苏联特种光纤及光纤传感技术发展概况

关 铁 梁

电子部四十六所 (邮编300192)

摘 要:

本文根据1993.4.28/30。在彼得堡召开的第三届国际苏联纤维光学及通信会议(Third International Soviet Fiber Optics and Telecommunication Conference)内容和对俄罗斯多个科研机构考查了解的情况,综述俄罗斯特种光纤及光纤传感技术发展的最新概况。

若干年来,人们较多的注意向欧美及日本等先进工业国进行技术交流及合作。前苏联是一个军事大国。航天及其他许多高技术领域都属军工项目。随前苏联的解体,形势发生了很大变化,这也为同他的进行技术交流提供了更多的机会。其实,前苏联在光纤基础理论及应用研究方面做了大量工作。有些在国际上也颇具特色。有不少值得我们借鉴或学习之处。

在光纤技术领域中,新出现的一种趋向是人材外流。美国电话电报公司和康宁玻璃公司与俄科学院普通物理所等全国性研究机构签订了有关合同。合同自92.8.1生效。由俄科学家在国内为美公司开展高强度光纤,稀土掺杂有源光纤,光纤包层新材料及光纤中光孤子传输等项研究工作。美公司为俄科学家提供80美元/月的津贴(93年上半年俄科学院一般研究人员的平均工资为6300卢布,约合7美元),并负责在美国履行高技术出口限制的范围内,为俄提供大量先进仪器设备。研究成果俄科学家享有其在俄国内的专利权。美国则享有该成果在除俄罗斯以外其他国家的专利权。

本文在给出诸如上述一般介绍后,重点以俄罗斯共和国为主,综述如下几方面发展情况:

- 1、光纤传感器用特种光纤;
- 2、掺铒及其他稀土元素的有源光纤及放大器;
- 3、椭圆偏振保持单模光纤;
- 4、光纤受激励曼散射的研究;
- 5、 γ 辐照后光纤损伤的研究;
- 6、光纤中的光孤子;
- 7、光纤偏振器;
- 8、各种光纤传感器,如磁场、温度梯度、压差、旋转及分布式光纤地震传感器等。

21世纪光纤传感器

刘瑞复

北京光通信公司

北京朝阳区麦子店正街80号

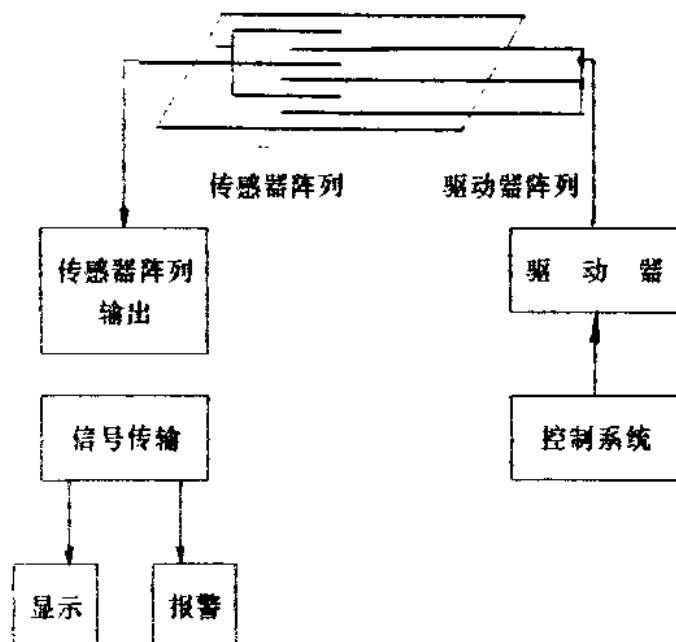
根据市场需要不断创新和创建新原理、新设计，推出新型的敏感元件，走集成光学之路。

目前国际上推出的21世纪光纤传感器，正是这种高技术的成就，下面分别介绍灵巧传感器的技术和目前世界进展动态。

(一)、灵巧的光纤传感器结构工艺

1991年4月14日灵巧结构研究院，首先在欧洲Campus Strathclyde(坎姆波斯，斯特拉斯鲁得)大学正式建立。(officially inaugurated on the Campus of the University of Strathclyde).

评论家说“灵巧传感器结构概念的出现，是象征21世纪的技术，思想是简单的，传感器和驱动器加在结构内部，并能反映出周围环境的变化和结构载荷的变化。不仅能识别周围环境的变化，而且能及时显示报警。在欧洲、日本这种研究非常活跃。其原理结构图如下：



灵巧光纤传感器结构原理图

灵巧光纤传感器的应用：1、能够探测结构内部的损害、应力、冲击、爆炸。
2、这种结构最重要的是检测和控制自动探动参数。3、自动调节材料随外界变

化的作用。

(二)、研究院的建立

这个研究灵巧结构技术协会为什么建立在Strathclyde大学呢？有下述几点理由：

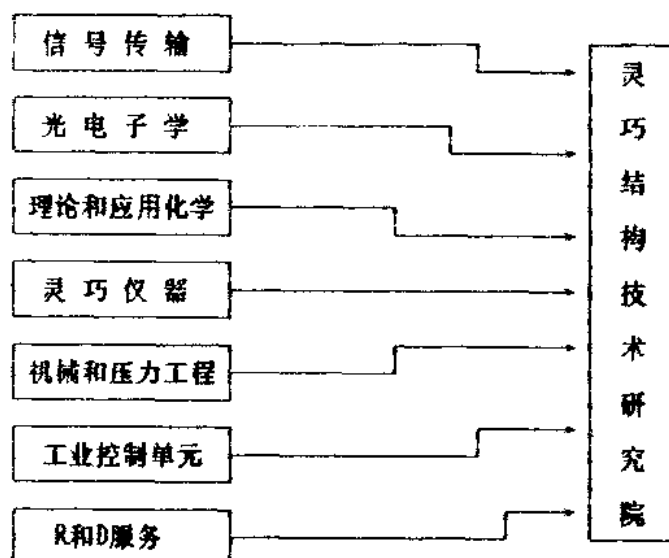
1、过去这几年，这所大学开展了这方面的基础研究工作，从试验到理论以及与之有关的嵌埋传感技术和大量的信息传输，材料研究和控制工程的研究工作。

2、丰富的研究成果，切实可行的方案运用到工业部门，得到政府实验室的支持。

3、研究灵巧结构技术的应用，需要得到基础科学和大学的支持。

4、灵巧结构技术是向真实综合技术研究的挑战，是最好的使研究更趋于完善的实用的技术。

5、详细的研究论点即制定技术钥匙和基础科学的建立，下述方框图为制定灵巧技术大学的方框图。



这个研究院的使命是要成为世界知名的研究中心，并领导着灵巧结构技术的研究工作。

(三)、经营管理部门

经营管理部门是多学科训练的决策部门，是研究院建立的最合适的工作体制。经营部门工作效率是一把重要的钥匙，这就是校长和经理的职责。他们应当经常写报告把市场需要的信息反馈给研究院的教授和研究人員。

(四)、研究院成员计划

研究院成员计划是提供给公司在发展灵巧结构技术道路的一件非常重要的措施。应使主要的合作者明白，监测世界技术的发展是不容易的，尤其是要特别重视、密切与灵巧结构相关技术的发展。为此需加强综合训练。

(五)、研究院成员的责任和义务

研究院的成员应积极主动的提供灵巧结构技术发展道路上的各种技术工艺。

1、报导新消息的季刊

2、数据基础

广泛的技术数据，包括灵巧结构技术各研究站的研究信息和应用信息。

3、年会及年刊

包括研究院和研究经理确定的会期，加上专家们和会议成员们的发言。

4、研究班和工作车间

研究院应当计划转向研究班和工作车间的建立，传感器的分布制造和改进（例如：保获）和传感器件的埋置。

无论是年会还是研究班和工作车间，所有这些都应当为会员提供论坛的地方，使之相互接触和讨论灵巧传感器的技术工作，使研究生气勃勃。

(iv)、会议成员

很多组织已经很有兴趣参加此研究院成员，超过60多个单位，因此在91年4月11日开始成立这个会员会时，有世界上各政府实验室和研究院参加。

这些包括材料的发展、石油化工、空间科学、公众工程、合成材料制造、仪器和器件，主要的研究者来自英国、欧洲和美国。

(v)、年刊的预订

年刊的预订为2英镑（£2），内容广泛，假如你希望了解什么是灵巧结构技术研究院，或者你打算今后从事这方面的研究工作，请你去信和他们联系。

光纤核测井传感器^①

廖延彪

北京清华大学电子工程系 邮编: 100084

孙德兴 王余君 颜保缺

北京中科院声学所 邮编: 100080

一、引言

核探测技术具有悠久的历史,应用领域也极为广泛,从医疗卫生,环境监测到工业,农业和军工国防。本文针对地质物性探测进行论述。

核测井,特别是保测地质油层储量又是其地质物性探测的重点工作。核测井探测技术自三十年代问世以来,在不断地完善发展,前苏联核测井装备八十年代占整个测井装备的30%;美国七十年代已达62.5%,其它石油大国也相继投资引用。我国的核测井探测地质石油技术也越来越受到重视,如江汉、大庆、胜利、华北等油田,均已开始研制试用,中国海洋石油测井公司,也建立了自己的检测、标定核测井的刻度井,为研制和使用核测井探测器提供了必不可缺的判别条件。核测井主要有它独有的优点:核测井能充分发挥它对地质油层的“识别”能力,从而做到合理布钻,放稀勘探网度,增加无岩芯钻井比例,达到降低勘探成本,提高勘探工作质量和效率,缩短勘探周期的目的。如92年夏季,在北京通过鉴定的“高分辨率俘获伽玛能谱测井系统”,这是继美国之后,第二个研制开发成功此类核测井设备的国家,这对我国地质勘探应用将是一次重大突破。

光纤传感技术是伴随着光通信的发展而迅速发展起来的一门高新技术,它的优点和特长将在后面详细论述。光纤核测井传感器正是把这二者之长置于一身,使测井技术再上一个新台阶,中外专家学者,就是在这一思路的指引下提出来的,并投入人力,财力予以探索研究。

二、核技术在石油测井中的应用

在石油勘探开发过程中,常需利用测井方法确定石油储层的物性:孔隙度和渗透性,以及含油特性:含油饱和度和含水饱和度,并由此评价油层的开采价值及决定相应的开采工程措施,因此在石油勘探开发中测井是十分重要的技术。

随着核保测技术、放射源种类及核电子学的发展,核测井已是石油测井中的一个重要方面,并已逐渐发展完善,到目前为止,已经有自然 γ 测井、中子 γ 测井、双寿命测井、快中子非弹性散射测井(C/O比测井)、中子活化测井及同位素示踪等许多核测井的方法,用这些方法可以解决有关地层的岩性物理问题,例如:求准储集层泥质含量及划分岩性(自然 γ 能谱测井,自然 γ 测井);求地层孔隙度及划分岩性(补偿密度测

^①此文根据中国海洋石油测井公司委托资助的调研报告整理而成

井、补偿中子测井、井壁中子测井、岩性密度测井)；求地层矿物成分(中子活化测井)；在套管井里对地层进行油水含量分析(中子寿命测井、C/O比能谱测井等)，近年也开始用核技术解决地层含油特性问题的研究。

核测井技术在我国发展较早，在50年代中期就从苏联引进了自然 γ 、中子 γ 测井仪，随后我国也组织生产了这两种仪器，但发展较慢，直到70年代中期才具备常规的核测井技术，80年代是我国核测井发展最快、成果最多的时期，各种核测井研究的基础设施先后建立，它提高了核测井的运用效果，使核测井资料由定性向定量过渡，并促进了一些新的测井方法及器件、仪器研制成功，例如：完成了耐高温150℃、高效率的闪烁计数器的研究；完成抗高压 $100 \times 10^6 \text{Pa}$ 的铍窗的研究；完成了抗堆积、耐高温150℃的快速放大电路研究等。另外由于核技术的发展，核反应堆工程中一些理论问题的计算方法，也开始在核测井领域中应用，最近，在测井矿物分析方面核测井也已用于解决地层岩性与物性的研究，并已开展了许多分析方法的研究，已研制成矿物分析测井仪^[1]。

三、光纤传感技术简介

光导纤维利用光的全内反射原理传导光波，它主要由两层媒质构成，内层为纤芯，外层为包层，纤芯的折射率比包层折射率大，当满足一定的人射条件时，光波就能沿着纤芯向前传播，光导纤维最早在先学行业中用于传光及传数，在70年代初生产出低损耗光纤后，光纤在通信技术中用于长距离传递信息。但是，光导纤维不仅可以作为光波的传播媒质，而且光波在光纤中传播时，表征光波的特征参量(振幅、相位、偏振态、波长等)，因外界因素(如温度、压力、磁场、电场、电流、电压、转动...)的作用而直接地发生变化。从而可将光纤用作传感元件来探测各种物理量，这就是光纤传感器的基本原理。

与传统的传感器相比，光纤传感器的主要特点是：

1. 抗电磁干扰、电绝缘、耐腐蚀、安全。由于光纤传感器是利用光波传输信息，而光纤又是电绝缘、耐腐蚀的传输媒质，因而不怕电磁干扰，也不影响外界的电磁场，并且安全可靠，这使它在各种大型机电、石油化工、冶金等行业以及强电磁干扰、易燃易爆、强腐蚀等环境中能方便而有效地传感。

2. 灵敏度高。利用长光纤和光波干涉技术使不少光纤传感技术的灵敏度优于一般的传感器，其中有的已由理论证明，有的已经实验验证，如测量水声、加速度、辐射、温度、磁场等物理量的光纤传感器。

3. 重量轻、体积小、外形可变。光纤除具有重量轻、体积小的特点外，还有可绕性的优点，因此利用光纤可制成外形各异、尺寸不同的各种光纤传感器。这些都有利于测井等技术在狭窄空间的应用。

4. 对象广泛。目前已有性能不同的测量温度、压力、位移、速度、加速度、液位、流量、振动、水声、电流、电场、磁场、电压、核辐射等各种物理量的光纤传感器。此外，光纤传感器还具有对被测量介质影响小、便于复用，便于联网，成本低等优点^[2~5]。

四、光纤核探测器在石油测井中的应用现状

光纤传感器具有上述诸多优点，因而在石油工业有广阔的应用前景，有的已在现场使用，例如：用于测量油罐液位、压力、温度等的光纤传感器已在许多油田或油库使用多年。

在石油测井的核探测方面，目前有两种类型的光纤核探测器：一种是传光型—利用已有发光类型的核探测器（例如闪烁探测器、切伦柯夫探测器、热释光和荧光玻璃探测器等）通过光纤的传光作用，把核探测器的信号传给远处的光电探测器，如光电倍增管等；另一种是传感型—利用核辐射对光纤的作用来探测核辐射量。下面对其分别给以介绍。

1. 传光型光纤核探测器

光纤仅起光信号传输作用的传光型光纤传感器是目前广为应用和大家极为感兴趣的一种光纤传感器，光纤在这里只是传光元件，不做敏感元件，是一种广义的光纤传感器，它虽然失去了“传”、“感”合一的优点，还增加了“传”和“感”之间接口，但由于它可以充分利用已有敏感元件和光纤传输技术，因而最容易实用化，同时，光纤本身电绝缘、抗电磁干扰等优点，是具有极大竞争力，目前，它是各类光纤传感器中技术经济效益较高的。

利用光纤把闪烁探测器等核探测器发出的光使号传送到光电倍增管进行光电转换的优点是：

- 可把光电探测器远离闪烁体，以降低光电探测器成本；
- 光电探测器不在工作区，可增加其安全性以及改善信号的抗电磁干扰性；
- 由于用光纤（或光缆）连接闪烁晶体和光电探测器，因此通过利用光开关技术和光电探测器光敏面较大的优点，可使一个光电探测器和多个闪烁晶体相连，以降低核探测器的成本。

用光纤连接闪烁晶体和光电倍增管以构成传光型光纤核探测器的困难是光能损耗较大，其原因是：

- 闪烁晶体和光纤连接的耦合损耗，由于闪烁晶体的面积较大（为提高探测效率），晶体的折射率较大，有的高达1.9~2.0，因此与光纤耦合效率较低，为此要进行专门设计，以提高耦合效率；
- 光纤本身的固有损耗，目前通信用石英系光纤的损耗在长波段1.3~1.5 μm 范围，为0.5dB/km，但在可见波段0.4~0.7 μm 范围，其损耗增大到10dB/km，而目前使用的闪烁体，其发光的峰值波长均在0.4~0.5 μm 之间^[6]，目前，为与光纤配合使用，正研制长波长的有机闪烁晶体材料，现在我国已研制成波长为0.61 μm ，发光衰减时间为2.6 μs 塑料闪烁体^[7]，国外也有类似结果报导^[8-10]。

2. 传感型光纤核探测器

利用光纤本身既作为核辐射的敏感元件又作为光信号的传输元件而构成的光纤核探测器为传感型。

核辐射对光纤产生如下一些效应：

(1) 材料形变: 光纤在核辐射作用下发生变形 (尺寸的变化, 微观结构的变化, 密度的变化以及引起一些缺陷和退火效应^[8-14]。

(2) 折射率变化: 上述材料变形的效应将导致光纤折射率的变化。已报导的结果有: 用 Co 发出的 1krad 的 γ 射线照射阶跃光纤, 纤芯和包层半径的变化分别为 3.9% 和 1.8% , 纤芯和包层折射率的变化分别为 2.8% 和 2.26% ^[15]。

(3) 热释光: 热释光是光致发光, 是在 70 年代发展起来的一种固体发光材料^[16-18], 它和作为计数器运用的闪烁体不同, 在射线作用下它们不是立即发光, 而是把能量贮存累积起来, 在需要时通过光激发或热激发使其发光, 再进行测量, 在这一点上与核乳胶和 X 光胶片类似, 因此常用作人体受核辐射的剂量的核探测器, 热释光的材料很多, 主要的有 LiF , $\text{CaF}_2(\text{Mn})$, $\text{CaF}_2(\text{Dy})$, $\text{CaSO}_4(\text{Tb})$, Al_2O_3 等, 括号内元素 Mn 、 Dy 、 Tb 和晶体中晶格缺陷均起陷井作用, 在辐照后形成潜在发光中心, 只有加热后才发光, 它发出的光强和加热温度有关 (即发光强度~温度曲线, 在光纤中也已观察到热释光现象, 并开展过研究^[16,17]。

(4) 模式特性的变化: 光波在多模光纤中传输时有许多模式, 这些模式相应于光纤中有不同的空间取向 (传播方向)。单个模式在光纤中的传播路径会因光纤的辐照而发生变化, 光纤折射率变化就可引起这种效应, 光纤因辐照引起的吸收也会产生这种效应, 模式的变化可通过两种办法进行探测, 一种是测量光脉冲通过光纤后色散的变化^[18,19]; 另一种是直接测不同模式在空间分布的变化, 后一种有可能用于构成光纤核探测器, 但目前尚未有见到有关报导。

(5) 吸收: 光纤被辐射后, 在材料中产生色心, 对此国外已有大量研究, 并已用于光纤核探测器。

(6) 荧光: 光纤本身以及其它许多材料在核辐射时会发光, 在一定辐射剂量时, 输出光强与辐射剂量有线性关系, 由此可构成光纤核探测器, 这是一类重要的传感型核光纤探测器。

利用辐射对光纤的上述效应可以构成不同类的核光纤探测器, 例如:

(1) 利用吸收效应构成的光纤核探测器: 利用光纤的传输光的损耗随着核辐射量的变化而变化的物理效应则可构成强度调制型的光纤核探测器。在 70 年代美国已对此进行了研究, 并已实用化。例如: 美国已用于 NTS-2 (Navigational Technology Satellite-2) 导航技术卫星, 并已向地面发回太空核辐射剂量的信息^[20], 已用于构成个人核辐射器, 此仪器用 400 根直径为 0.04mm 的光纤构成探头, 这四百根光纤固定在直径为 2mm 的塑料管中, 在钴伽玛射线 1000rad 剂量辐射下, 光纤透过率变化 400 倍^[21]。

在核辐射下光纤损耗的变化和光纤材料的组份以及光纤的拉制工艺有关, 对此已有大量研究报告发表^[22-31], 主要的研究单位有美国海军实验室 (NRL-Naval Research Laboratory) 和 Los Alamos 国家实验室。利用这种原理构成的核光纤探测器的特点是可用不同材料制成辐射敏感光纤, 并用光纤束构成传感头, 这种形式的核辐射对光纤探测器可探测不同种类的核辐射, 不同剂量的核辐射。此外利用空心光纤, 中间充以对辐射敏感的染料则可扩大传感头的种类。吸收型光纤核探测器的不足之处是:

1. 光纤材料对核辐射引起的吸收有的是不可恢复 (即具有记忆性)

2. 光损耗值和核辐射剂量存在非线性关系。

主要是第一个原因, 使吸收型光纤核探测器的使用受到很大限制。

(2) 利用闪烁体和荧光效应构成的核光纤探测器

用具有荧光显影制成的光纤可构成荧光型光纤核探测器, 对此已有大量报导, 并有实用化的仪器^[32-40]。

理论上凡是荧光材料均可构成荧光光纤用于探测核辐射, 主要是考虑控制光纤的工艺以及光纤包层材料的选择及工艺 (选择固体和液体材料均可), 可用多根光纤构成光纤束制成传感头, 例如, 文献^[32]中报导的传感头是用 100 个截面为 $1 \times 1\text{mm}$, 长为 10cm 的光纤棒构成, 每一根光纤棒是由直径小于 $50\mu\text{m}$ 的闪烁晶体光纤组成, 传感头产生的光再用光纤传输到光电倍增管^[32], 这种传感头的技术性能由闪烁体制成的光纤材料、加工工艺及光纤数量等因素决定, 石英系光纤芯在 X 光和电子束照射下均能出现发光效应, 其峰值波长为 $0.45\mu\text{m}$ 和 $0.65\mu\text{m}$ ^[33,35], 但发光情况和纤芯的组份 (或掺杂) 有关, 尤其是和 OH^- 的含量有关, 用铈玻璃制成的光纤是一种有应用前景的制作光纤核探测器敏感头的光纤, 目前我国也有单位在研制这种光纤, 文献^[36]报导, 用掺 Ge_2O_3 浓度为 $0.6\text{mole}\%$ 的石英光纤构成的光纤束, 可清楚地观察到光纤与辐射作用的效果, 每毫米长光纤约为 2 个光电子的产额。文献^[36]报道用 PVT 材料为纤芯制成的光纤构成核光纤探测器, 当纤芯直径为 1mm , 2mm 和 4mm 时, 其光电子产额分别为 4, 8.6 和 16 (光纤长 50cm), 另外有利用光纤中 Cerenkov 辐射光构成光纤核探测器的报导^[38]。

目前利用闪烁晶体和荧光材料构成核光纤探测器的主要研究问题是选择和研制用于制做传感头光纤的敏感材料, 对这些材料的要求是: 辐射量-光子的转换效率高; 发光波长向长波 (约 $1\mu\text{m}$ 左右) 方向延伸, 以便提高光纤的传输效率; 响应时间要短, 对此已有不少研究文章发表^[11,12,39-48]。

五、结束语

在测井技术中光纤核探测技术是一种极有实用价值的新技术, 它把核探测技术和光纤传感技术集于一体, 因它在测井技术的应用中有很多优点。目前光纤核探测技术需进一步解决的关键技术是: 对于传光型光纤核探测器是闪烁晶体和光纤的高效率地耦合问题; 对于传感型光纤核探测器则是对辐射敏感光纤的制作问题; 另两类光纤核探测器都需要解决传感头制作的工艺问题, 以满足测井的现场要求, 当然还要解决耐高温、耐高压的传输光缆^[49]。

六、参考文献 (略)

光纤陀螺的实用化进展

阎永志

(电子部第26研究所 重庆 830080)

1976年美国V·Vosli等人发表有关光纤陀螺(略称FOG)原理性文章以来,世界各国不断进行着精心研究与开发,迄今已取得一大批成果。目前,分辨率和零点漂移仅为地球自转速率百分之一的通用型FOG已商品化。包括动态范围、比例因子稳定性等综合指标适合于飞机惯性导航的FOG样机已制造成功。另外,装有FOG的海洋机器人、汽车导航系统和车辆位置监测系统属实用化事例。

就原理与结构而言,FOG可分为干涉型FOG(I-FOG)、谐振型FOG(R-FOG)和光纤环形激光陀螺(F-RLG)三大类。I-FOG又有开环式和闭环式之分,R-FOG又包括光纤式和光波导式两种,而F-RLG则是从前用He-Ne激光实现的环形激光陀螺(RLG)光纤化的产物。

1、I-FOG

I-FOG是研究开发最早、最为成熟和最具实用化意义的FOG。目前,有关原理和抑制噪声的研究工作已完结,正在积极推进企业产品化和批量化生产。

1.1 中精度I-FOG和应用

据报道,日本航空电子工业(株)已开发了一种小型和耐环境作用的中精度I-FOG。这种陀螺在 $-20^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ 范围内,漂移短期负载稳定性为 $0.2^{\circ}/\text{h}(1\sigma)$,积分时间120秒;漂移校正残留误差 $3^{\circ}/\text{h}$;比例因子误差200ppm;经冲击(300G)和振动(10Grms, 20~200Hz)试验证实具有良好的稳定性。目前已成功应用于航空宇宙运载等方面。在火箭姿态控制系统(TR-IA)中,这种陀螺作为惯性传感器使用,实际上采用陀螺输出信号控制火箭姿态。

另外,这种陀螺还被应用在列车位置检测系统中。在列车高密度运行的当今世界,为确保安全、要求精确检知列车位置。这种系统具有相当高的位置检知精度,避免从前那种利用车轮转数检知列车位置,由于空转或滑行带来的误差。目前,这种系统已在日本新大阪至博多之间完成了试验评估,误差仅为1%。

1.2 高精度I-FOG的开发

日本开发的高精度I-FOG目前已基本实用化,正在进行以耐环境性为中心的改性工作。其性能水平:在 $-20^{\circ}\text{C}\sim +70^{\circ}\text{C}$ 温度范围内,漂移短期负载稳定性达 $0.008\sim 0.0025^{\circ}/\text{h}(1\sigma)$,积分时间120秒;比例因子线性优于50ppm;比例因子稳定性达10ppm。

高精度I-FOG的应用之一是飞机用姿态航向基准系统(AHRS)。主要用于控制飞机姿态与方位。利用AHRS,即使在高速运动的飞机内也能正确识别自身

在三维空间中的姿态。将来, 实现产品批量化生产后, 可望在工业与军事领域有更加广阔的应用前景。

1.3 采用 I - FOG 的汽车导航系统

目前, 将 I - FOG 作为方位传感器装载于汽车导航系统的汽车在日本有售, 西欧市场也有报道。I - FOG 没有可动部分, 具有良好的可靠性和耐久性, 有利于降低导航系统成本和批量化生产。

导航系统的 I - FOG 特性: 零漂小于 $0.01^{\circ}/\text{sec}$; 在 $-20^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ 范围内具有校正功能的比例因子变动优于 $\pm 3\%$ 。与从前采用地磁传感器的汽车导航系统相比, 这种导航系统的汽车装载实际行驶轨迹有更小的偏差度。

1.4 采用高精度 I - FOG 光学陀螺仪

近年来, 在世界范围内, 出于宇宙, 地下深层与海洋开发, 以及利用卫星的移动通信和石油勘探等地球大型开发计划的需要, 要求开发耐久性和经济兼备的高性能陀螺仪。因此, 代表 90 年代和下世纪陀螺新技术的光学陀螺正加紧研究开发。

日立电线(株)采用高精度 I - FOG 制成一种高精度光学陀螺仪。仪器由 I - FOG、转盘和基准装置构成, 用微机控制, 也可由主计算机遥控。仪器采用全偏保光纤型相位调制式 I - FOG, 其性能达到 $0.1^{\circ}/\text{h}$ 的分辨率和 $0.02^{\circ}/\text{h}/5$ 人的低漂移。光学陀螺获得了 $0.08(1\sigma)$ 的指北精度。这种陀螺实际上已开始屏蔽舱和移动天线中作为方向传感器实用。

2. R - FOG

R - FOG 是一种利用高锐度的光环形谐振器结构, 基于 Sagnac 效应引起谐振频率变化的原理检测旋转角速的光学传感器。由于其感度与谐振器锐度有关, 故仅用数米长的短光纤线圈便可能达到很高的分辨率(惯导级)。然而, 目前技术上还存在一些困难(例如必须高相干光源和高性能的光谐振器等), 因而 R - FOG 尚处于研究阶段。

近来, 东京航空器(株)利用 FM 分光法试制了 R - FOG。从评估结果看, 当采用发振谱宽为 100KHz 的光源和锐度为 91 的光纤环形谐振器时, 从受光信号估算 R - FOG 性能为: 满刻度 $\pm 120\text{deg}/\text{sec}$; 分辨率 $0.04\text{deg}/\text{h}(\tau=10\text{sec})$ 。这已经是个很好的结果了, 预示着 I - FOG 已向实用化迈进一大步。预计今后的课题是 R - FOG 系统的制作和漂移对策。

3. F - RLG

F - RLG 是利用高输出功率的入射光在光纤中引起感应布里渊散射光的激光器构成的陀螺仪。

与从前实用化的 RLG 相比, R - FOG 无可动部件, 故使用方便, 耐久性大为提高, 具有更大的实用意义。虽然两者作为陀螺而言均存在“闭锁”现象, 然而 R -

F O G 预示着可能成为一种极简单结构的光学陀螺而引人注目（新的研究方向）。目前作为一种手段，利用光克尔效应是消除“闭锁”现象的有效方法。

4、结语

本文概述了 F O G 的某些实用化进展情况。中、高精度 I - F O G 已基本实用化，并正在进一步完善之中。随着低相干光源的获得和长波长源光温度稳定性的大幅度改善以及光学系统集成化的研究进展与低成本化，I - F O G 必将以绝对优势压倒从前的机械式陀螺，并期待着开拓新的应用领域。

R - F O G 当前仍处于基础研究阶段，但已经取得突破性进展。R - F O G 作为将来小型化和高性能的光学陀螺而言是一个重要的发展方向。另外，开展 F - R L G 的研究工作也不容忽视。

集成光学型光纤陀螺仪

周世勤

(北京自动化控制设备研究所 100074)

一. 引言

光纤陀螺仪(FOG)是广范应用于航空、航天、舰船、汽车和石油钻井等领域,有发展前途的新型光纤传感器。集成光学型FOG是光纤陀螺仪的发展方向。

本文讨论了集成光学型光纤陀螺仪的研制情况以及有关的关键技术。

二. 集成光学型光纤陀螺仪研制情况

作者1992年11月曾去美国考察过光纤陀螺技术。利顿公司(Litton)是美国研制FOG有代表性的公司,该公司的FOG在 $0.1^{\circ} \sim 10^{\circ}/h$ 的应用领域已经成熟,并且已经工程化。所研制的LN-200型惯导装制中的FOG采用中频带宽的集成光学器件(IOC)。

霍尼韦尔公司(Honeywell)研制的第一阶段干涉仪式的FOG,采用的是集成光学相位调制器及耦合器等器件。其FOG样机的偏值为 $0.01^{\circ}/h$ 。在第二阶段高性能FOG样机中,采用了集成光学多功能芯片及数字闭环电路,其FOG样机的