

晶体表面波温度传感器

潘金才 钱国兴

(中国科学院上海硅酸盐研究所)

本文介绍二种新型的接触式晶体表面波温度传感器。采用YZ-LiNbO₃单晶和(110)<001>-Bi₁₂GeO₂₀单晶制作了延迟线型和振子型温度传感器。实验器件的中心频率在20~55兆赫之间,相对灵敏度80~115ppm/°C。给出了实测的频率温度特性曲线,在-40~+85°C温度范围内具有良好的线性关系。输出为数字信息,可直接进行数据处理。这类传感器用在温度遥测和遥控方面是极有前途的。

一 引言

表面波技术是六十年代末发展起来的声学 and 电子学领域中的一门新分支,利用“电-表面声波-电”的转换过程可以制作各类器件。当前,象滤波器、固定延迟线、色散延迟线、振荡器和卷积器等各类表面波器件,均已广泛地用在国防和民用电子产品中。近几年来,表面波技术在非声学量 and 非电量探测方面的应用也引起了大家的重视。象温度^[1,2]、压力、加速度、电位、气体的探测,以及水听器等方面的应用都有人做过工作。本文介绍用于温度探测方面的传感器。

表面波器件主要由压电基底材料和在压电基底表面上的叉指换能器组成。叉指换能器系用来激发和接收表面波信号。当基底材料的参数因某个物理量的影响发生变化时,引起表面波传播特性的变化,根据变化量可测算出作用物理量的大小,从而制成探测该物理量的传感器。基底材料一般有三类:1.压电晶体;2.压电陶瓷;3.压电薄膜。本工作采用了压电晶体材料作基底。

二 器件的型式

如果采用合适的晶体材料作基底,并选择能使表面波传播特性随温度明显变化的特定切割传播方向,可制得有实用价值的温度传感器。这类表面波传感器要与电路配合,并构成高频振荡器的形式。当温度引起基底材料参数变化时,振荡器的频率发生偏移,偏移量同温度成线性关系,根据频率偏移量测算出温度变化值。按照器件的工作原理,可分为延迟线型和振子型二种。

1. 延迟线型^[3] 器件本身是一种固定延迟线,如图1所示。输入叉指换能器T₁上施加交变电信号激发出表面波,经过距离L延迟后到达输出换能器T₂并转换成电信号输出,由放大器放大后返回到T₁维持振荡

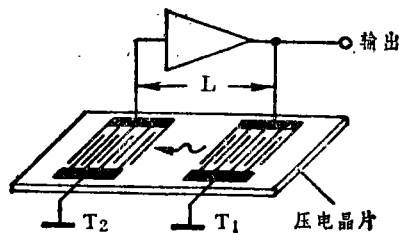


图1 延迟线型表面波振荡器

状态。此时，振荡频率 f 必须满足下列条件：

$$2\pi f \frac{L}{V_R} + \phi_E = 2n\pi \quad (1)$$

式中 V_R 为表面波速度； ϕ_E 为放大器和延迟线外部电路的总相移； n 为正整数。如果保持 ϕ_E 不变，当基底材料受到温度影响时，式(1)产生的频率偏移为：

$$\frac{df}{f} = \frac{dV_R}{V_R} - \frac{dL}{L} \quad (2)$$

若基底材料的膨胀系数甚小于表面波速度的温度系数(以YZ切向的铌酸锂为例，膨胀系数为 3ppm/°C, 延迟温度系数为 96ppm/°C), dL/L 项可予以忽略，于是(2)成为：

$$\frac{df}{f} = \frac{dV_R}{V_R} \quad (3)$$

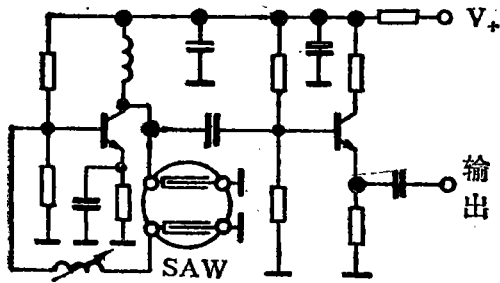


图2 延迟线振荡器电原理图

显而易见，振荡器的频率变化主要是由表面波速度变化引起的，根据频率变化值可算得温度值。图2是采用表面波延迟线振荡器的电原理图。

2. 振子型^[4] 表面波振子的基本结构如图3所示，它是由光刻在基底抛光表面上的叉指换能器和配置在换能器两侧的反射阵列构成。施加在叉指换能器上的电信号激起向两侧传播的表面波，到达反射阵列后以同相位反射回到换能器，并转换成再次激发表面波的电信号。这样就构成了类似体波振子的表面波振子。它在电路中的功能同体波振子，用普通的考必兹振荡电路便可起振。图4是采用表面波振子的振荡电路，左边是振子的等效电路。

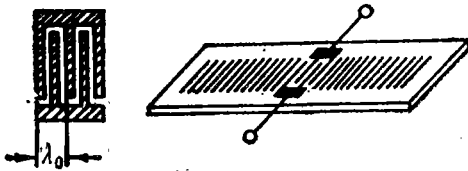


图3 表面波振子

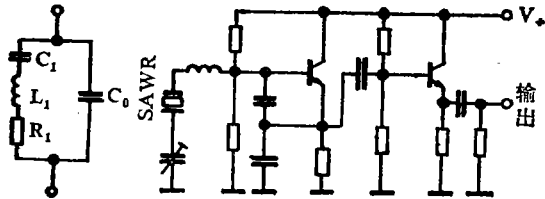


图4 振子型振荡器电原理图

振子的谐振频率 f_s ，同基底材料的表面波速度 V_R 和叉指换能器的电极周期长度 λ_0 (图3) 有关：

$$f_s = \frac{V_R}{\lambda_0} \quad (4)$$

当温度引起 V_R 和 λ_0 变化时，振子的谐振频率发生偏移：

$$\frac{df_s}{f_s} = \frac{dV_R}{V_R} - \frac{d\lambda_0}{\lambda_0} \quad (5)$$

实际上叉指电极的 λ_0 变化极微， $d\lambda_0/\lambda_0 \ll dV_R/V_R$ ，忽略后得到式(3)。同延迟线型一样，由频率偏移量计算温度值。

三 器件的制作

为获得较大的温度灵敏度,本实验中选用了延迟温度系数较大的YZ切向铌酸锂(LiNbO_3)单晶和(110)<001>切向的锗酸铋($\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$)单晶作基底材料。有关参数见表1。器件的主要

表1 实验器件用的晶体材料有关参数

| 晶体 | 切向 | 表面波速度 $V_R(\text{mm}/\mu\text{s})$ | 延迟温度系数 (ppm/°C) | 机电耦合系数 $k^2(\%)$ | 密度 $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$ |
|-----|------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------|------------------------------------|
| 铌酸锂 | YZ | 3487 | -94 | 4.92 | 4.6 |
| 锗酸铋 | (110)<001> | 1624 | -130 | 0.9 | 9.2 |

制作工艺是在抛光的基底表面上采用半导体平面工艺光刻形成叉指换能器。铌酸锂基底采用 $6000\sim 8000\text{Å}$ 厚的铝电极,锗酸铋基底采用铬金电极($300\text{Å Cr} + 2000\sim 3000\text{Å Au}$)。金属电极材料的选择主要考虑到与晶体材料的声阻抗匹配及有关工艺。振子型的反射阵列有四种形式(图5),实验器件采用了第一种形式的开路金属反射条。同其它形式的反射条相比,反射效率稍差,但工艺简单。这二种器件都是密封在 $\phi 15$ 的金属壳内。



图5 反射条的形式

四 实验结果

表2 实验器件的数据和测试结果

| 型式 | 基底材料 | 中心频率 (MHz) | 叉指对数 | | 指宽 (μm) | 灵敏度 | |
|------|---|---------------|-----------------|----|-------------------------|----------------|------------|
| | | | 输入 | 输出 | | 测量 (KHz/°C) | 相对(ppm/°C) |
| 延迟线型 | YZ- LiNbO_3 | 42.7 | 60 | 40 | 20 | 4 | 93 |
| | (110)<001> $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ | 20.05 | | | | 2.3 | 115 |
| 振子型 | YZ- LiNbO_3 | 55 | 7.5 反射条: 180 | | 17 | 4.6 | 84 |

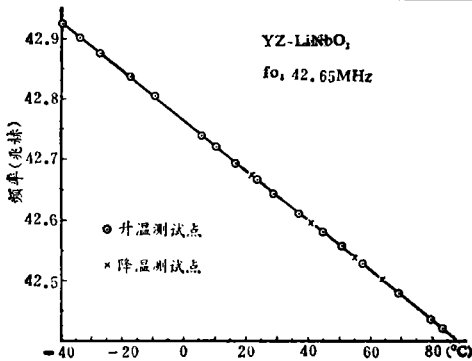


图6 铌酸锂延迟线型传感器频温特性

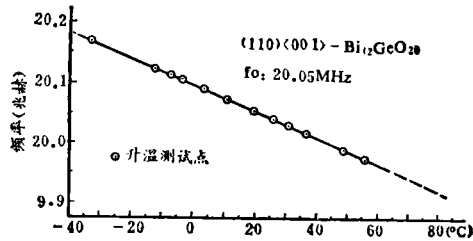


图7 锗酸铋延迟线型传感器频温特性

我们用YZ-LiNbO₃试制了延迟线型和振子型二种温度传感器，用(110)〈001〉—Bi₁₂GeO₂₀试制了延迟线型温度传感器。在-40~+85°C的温度范围内测试了器件的频率特性，测试时，器件和电路同时放在温度槽内。这些器件的有关制作数据和实验结果见表2。图6和图7分别是铌酸锂和锗酸铋基底的延迟线型传感器的频率特性曲线。这二种器件的叉指换能器图形相同，由于锗酸铋基底的表面波速度慢，器件的中心频率低，故实测的灵敏度比铌酸锂低。但相对于中心频率的灵敏度比铌酸锂高，达到115ppm/°C。图8是铌酸锂振子型传感器的频率温度特性曲线。这二种形式传感器的相对灵敏度均略低于晶体的延迟温度系数，估计是电路中的元、器件（主要是瓷片电容器）的温度补偿所致。从给出的特性曲线中可看到，这些器件都具有良好的线性关系，实验测得器件的非线性在±0.5°以内。此外，我们还初步测试了器件的重复性和逆运行程曲线的不重合度，均获得了满意的结果。

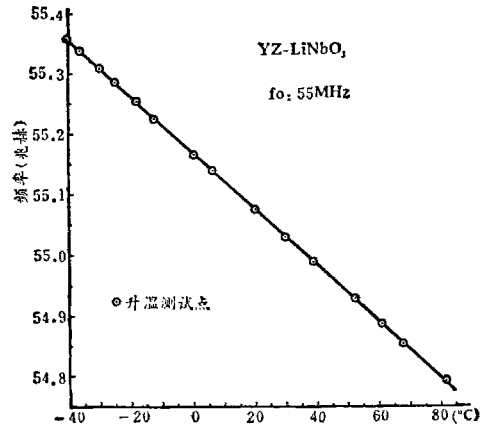


图8 铌酸锂振子型传感器频温特性

五 结 语

表面波温度传感器同其它测温元件相比较，有一些优点：1.直接输出高频信号，不需要模/数转换；2.采用半导体平面工艺制造，适合批量生产，价格比体波测温晶体便宜，而且容易获得数十兆赫乃至数百兆赫以上的基频信号；3.基片密封在金属壳内，热时间常数短，不易受环境的污染，陈老特性好。从实验的结果来看，振荡器的性能会受到电路中的元、器件影响，如果对电路进行改进，测量的温度范围还可扩展，温度分辨率可优于±0.01°C，线性度还可进一步提高，绝对误差小于±1°C。这类器件用在温度遥测和遥控方面是很有前途的。日本东芝公司研制的同类器件准备用在恒温室空调的远距离控制设备中，实现无线电控温^[5]。

本工作采用的压电晶体材料均由本所一室研制和加工，上海无线电一厂在工艺上给予了大力支持，在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Reeder, T. M., and Cullen, D. E., "Surface Acoustic Wave Pressure and Temperature Sensors", *PIEEE*, 64, No.5, 754-756 (1976).
- [2] 江畑泰男, "表面弹性波发振器を应用したセンサ", <センサ>, 日径エレクトロニクス・ブックス, 1981年11月, 401—407。
- [3] Lewis, M. F., "Some Aspects of SAW Oscillators", *IEEE 1973 Ultrasonics Symposium Proceedings*, 344-347.
- [4] Schoenwald, J. S., Rosenfeld, R. C., and Hartmann, C. S., "UHF Surface Acoustic Wave Resonators", *IEEE 1974 Ultrasonics Symposium Proceedings*, 245-252.
- [5] 江畑, 森下, "弹性表面波素子による温度センサ", 昭和55年度电子通信学会总会全国大会, 讲演番号 2306, 1980年3月。