



中國儀器儀表學會

传感器论立集

第三册

163

全国传感器及其应用学术讨论会

1984 武汉

传感器论文集(第三册)

目 录

图像传感器在快速显微测量系统中的应用·····	王德城 林友德 董建平	(1)
铌酸锂表面波温度传感器·····	钱国兴 潘金才	(6)
光栅型光纤水听器·····	光纤声传感器组	(10)
应变式力传感器的线性补偿与实践·····	邬显义	(14)
一种用于海洋遥测浮标系统的流速流向传感器·····	江钧仁 胡 平	(18)
高精度轮辐式传感器贴片工艺探讨·····	张淑珍	(24)
简介固态压力传感器研制中的几项新技术·····	李宗文 刘安华	(31)
中子嬗变掺杂硅单晶在压阻器件中的应用·····	徐岳生 张维连 刘寅科 项兴荣等	(39)
多维测力传感器与三维测力平台的设计原理·····	曹承荣 叶心华 卢兴武 何连云	(44)
自扫描光电二极管阵列的研究·····	黄友恕	(53)
电感式位移传感器·····	鞠盛文 唐 梓	(62)
Pd栅 MOS 系统气敏性能劣化的一个重要机制·····	吴瑞华	(71)
冲击力测量砧的研究与试制·····	李有朴 罗胜初	(78)
动态测温仪的研究·····	杨华敏 王更梅 胡荣生 赵启光	(84)
小推力姿控发动机的推力测量装置·····	岑乐观	(93)
压电传感器在涡街流量计中的应用·····	张兴仁 姜仲霞	(99)
关于测量低微压力的高精度E型扩散硅集成力敏器件的制作讨论·····	秦继昌	(107)
二维线性插值法补偿传感器的温度误差·····	徐爱卿 孙涵芳	(117)
用新元件的磁敏固态传感器·····	黄俊钦 李行善 王 展 马明芳	(121)
热敏电阻在温度测试与监控中的应用·····	陈兴哲	(129)
由端基直线求最佳直线——求最佳直线的一种简易方法·····	孙德辉	(137)
用离子注入法制兰紫光高响应灵敏度硅光电二极管·····	孙宝寅 王振明 刘玉兰	(143)
光检测与前置放大混合集成电路的研制·····	谢世钟 张培亮	(150)
电磁速度传感器测量研究·····	赵衡阳 黄正平	(155)
微小力值的动态检测——关于传感元件的若干探讨与研究·····	张贻恭	(162)
QP型压电式压力传感器·····	金福民 田义智	(168)
扩散掺杂硅互换热敏电阻·····	单晶热敏电阻组	(174)
微处理机电天平·····	严钟豪 杨维民 郭毅	(181)
管道中两相流动状态下电容法浓度检测模型的建立及分析·····	王 铮	(187)
应变式传感器蠕变性能的研究·····	陆志方 孙维民	(194)
压力敏感元件新材料的实验研究·····	陈秉玉 程先安 姚慈顺	(198)
教学及实验用二值化相关器·····	裘华徕	(203)

传感器与生命科学	任 恕 (211)
薄层电位式葡萄糖酶传感器	刘恩琪 任 恕 (220)
化学敏感场效应管酶传感器	曹 玲 周 毅 (225)
MSC1 型 $ZnO-ZnCr_2O_4$ 系列半导体湿敏电阻器机理及应用	周东祥 (230)
用铁电聚合物 PVF_2 作热释电元件的物体方位自动识别装置	王立人 (238)
1400℃铁水测温用 EU 快速偶及便携式数显测温仪的研制	庞 信 (246)
感应同步器工作方程式的一种推导方法	单成祥 (256)
堰口溢流法流量试验装置——大口径电磁流量计实流标定	蔡武昌 沈海洋 (263)
用微处理器实现对惯性较大传感器的动态误差实时校正 (数字滤波器 在动态测量中的应用)	邱化元 李爱平 (270)
NiO 气敏陶瓷的晶格缺陷和导电机理	张中太 河本邦仁 柳田博明 (280)
临近传感器的研究与应用	李桂成 孙海涛 (288)
铅离子选择电极的研制及用铅电极直接测定白酒中的微量铅	陈玉珍 曹 栋 汪 荣 丁桂蓉 (294)
介绍一种测波传感器——加速度计	陆嵩庆 刁洪云 (302)
液浮伺服摆式加速计及其传递函数实时标定法	林明邦 (308)
PVDF 压电薄膜指脉搏传感器	陈裕泉 (317)
SKL——数字式颗粒体质量流量计	朱德贵 李骏声 颜旺洪 黄兆林 (324)
用于运动生物力学的测力踏板静、动态性能的研究	谢大吉 王增梅 许洪涛 (332)
用 β 射线测量火箭级间分离姿态的装置	臧德鸿 神承复 邵其望 胡瑞娟 (337)
离子注入, CO_2 激光退火的兰光灵敏硅光电二极管	江剑平 孙宝寅 李文年 王振明 (343)
单模光纤法拉第旋光效应的研究	光纤传感器研究组 (349)
光电跟踪测量传感器	钟根荣 席振平 (353)
YSZ—1 型自控告时遥测声发射仪	聂世峰 (360)
剪切悬臂梁型力传感器偏载补偿技术	朱鼎铭 多俊泉 赵贺耀 (366)
电荷耦合图像传感器	赵国臣 (373)
EKT202B EKT203B 温度变送器非线性补偿国产化的研究	孙礼慧 朱力群 (384)
传感器论文分类目录	(393)
传感器论文分类索引	(398)

图像传感器在快速显微测量系统中的应用

王德诚 林友德 董建平

(上海工业大学自动化研究室)

(提要) 图像传感器 CCD 是七十年代发展起来的一种新型器件。它具有体积小, 稳定性好, 坚固, 与计算机相容性较好等特点。本文介绍用 CCD 结合光学装置和微处理机在显微测量系统中代替人眼, 并达到快速自动测量的装置。本文还介绍了一个具体应用的例子。展望了这种系统和技术在工业中的应用。

一、引言

在工业生产过程中, 常要对一些小零件进行显微测量或检验, 例如仪器仪表的宝石轴承的孔径测量; 游丝的宽度和厚度测量; 集成电路基片——硅片的表面质量检验等。这种小零件的尺寸测量或表面情况的检验的特点是尺寸小, 精度要求高且批量较大。目前, 国内在生产中大多依靠人工在显微镜下进行观察或用投影仪及样板进行鉴定。用这种方法进行测量或检验往往只能取样鉴定, 不能实现 100% 零件测量或检验。同时, 由于在测量或检验中掺入了人的因素, 往往给测量或检验带来不可避免的误差。用现有的人工方法进行测量和检验当然只能是离线的, 不可能实现在线质量控制, 而这正是提高产品质量和劳动生产率必须采取的。此外, 人在显微镜下长期进行工作, 使视力受到严重的损害。

为了在生产中解决上述问题, 迫切需要一种快速自动显微测量系统。用 CCD (电荷耦合器件) 作为图像传感器结合微处理机构成的人工视觉的硬件用于测量系统有如下特点:

1. 信息是通过光波传送的, 与被测物不存在任何机械接触, 因而是一种非接触式的测量。被测对象不受测量力的影响。

2. 由于用光波传送信息, 因而可借助显微镜或望远镜对从微小视野到巨大视野中的对象进行检测。测量的范围非常大。此外, CCD 在校宽的频谱范围内都有敏感性, 它还可以测量到不可见光传送的信息。

3. 用 CCD 作视觉传感器能获得一维或二维的阵列信息。CCD 将图像信息转换成电信号后, 进行必要的预处理和信息抽取, 能进行实时检测。

4. 把图像传感器 CCD 得到的图像信息, 经过预处理和微处理机处理后, 能完成各种复杂的检测和判定。

根据图像传感器 CCD 结合微处理机所取得的上述功能, 在国外已将它用于一些快速自动测量的显微测量系统中, 这些快速自动显微测量系统只有在用了图像传感器并结合微处理机代替人眼时才有可能更好地实现。

二、快速自动显微测量系统的组成和功能

通常,快速自动显微测量系统包括一个测量台装置,在其上装有光学系统、图像传感器和微处理机及人机对话用的终端。

显微系统的放大倍数通常选用 20—40 倍。由于被测件往往是不平的,故自动调焦是必需的。自动调焦是由计算机控制的。它通过分析图像输出的信号,使之有最大的边缘对比度。

照明在所有显微测量系统中是重要的因素。在图像用电子测光法时,照明就变得更为关键了。照明要求恒定的亮度。在用白炽灯作光源时,可用直流稳压电源供电,加上光敏元件的电流反馈回路来达到恒定的照度。

图像传感器选用线阵 CCD 以获得最大的可靠性和准确性。选用 1024 位线阵 CCD,每位占 $13\mu\text{m}^2$,分布在 13mm 的长度中。该阵列线性度好,没有漂移。1024 位所需的扫描时间为 $250\mu\text{s}$,因此,每位数字送入计算机的频率为 4 兆赫。在 40 倍显微系统中,CCD 每一位投影到工件上的尺寸为 $0.33 \times 0.33\mu\text{m}$,因而能得到理想的分辨率。CCD 每一位的敏感性是不同的,必须用专门的校准电路自动补偿其差异。但国外已有各位敏感性比较一致的 CCD 供应。

测量台用直流伺服电机驱动,在 X 和 Y 方向上均可精确地移动。用线性阵列 CCD 要获得二维图像时,是依靠测量台垂直于 CCD 扫描方向的移动。

用上述测量系统测量直线型边缘时可获得以下的测量数据:

1. 该边缘与预期的边缘之间的最大和最小偏差。
2. 与预期的参考座标之间的夹角。
3. 适应的直线的重心和方位以及标准偏差。

在测量圆形线段时,系统可获得以下测量数据:

1. 与预期半径间的最大和最小偏差。
2. 一个合适的圆的半径,中心和径向标准偏差。
3. 由平均半径计算得到的圆周。

上述系统是通用性比较好的,在为某种专门工件进行自动快速显微测量时,系统可根据要求加以改变。图 1 为用于集成电路生产中对基片——硅片表面质量进行检测的一种快速自动显微测量装置。其中光源采用激光;工作台是可旋转的;滤光器对由硅片表面反射的光进行傅里叶分析,在硅片表面无疵病时的反射光全部滤去,CCD 没有接受到图像;只有在硅片表面有斑点或划痕时,硅片表面的漫射光才能透过滤光器在 CCD 上成像。这种快速自动显微测量装置已在法国 G. M. 公司中用于集成电路生产中。类似的在集成电路制造各工序中进行质量检查 and 控制的系统也正在研究开发中,它必将对产品的质量和成品率起极大的作用。

用图像传感器结合微型计算机组成的快速自动显微测量系统在国内正在开始进行研究。上海工业大学自动化研究室研制了简易的快速自动显微测量系统专用于手表摆轮轮缘偏摆的测量。

三、用于手表摆轮轮缘偏摆测量的快速自动显微测量系统

1. 系统组成框图示于图 2

与通用的系统比较, 本系统没有自动调焦装置。保证被测对象在显微镜的焦点上得到最佳的轮缘清晰度是通过装料系统和合理的算法来达到的。系统的显微放大倍数为 20 倍。采用 1024 位线性阵列 CCD。微处理机用 TP-801 单板机。

当被测的摆轮送上装料装置后, 在稳定的平行光照射下, 轮缘经显微系统放大 20 倍后投影到 CCD 上, 转动被测零件, 图像传感器输出代表轮缘信息的离散模拟量, 经预处理电路处理后送入计算机进行信息处理, 最后显示出轮缘的最大偏离容许值的位置和方向。

2. 系统的控制算法

系统将整个轮缘分成几点进行扫描。因为 CCD 起点参考点稳定, 可方便地获得每次扫描得到的轮缘到参考点的距离 l_i , 若 l_i 数值不同, 则反映了摆轮的轮缘各点不在同一平面上, 取 l_i 的平均值 $l_{\bar{}}$,

$$l_{\bar{}} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n}$$

作为轮缘的基准量。然后求出轮缘各点偏离基准量的值 σ_i 。

$$\sigma_i = |l_i - l_{\bar{}}|$$

从中得出最大偏离量 $|\sigma_i|_{\max}$, 将 $|\sigma_i|_{\max}$ 与设定的允许偏差 $\sigma_{\text{允许}}$ 比较, 若 $|\sigma_i|_{\max} < \sigma_{\text{允许}}$, 则轮缘可认为在同一平面上, 否则就需进行校平。

该算法的流程参见图 3。

本系统的分辨率可达 $1\mu\text{m}$ 。经某些改进后可望达到 $1\mu\text{m}$ 以下。

四、展 望

在耐用物品的制造过程中, 各种检验工作约占 10% 生产工人。在维修行业中检验工作是基本的因素。图像传感器 CCD 结合光学装置和微处理机构成的系统, 加上在过去二十年中发展的图像处理软件现在已实际用于许多检验工作。在这些检验工作中, 光学图像可被抽取并可进行详尽的解释。

这种系统用于检验工作除进行定量检验, 如工件主要特性的确切尺寸、工具磨损等测量外, 还可用于定性的(包括半定量的)检验。这类应用的变化是巨大的, 粗略地可归纳为以下几种:

1. 在瓶、罐或纸盒上直接标印的标签或编码线的校核工作。
2. 不同种类物件的辨别和计数。
3. 工件表面裂缝、翘裂(弯)、毛刺和缺陷的检验。
4. 工件大致尺寸和关键特征的位置的测定。
5. 加工完毕的或装璜好的表面上的污损、颜色、损伤和不连续部分的检验。等等。

由上所述, 这种系统可应用于耐用物品批量生产中的大部分工作, 使目前用人工目检的工作自动化。同时, 由于这种检验工作的自动化, 使产品进行在线质量控制的可能性大大提高。

现在上述技术已经发展到足够应用于工业生产中。问题是要发展能为工厂所能接受的价格和性能判别的系统。在工业生产中应用这种系统基本上不存在大的障碍。

在我国发展这种系统应用到工业生产中也是需要的, 随着系统硬件费用不断降低, 可以预期这种系统和有关技术必将引起广泛的兴趣和重视。

参 考 文 献

- (1) 国外电荷耦合器件 上海科技情报研究所
- (2) Computer Vision and Sensor-Based Robots Edited by George G. Dodd and Lothar Rossol, (1979)
- (3) Contrôle d' état de surface le laser remplace l' oeil «Measure-Regulation-Automatisme», (1981) 8/9
- (4) Automatic high speed measuring microscope system «Pres, Eng. », (1980) №1.

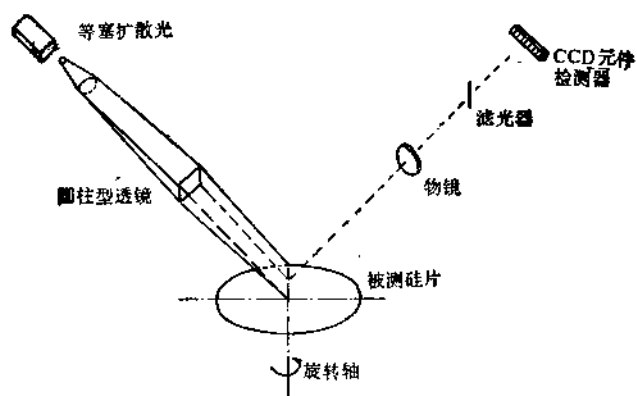


图 1 硅片表面检验示意图

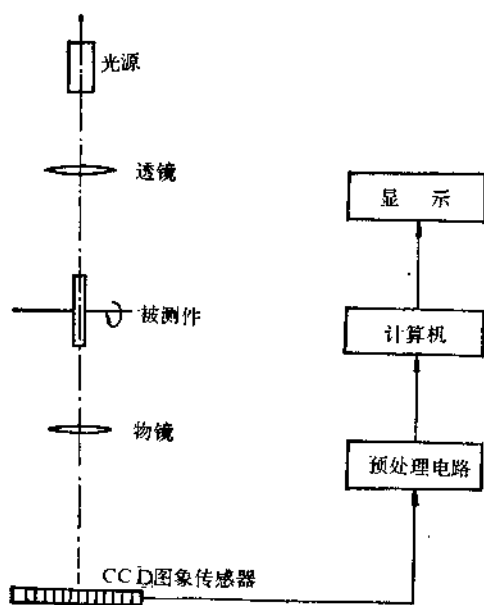


图 2 手表轮偏摆检验框图

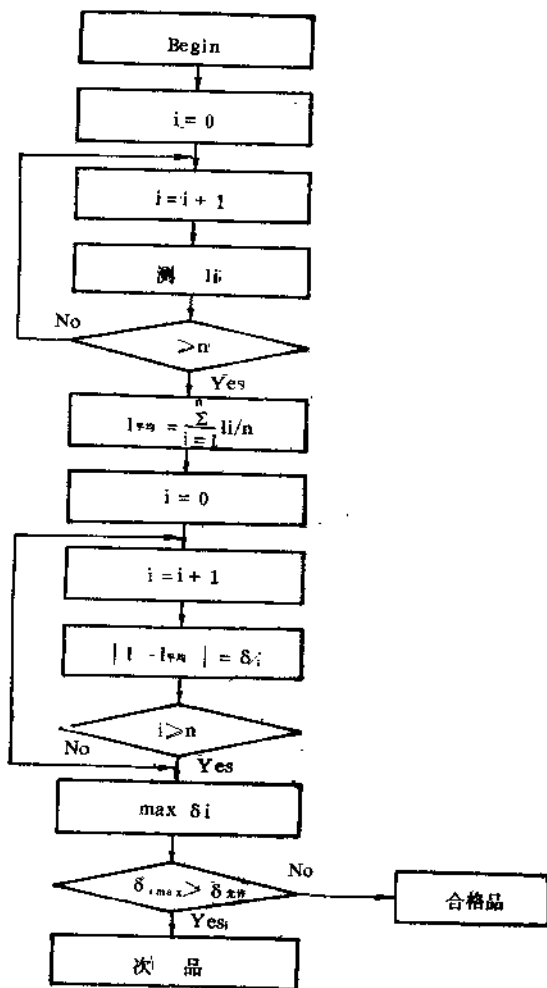


图 3 手表摆轮偏摆测量算法流程图

铌酸锂表面波温度传感器

钱国兴 潘金才

(中国科学院上海硅酸盐所)

一、前言

近几年来,表面波技术在传感器方面的应用已引起大家的重视。其中表面波温度传感器是研制得较早的一种器件^[1],已开始工业部门中试用。表面波温度传感器直接输出数字信息,不需要模/数变换即可进行数据处理。同体波的压电晶体测温器件相比,线性度好,便于批量生产而且成本低。器件密封在金属壳内,热时间常数短,迟滞特性好。器件同电路配合构成振荡器,可获得数十兆赫乃至数百兆赫的基频信号,适合于无线电测温 and 无线电控温的场合下使用。

本文介绍的表面波温度传感器采用铌酸锂(LiNbO_3)单晶材料作基底,具有较高的灵敏度和极好的线性度。当温度引起基底材料的参数变化时,振荡器频率发生偏移,根据频率偏移量即可测算出温度变化值。本文给出了实测的频率温度特性曲线。

二、基本原理

1. 表面波速度的温度系数

表面波的传播速度同压电基底材料的弹性、压电和介电常数有关^[2,3],这些参数又都是温度的函数。材料常数随温度变化的结果可用泰勒级数展开式表达:

$$X(T) = X(T_0) \left[1 + \frac{1}{X(T_0)} \frac{\partial X}{\partial T} (T - T_0) + \frac{1}{2X(T_0)} \frac{\partial^2 X}{\partial^2 T} (T - T_0)^2 + \dots \right] \quad (1)$$

式中 X 是材料的某个常数; T_0 是选定的温度点,通常取在室温点; $\frac{1}{X(T_0)} \frac{\partial X}{\partial T}$, $\frac{1}{2X(T_0)} \frac{\partial^2 X}{\partial^2 T}$ 分别是参数 X 的一次和二次温度系数。如果我们用表面波速度 V_R 取代 X ,则可得到表面波速度随温度变化的表达式:

$$V_R(T) \approx V_R(T_0) \left[1 + \frac{1}{V_R(T_0)} \frac{\partial V_R}{\partial T} (T - T_0) + \frac{1}{2V_R(T_0)} \frac{\partial^2 V_R}{\partial^2 T} (T - T_0)^2 \right] \quad (2)$$

这是一个截断的展开式,对大多数材料来说三次以上的温度系数为零值或小到可以略去。若材料表面波速度变化主要由一次温度系数引起,则可得到线性的速度与温度变化关系。这时,表面波速度的一次温度系数为:

$$TCV = \frac{1}{V_R} \frac{\partial V_R}{\partial T} \quad (3)$$

实际场合中，通常是测试器件的延迟时间 τ ，表面波的延迟温度系数为：

$$TCD = \frac{1}{\tau} \frac{\partial \tau}{\partial T} \quad (4)$$

式中 $\tau = L/V_R$ ， L 为激励与接收叉指换能器之间的距离，代入上式可得到延迟温度系数与速度温度系数之间的关系：

$$\frac{1}{\tau} \frac{\partial \tau}{\partial T} = \left(\frac{L}{V_R} \right)^{-1} \frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{L}{V_R} \right) = \alpha - \frac{1}{V_R} \frac{\partial V_R}{\partial T} \quad (5)$$

式中 $\alpha = \frac{1}{L} \frac{\partial L}{\partial T}$ 是材料的热膨胀系数。为便于数学上的计算，可采用下式来测量和计算延迟温度系数：

$$TCD = \frac{1}{\tau(T_0)} \left[\frac{\tau(T_0 + \Delta T) - \tau(T_0 - \Delta T)}{2\Delta T} \right] \quad (6)$$

其中 ΔT 是测试点之间的温度间隔， $\tau(T_0)$ ， $\tau(T_0 + \Delta T)$ ， $\tau(T_0 - \Delta T)$ 是三个不同温度点实测或计算的延迟时间。如果我们采用合适的晶体并选择特定的切向，便可得到线性度好，灵敏度高的温度传感器。

2. 器件的二种基本形式

表面波温度传感器在结构上有延迟线型和振子型二种基本形式(图1)。在延迟线型中，延迟的信号经放大后返回到激励叉指换能器保持振荡状态。此时，振荡频率 f 必须满足下面条件：

$$2\pi f \frac{L}{V_R} + \phi_E = 2n\pi \quad (7)$$

式中 ϕ_E 是放大器和延迟线外电路的总相移， n 为正整数。如果保持 ϕ_E 不变，则当基底材料的温度发生变化时，(7)式产生的频偏为：

$$\frac{df}{f} = \frac{dV_R}{V_R} - \frac{dL}{L} \quad (8)$$

铌酸锂晶体的 $dL/L \ll dV_R/V_R$ ，于是得到下面关系式：

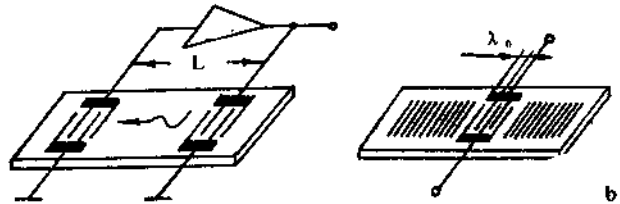


图1 振荡器用表面波器件。
a. 延迟线型； b. 振子型

$$\frac{df}{f} = \frac{dV_R}{V_R} \quad (9)$$

显而易见，振荡器的频率变化主要是由表面波的速度变化引起的。

表面波振子是由叉指换能器和配置在它二侧的反射栅阵列组成。叉指换能器激发的表面波波反射栅阵列反射回来并形成驻波，构成类似体波振子的谐振状态。振荡频率 f 同表面波速度及叉指电极周期长 λ_0 有关：

$$f = \frac{V_R}{\lambda_0} \quad (10)$$

温度引起的频率偏移为：

$$\frac{df}{f} = \frac{dV_R}{V_R} - \frac{d\lambda_0}{\lambda_0} \quad (11)$$

由于 $d\lambda_0/\lambda_0 \ll dV_R/V_R$ ，忽略后得到与 (9) 式相同的形式。对照一下 (9)、(3) 两式，不难看出频率随速度的线性变化关系。这样，根据测得的振荡频率偏移量便可算得温度的变化值。

三、实验结果

我们用 YZ 切向的 LiNbO_3 晶体试制了延迟线型和振子型二种温度传感器。叉指电极由 8000 Å 厚的铝膜组成，采用半导体平面工艺光刻在晶片的抛光表面上。这种切向晶片的表面波参数见表 1。

表 1 YZ- LiNbO_3 表面波参数

V_R (m/s)	机电耦合系数 k^2 (%)	TCD (ppm/°C)	TCV (ppm/°C)
3488	4.8	94	87

延迟线型器件同放大电路配合组成振荡器(图 2)，工作频率 42.65MHz。器件与电路同时放在温度槽内，测得的频率温度特性曲线见图 3。实测的灵敏度为 4KHz/°C，相对灵敏度为 93ppm/°C。图中还画出了逆行程曲线的测试点，可以看到其重合度极好。

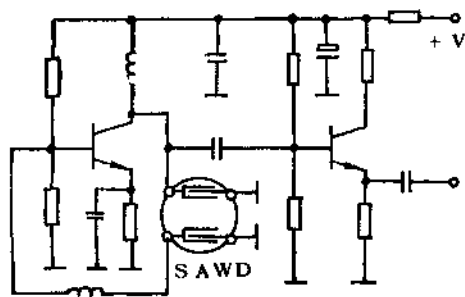


图 2 延迟线型振荡器电原理图

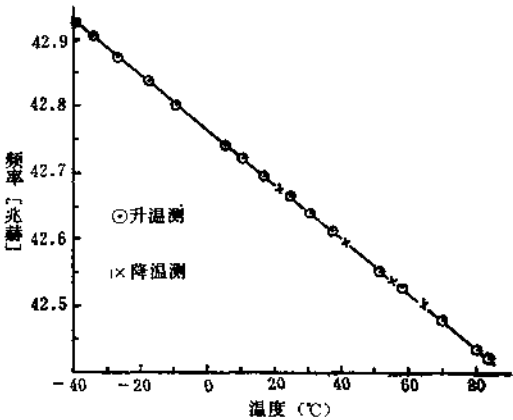


图 3 延迟线型传感器频温特性

振子型器件采用铝反射栅阵列，中心频率 55.05MHz，用普通的考必兹电路即可起振(图 4)。图 5 是实测的频率温度特性曲线，灵敏度为 4.6KHz/°C。

这二种型式的振荡电路稳定度在 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 数量级，器件实测的非线性在 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 以内。振荡器的电源波动会引起输出频率的变化，图 6 便是这种变化引起的温度偏差。振子型的这种变化呈负斜率 (-1.5KHz/V)，相当于 0.33°C/V ，延迟线型呈正斜率 (1.8KHz/V)，相当于 0.45°C/V 。如果在电路作些改进，或者采用功耗小的集成块，这种影响还可得到明显的改善。器件封装在 $\phi 15$ 的金属壳内，如果提高器件的工作频率，尺寸还可缩小。

四、结束语

从实验结果来看， LiNbO_3 晶体表面波温度传感器在 $-40^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$ 的温度范围内具有

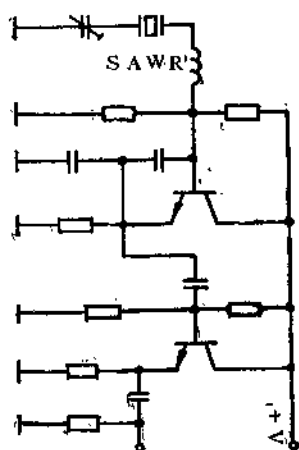


图4 振子型振荡器电原理图

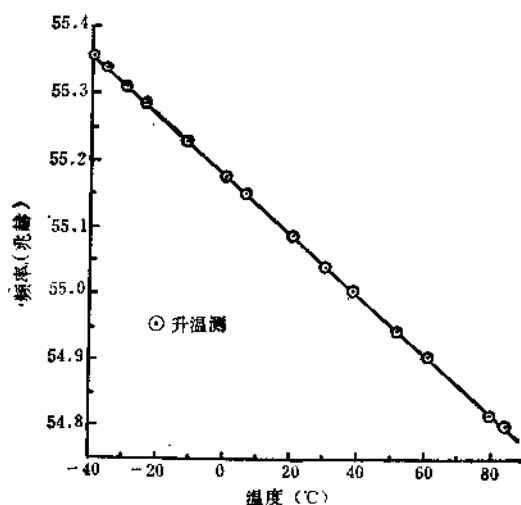


图5 振子型传感器频温特性

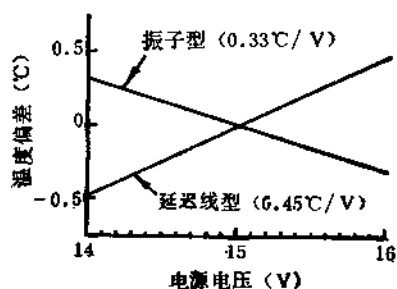


图6 电源变化引起的温度偏差

良好的线性度。如果对电路及元、器件进行合理的设计和选择，测量的范围还可扩展，温度分辨率可优于 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ ，非线性可在 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 以内，批量生产中，器件的绝对误差小于 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。如果密封壳内充入导热系数高的氦气，则热时间常数还可减小。

温度传感器的种类繁多，品种齐全，除个别种类外几乎都是输出模拟量，需经过模/数变换后才能进行数据处理。这方面表面波传感器却有独到之处。日本的东芝公司曾试制过用在恒温空调远距离控制设备中的表面波温度传感器^[4]，实现了无线电控温。此外，这种传感器在高空温度探测或其它类似的温度遥测和遥控方面的应用都是很有希望的。

参 考 文 献

- (1) T. M. Reeder, and D. E. Cullen, PIEEE., Vol. 64, No. 5, 754—756 (1976)
- (2) J. J. Campbell, and W. R. Jones, J. A. P., Vol. 41, 2796—2801 (1970)
- (3) A. J. Slobodnik, AD—742287, (1971)
- (4) 江畑、森下，昭和 55 年度电子通信学会总会全国大会，1980 年 3 月

光栅型光纤水听器

光纤声传感器组

(中国科学院声学研究所)

本文提出的光栅水听器是我们最近研究的一种光导纤维传感器,它是属于强度调制“混合式”的水听器^[1]。

一、引言

光纤水听器不同于常规的压电陶瓷换能器,而是以光导纤维传输恒定的光束,当它处于声场之中时,有的利用声波引起的相位调制;有的利用声压调制光强度。光栅型光纤水听器是属于后者。

自七十年代后期,国际上光纤水听器发展很快,现在已从实验室向应用发展。继光通信的飞快发展,在光导纤维的应用和研究中,用光纤做各种传感器的兴趣越来越大。就以光纤水听器为例,光纤比常规换能器及其携带的电缆重量轻,尺寸小,这一优点对用户非常重要,更显著的优点是不受电磁干扰,因此无需考虑电磁屏蔽,与水的绝缘问题和阻抗匹配问题也不突出,不会有短路现象。它的机理简单,优点突出,可根据不同的要求制成各种形态大小的水听器^{[1], [2], [3], [4]}。

二、结构与原理

光栅水听器的结构如图

1所示。当无声压作用时,从输入光纤传输的光透射过两片光栅后耦合进输出光纤的光强度为一常数;有声压作用时,振动膜片以它固有的特性随同声波振动,从而带动光栅运动。两片光栅的栅纹是要严格平行的。光栅位移方向又是与两根光纤轴线垂直,当两片光栅的透明条纹(或不透明条纹)相重合时,则入射到光栅上的光强度50%通过。反之,当一片光栅上的透明条纹与另一片光栅上的不透明条纹相重合时;(不

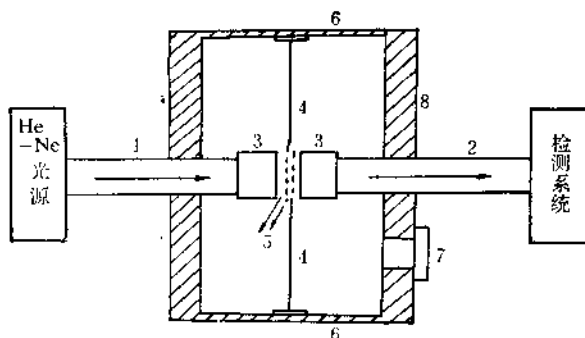


图 1 光栅水听器结构示意图

1. 输入光纤, 2. 输出光纤, 3. 自聚焦透镜, 4. 联杆,
5. 光栅, 6. 振动膜片, 7. 注油孔和压力释放孔, 8. 外壳。

考虑衍射)则传输的光强度全部被两片光栅挡住,应为零。因而原来恒定的光强度被声信号所调制。

两根光纤是芯径为 $300\mu\text{m}$ 的石英光纤。大芯径可增加两光纤端面间的耦合效率。四分之一波长的自聚焦透镜长 1.04mm , 直径 1mm 。振动膜片为 1.5mm 厚, 直径为 27mm 的硬橡胶。联杆为有机玻璃, 一端与 $125/\text{mm}$ 的黑白透射光栅相连, 另一端固定于振动膜片的中心处。光栅的尺寸为 $9 \times 3 \times 0.2(\text{mm})^3$ 。由注油孔注满硅油后可放一定深度下测量。外壳为 $\Phi 55\text{mm}$ 的有机玻璃。

三、计 算

1. 灵敏度

光电管的光电转换电流为

$$i = qP_0A \quad (1)$$

光电管的响应 $q = \frac{e\eta}{h\nu}$, 其中 $e = 1.6 \times 10^{-19}\text{C}$, $h = 6.63 \times 10^{-34}\text{J} \cdot \text{S}$, 对于 He—Ne 激光之源 $\nu = 4.7 \times 10^{14}\text{S}^{-1}$, 量子效应 η 取 0.5。光电管的倍增系数 $A = 40$, P_0 为透过两片光栅在输出光纤终端的光功率。如果光栅由声压引起位移, 则 (1) 式的电流受到调制。

$$i_s = qP_0A \frac{u}{\Delta} \quad (2)$$

u 为光栅的相对位移, Δ 为每条栅纹的宽度, 即 $\Delta = 1\text{mm}/125\text{条} = 8 \times 10^{-6}\text{m}/\text{条}$

为分析问题的方便, 假设光栅的位移等效于介质粒子的位移^[2]。

如在平面波的条件下, 声压与振速有 $P_s = u \cdot \rho C$ 因此 (2) 式为^[3]

$$i_s = \frac{P_0 q A}{\rho C \cdot \Delta \cdot w} P_s \quad (3)$$

ρ 为介质密度, C 为介质声速, ω 为声的角频率, P_s 为声压。由此即得声压灵敏度为

$$S = -\frac{i_s \cdot R}{P_s} = \frac{q P_0 A R}{\rho C \cdot \Delta \cdot w} \quad (4)$$

R 为光电管的负载电阻。

仅当两片光栅的条纹轴向和角向互相平行时, 即当两片光栅的透明 (或不透明) 条纹重合时, 则通过光栅后, 50% 的光通过, 如一片光栅的透明条纹与另一片的不透明条纹重合时透射光为零, 这是最理想的装配条件。但在实际安装过程中, 两片光栅的轴向和角向存在着偏差, 因此需对 (4) 式加以修正, 令其修正系数为 ∞ , 在理想装配条件下为 1, 最差时为零, 式 (4) 即为

$$S = \frac{q P_0 R A}{\rho C \cdot \Delta \cdot w} \infty \quad (5)$$

上式没有把膜片的谐振考虑进去, 实际上, 当膜片处于基振状态时, 其位移量增大 Q_m 倍, 因而带动光栅的位移 u 就增大 Q_m 倍, 则其灵敏度处于峰值。

2. 可检测的最小声压

光量子的散弹噪声引起的噪声电流为

$$i_n = (2eqP_0AB\infty)^{1/2} \quad (6)$$

B 为检测带宽。

当信号电流与噪声电流相等时的声压定义为最低可检测声压值

$$\frac{qP_0 A \infty}{\rho c \cdot \Delta \cdot w} P_{\text{smia}} = (2eqP_0 A B \infty^2)^{1/2} \quad (7)$$

故得

$$P_{\text{smia}} = \left(\frac{2eB}{qP_0 A \infty} \right)^{1/2} \cdot \rho c \cdot \Delta \cdot w \quad (8)$$

四、实 验

两根光纤各为20m, 取 $\infty = 0.5$, $R = 10^4 \Omega$ 。

1. 在空气中

将光栅水听器置于离声源一定的距离, 在某频率下测量其电压输出, 然后将声级计放于光栅水听器的同一位置测出分贝数, 从而得到光栅水听器在空气中的分贝数, 即为测量值, 把它与公式(5)的计算值进行比较, 得到图2的一组曲线。

2. 在水中

10Hz—1000Hz 在谐振腔中测量, 3K—10KHz 在水池中常规测量。其测量值与按(5)式的计算值由图3曲线所示。测量时是将光栅水听器的内腔充满硅油和空气两种情况进行的。

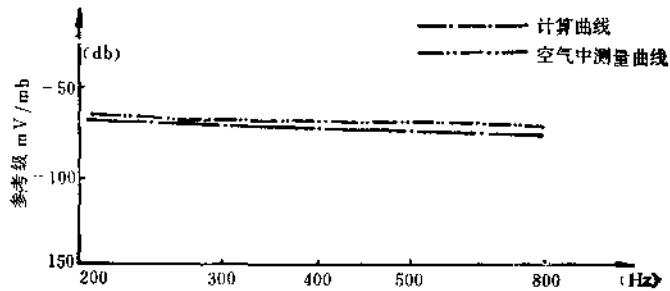


图2 在空气中计算与测量曲线比较

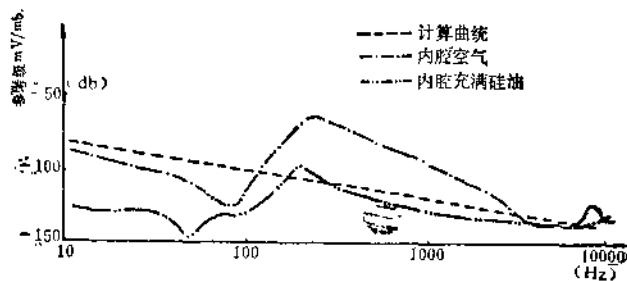


图3 在水中计算与测量曲线的比较

五、讨论与结论

1. 实验结果表明: 这种光纤水听器是可以在空气和水中检测声信号的。其灵敏度与介质的声阻抗, 光栅栅纹的宽度以及声频率成反比, 而与光电管的响应, 光功率和光电管的负载电阻, 倍增系数成正比。

2. 在空气中的测量结果表明, 与(5)式的计算结果极好地相符合。因空气中是符合平面

波条件下测量的, 并且空气中的 ρc 很低, 其位移与振动膜片的位移差别不大。(在膜片的非谐振状态)。

在水中注油与不注油的实验结果与计算值差别较大。特别是用耦合腔测量的低频段已不是平面波的条件了, 水中质点的振速与膜片的振速相差甚大。在膜片的谐振附近那就看得更清楚了。

3. 这是一种新型的水听器, 其机理和能量的转换不同于常规压电换能器。它的进一步发展, 我们认为有待解决以下几个问题。

i) 寻求一种高机械强度而又柔软的光缆。深水用时光纤要长, 必须是低损耗, 低噪声, 对于非敏感部分, 要求其传输的光强度不受机械振动的影响。

ii) 力求检测信号稳定, 必须有输入稳定的光功率

iii) 有待于集成光路的发展和应用, 因分离元件, 在通常的外界条件下易于引起振动, 特别光纤端面耦合部件的微小振动, 将造成十分可观的信号不稳定。

这仅是初步的实验研究结果, 尚有很多工作需进一步进行。

参 考 文 献

- [1] W. B. Spillman Jr. and D. H. McMahon, Appl. phys. lett., 37(2), (1980)
- [2] Pyron W. Tietjen, J. A. S. A, 69(4), 993—997, (1981)
- [3] J. A. Bucaro and J. H. Cole, EASCON' 79 Record, IEEE Publication, 79ch. P572—580
- [4] J. A. Bucaro, EASCON' 78 Record, IEEE Publication 78ch, p298—302.
- [5] Peter shajenko, EASCON' 79, Conference Record, Vol. 3, p524—530.
- [6] M. R. Layton and J. A. Bucaro, Appl. opt., Vol. 18, No. 5, 1 March, (1979) p666—670.
- [7] Cordon R. petril, Underwater Communication Underwater Systems Design—February/March, (1982) p29—32.

应变式力传感器的线性补偿与实践

邬显义

(机械部长春试验机研究所)

一 前 言

应变式力传感器可以用半导体应变片有效地进行线性补偿。一九八二年,我所在分析国外传感器的基础上,时此项工作进行了初步尝试,实践证明补偿效果显著,工艺简单,工作性能稳定,结果见表1。

表 1 传感器线性补偿前后的比较

传感器编号	1	2	3	4
补偿前线性(%FS)	+0.21	+0.20	+0.11	+0.04
补偿后线性(%FS)	+0.007	+0.011	+0.003	+0.003

二 半导体应变片线性补偿的原理

半导体应变片与组成桥路的应变片一样,粘贴在弹性体的应变部位上,对圆柱型弹性体,应沿轴向粘贴(见图1)。当弹性体受压缩时,半导体片也随之受压缩,其阻值相应减小。在电气线路图中,半导体片 R_L 是串联在应变片桥路的供桥电源回路中(见图2),其阻值变小

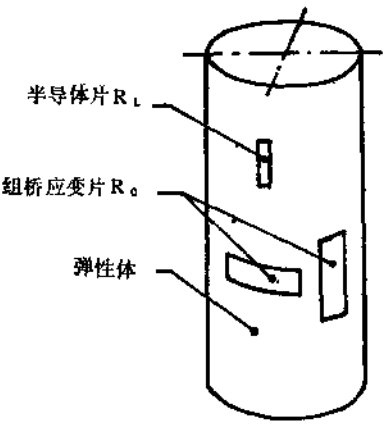


图 1

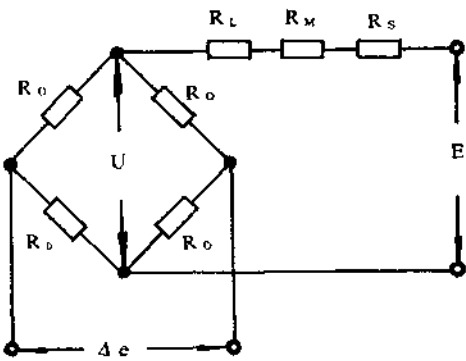


图 2