

锗酸铋 ($\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$) 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)

近来出现的表面波温度传感器不但具有如体波石英测温晶体那种直接输出数字信息的特点,而且还具有频率上限及灵敏度高、线性好、容易批量生产、性能稳定、可靠性和老化特性好等优点。可以制成接触式和非接触式两种类型。这种器件在无线电测温和控温方面的应用是很有希望的。

本文介绍采用锗酸铋单晶作基底材料的接触式表面波温度传感器。T. M. Reeder 等人曾报道过用锗酸铋试制表面波温度传感器^[1],但未给出实测的曲线。本项工作是验证器件实用的可能性,测试了频温特性曲线,并同采用铌酸锂 (LiNbO_3) 单晶的同类器件作比较。

1. 工作原理

表面波温度传感器实际上是一种由表面波器件和电路组成的振荡器,根据由温度引起的振荡频率的偏移量来测定温度值。本工作采用了延迟线型式的器件(图1)。

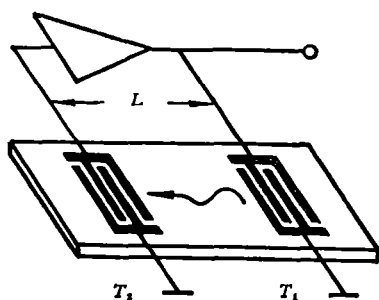


图1 表面波延迟线型振荡器

振荡频率 f 必须满足下列条件:

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

式中 V_R 是传播方向上的表面波速度, L 是叉

指换能器 T_1 和 T_2 中心间距, ϕ_E 是放大器和叉指换能器外电路的总相位移, n 为正整数。如果保持 ϕ_E 不变,则温度引起基底材料参数变化时,(1)式产生的频率偏移为

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

由于基底材料的 $dL/L \ll dV_R/V_R$, 故温度引起的频率偏移主要是由表面波速度变化产生的。

表面波的传播速度同压电晶体的弹性、压电和介电常数有关,而且又都是温度的函数。表面波速度随温度的变化可用截断的泰勒级数展开式来表达^[2],忽略高次项后为

$$V_R(T) = V_R(T_0) \left[1 + \frac{1}{V_R(T_0)} \cdot \frac{\partial V_R}{\partial T} (T - T_0) \right], \quad (3)$$

式中 T_0 是指定的温度点,一般为室温点。表面波速度的温度系数 TCV 为

$$TCV = \frac{1}{V_R} \frac{\partial V_R}{\partial T}. \quad (4)$$

实验中,通常是测表面波的延迟时间 τ , 延迟温度系数 TCD 为

$$TCD = \frac{1}{\tau} \frac{\partial \tau}{\partial T}, \quad (5)$$

式中 $\tau = L/V_R$ 。代入上式后便可得到延迟温度系数与速度温度系数之间的关系:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\tau} \frac{\partial \tau}{\partial T} &= \left(\frac{L}{V_R} \right)^{-1} \frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{L}{V_R} \right) \\ &= - \frac{1}{V_R} \frac{\partial V_R}{\partial T}, \end{aligned} \quad (6)$$

式中

$$\alpha = \frac{1}{L} \frac{\partial L}{\partial T}$$

是基底材料的热膨胀系数。利用(2)式,可得出

$$\frac{1}{\tau} \frac{\partial \tau}{\partial T} \Delta T = - \frac{df}{f}, \quad (7)$$

即温度变化与振荡频率偏移之间具有线性关系。

2. 基底材料

对表面波温度传感器来说,为获得较高的灵敏度和短的热时间常数,应选择延迟温度系数大,表面波速度慢的基底材料。锗酸铋单晶是能够满足这些要求的材料之一。锗酸铋是由人工生长的黄色透明晶体,属立方晶系,点群 $23[3]$ 。我们选用了(110)<001>切向的晶片作基底材料。这种晶片不但有大的延迟温度系数,而且对体波的抑制也较深,使振荡器具有良好的单频性和频率稳定性。表1是二种压电晶体的

表1 晶体的表面波参数

晶体	切割传播方向	表面波速度 V_R (mm/ μ s)	机电耦合系数 k^2 (%)	延迟温度系数 TCD (ppm/ $^{\circ}$ C)
LiNbO ₃	YZ	3488	4.5	94
Bi ₁₂ GeO ₂₀	(110)<001>	1624	0.9	130

表面波有关参数,可以看到锗酸铋的表面波速度比YZ切向的铌酸锂慢一倍,而延迟温度系数约大1/4,这就显示出了锗酸铋单晶作表面波温度传感器的优点。

3. 实验结果

器件采用半导体平面工艺制作,在晶体的抛光表面上光刻形成铬-金薄膜叉指电极,铬层

厚约300Å,金层厚约2000~3000Å,晶片密封在 $\phi 15$ mm的金属壳内。器件的中心频率为20MHz,晶片尺寸为 $12 \times 3 \times 0.4$ mm³。同放大

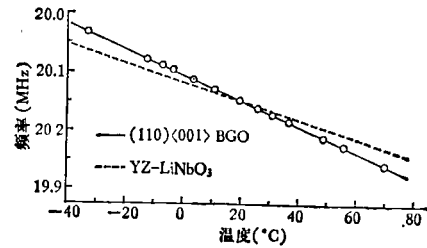


图2 表面波温度传感器频温特性

电路配合便可起振。我们把器件和电路同时放在温度槽内,在 $-40 \sim +85^{\circ}$ C的范围内测得了频率温度特性(图2)。实测的灵敏度为2.3kHz/ $^{\circ}$ C,相对灵敏度达115 ppm/ $^{\circ}$ C,线性偏离 $< \pm 0.5^{\circ}$ C,而且器件有较好的重复性。在恒温条件下测得振荡器的长期频率漂移优于 $1 \times 10^{-6}/d$ 。图中虚线是同样频率的YZ铌酸锂表面波温度传感器的频温特性,其灵敏度低于锗酸铋器件,而且晶片尺寸要大一倍。如果进一步提高器件的工作频率,则各项指标还可得到进一步改善。

实验器件用的锗酸铋单晶是本所一室研制和加工的。我们得到上海无线电一厂在工艺上的大力协助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] T. M. Reeder and D. E. Cullen, *Proc. IEEE*, **64-5** (1976), 754.
- [2] A. J. Slobodnik, *Armed Serv. Tech. Infor. Agency Docum.*, AD-742287, 1971.
- [3] A. J. Slobodnik and J. C. Sethares *J. Appl. Phys.*, **43-1** (1972), 247.

下期内容预告

束箔光谱学及其近况(邢磊等);多组分固体表面的择优溅射(董树忠);激光散斑效应(宋菲君);原子分子蒸气中的光学抽运及受激辐射的获得(王祖康);谈谈核的高自旋态(张敬业);呼吸模式和原子核的可压缩性(高良俊);物理学在航空工业上的应用(汤文及);生物磁学在医学上的应用(李国栋);微桔型电子能谱仪(袁观俊);铁电测量中的亚微观信号(李景德等);高重复率脉冲分子束阀门(张泽渤等);介质薄膜折射率和厚度的同时测定(俞祖和);一种新的无极放电技术(王福敦等);光学信息处理讲座第十讲 相干光 Hough 变换(董碧珍);略论电磁波的发现(宋德生)。