

石英晶体在真空镀膜测厚技术中的应用研究*

贾石峰, 吴 蓉

(兰州铁道学院 信息与电气工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要 基于石英晶体振荡原理, 提出了在真空状态下的一种超薄型镀膜测厚方法, 介绍了该项测厚技术的基本电气原理, 研究了测厚过程中石英晶体材料的选取方法和组织实施原则. 石英晶体应具有固定的技术参数, 并被安放于真空舱内的正确位置. 密闭的石英晶体探头通过同轴电缆与外部振荡器相连, 振荡器输出的频率信号由微机进行处理, 将频率信号转化为厚度值.

关键词 石英晶体 厚度测量 振荡频率

中图分类号: TN751.2

文献标识码: A

0 引言

精密的工业镀膜技术通常要求镀源在真空状态下蒸发完成. 真空状态是一种无尘、无气流干扰的良好镀膜环境. 其中镀件的镀膜厚度监测, 是完成真空镀膜工艺的技术关键与难点. 它体现在镀源在镀件上的镀层是超薄型的, 对膜厚监测系统的分辨率要求极高, 测厚环境是一种封闭的真空状态, 膜厚测试的快速动态响应, 镀膜源的多样性. 采用传统的工业涡流及微波测厚技术难以满足复杂的测厚要求, 为此, 采用了一种新型的测厚方法, 将石英晶体与镀件置于同一真空镀膜环境下, 随着镀件镀层厚度的增加, 石英晶体表面附着的镀源涂层也会以相同的速率和厚度增加, 通过监测石英晶体表面镀层厚度增加后的谐振频率变化, 从而监测镀件上镀层厚度变化, 实验及应用业已证明此项测厚技术是稳定可行的.

1 测厚原理描述

石英晶体是化学成分为 SiO_2 的天然六角形结晶体, 具有各向异性的物理特性. 将石英晶体按光轴确定的空间方向切割成片状, 双面涂以金层或银层做为电极加以引线可构成石英谐振器. 石英晶体产生谐振是基于压电效应和逆压电效应原理, 当应力作用于晶体表面时, 沿轴向会产生等量异号电荷, 若晶体两面存在异号电荷时, 晶体会产生尺寸的伸张和

压缩的机械运动产生^[1]. 压电效应与逆压电效应同时相互作用, 使机械振动和电荷积累深度逐渐增强, 最后稳定在由晶体切割方向和几何尺寸所确定的, 其本身固有的机械振动频率上, 该频率即为石英晶体的谐振频率^[2], 机械谐振会使晶体对外呈现出稳定的电特性频率.

石英晶体在真空舱内测量镀膜厚度时, 其表面不断得到镀源的沉淀积累, 由此改变了石英晶体的厚度, 相当于改变了石英晶体的几何尺寸, 从而晶体的谐振频率也会随之变化. 晶体的厚度参数变化与谐振频率参数变化间具有固定的传递函数关系, 通过对变化的谐振频率测量, 来完成对镀件上镀源厚度的检测任务.

2 测厚电路基础

利用石英晶体组成的振荡器有并联和串联两类, 都是以三点式电路为基础. 由于并联谐振具有较高的品质因数和较强的稳频特性, 所以在测厚电路中通常采用将石英晶体等效为电感的并联谐振方式^[3]. 石英晶体在振荡器中组成并联谐振典型电路及其等效振荡电路分别如图1和图2所示. 其中: C_0 为等效静态电容; C_q 为等效动态电容; L_q 为等效动态电感; R_q 为等效动态电阻.

石英晶体JT接于晶体管c-b之间等效为一电感, 并有动态电容 C_q 远小于其它电容, 晶体管与石英谐振器的耦合极松, 从而保证振荡频率不受晶体

* 收稿日期: 2002-04-30

作者简介: 贾石峰(1968-), 男, 吉林吉林人, 兰州铁道学院讲师.

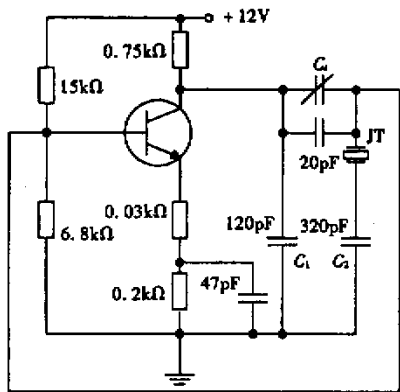


图 1 石英晶体振荡器并联谐振典型电路

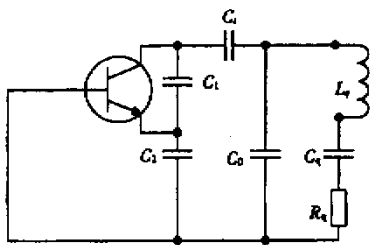


图 2 等效振荡电路

管参数变化的影响,进而保证振荡器在镀膜厚度检测过程中具有较好的稳定性和抗干扰性.该电路的振荡频率表达式为:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_q \frac{C_q(C_0 + C_L)}{C_q + C_0 + C_L}}} \quad (1)$$

式(1)中 C_L 为总负载电容,且有 $C_1 \gg C_t, C_2 \gg C_t$, 其表达式为:

$$C_L = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_t}} \approx C_t. \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)中,考虑到 $C_q \ll (C_0 + C_L)$,将

$\sqrt{1 + \frac{C_q}{C_0 + C_L}}$ 用二项式定理展开,取其前两项为

$1 + \frac{C_q}{2(C_0 + C_L)}$, 所以有:

$$\begin{aligned} f_0 &\approx \frac{1}{2\pi\sqrt{L_q C_q}} \left[1 + \frac{C_q}{2(C_0 + C_L)} \right] \\ &\approx \frac{1}{2\pi\sqrt{L_q C_q}} \left[1 + \frac{C_q}{2(C_0 + C_t)} \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

由式(3)可见并联型石英晶体振荡器的振荡频率 f_0 介于石英晶体固有串联谐振频率 $\frac{1}{2\pi\sqrt{L_q C_q}}$ 和并联

谐振频率 $\frac{1}{2\pi\sqrt{L_q C_q}} \left(1 + \frac{C_q}{2C_0} \right)$ 之间. 实际应用中, 由于考虑到晶片加工误差及晶体老化会造成振荡频率误差, 可通过外加串联负载电容 C_t 进行微调, 使石英晶体振荡器的振荡频率达到标称频率.

3 实施测厚组织

3.1 材料

石英晶体做为真空镀膜测厚仪传感器探头, 标称频率可为 5~6 MHz, 采用 AT 切割方式, 形状为扁平的圆盘形, 直径为 0.55 英寸, 厚度为 0.011 英寸, 双面镀金. 其中一面与探头支架外壳相连, 暴露于真空舱内, 做为镀源沉淀表面, 另一面通过同轴电缆与真空舱外的振荡器相连.

3.2 联接

原则上, 不锈钢支架内的石英晶体探头可以安装在真空舱内任何位置, 但为了提高精确度, 探头应置于距蒸气镀源 10 英寸左右的地方, 并应尽量位于基层区域中间. 利用航空插头及 6 英寸的同轴电缆做为回馈线, 将石英晶体探头引出真空舱外, 与振荡器相连. 利用航空插头及 10 英寸的同轴电缆, 将振荡器的振荡信号经缓冲放大后送入测厚仪.

3.3 处理

测厚仪在 CPU 监控下, 完成数据的采集、计算、显示和输出功能. 在镀膜过程中, 石英晶片表面不断获得镀源介质沉淀材料, 使得晶体表面逐渐变厚, 导致晶体固有频率逐渐下降, CPU 将得到不断变化的频率信号, 经 CPU 计算, 将频率变化量转换成对应的厚度变化量, 该厚度变量可以随时显示或执行镀膜结束命令, 测厚仪显示最终镀膜厚度及实际振荡频率.

通过合理选择石英晶体材料, 正确联接晶体探头和振荡器及测厚仪, 准确处理频率信号, 晶体就可以完成镀件上镀膜厚度 1~999 999 Å 的精确监测, 厚度分辨率可达 1 Å.

4 结束语

利用石英晶体组成的高频振荡电路, 能够准确地测量蒸发式或浅射式超薄型镀膜厚度, 其分辨率高, 结构简单, 但易受外界干扰信号影响. 实际应用时, 注意正确使用焊接及连线的方法, 振荡电路的结构可参考本文中的石英晶体振荡基本电路, 本文中的石英晶体与振荡器的有关参数和联接组织方式, 通过实验及实践证明, 是有效可靠的.

参考文献：

[1] [日]雨田好文,小柴典居. 振荡/调制解调电路[M]. 北京 科学出版社,2000.

[2] 单成祥. 传感器的理论与设计基础及其应用[M]. 北京 国防工业出版社,1999.

[3] 范希鲁. 模拟集成电路系统[M]. 北京 中国铁道出版社,1994.

Application Research of Quartz Crystal in the Technology of Thickness Survey under Vacuum State

Jia Shifeng, Wu Rong

(College of Information and Electrical Engineering,Lanzhou Railway University,Lanzhou 730070,China)

Abstract Based on the theory of quartz oscillator, a thickness-surveying method of overthin cladding material in a state of vacuum is given in this paper, the elementary electrical principle of thickness survey is introduced, and a method selecting quartz crystal materials and an implementing process in principle are studied. A quartz should have regular technical paranieters and be laid in an appropriate vacuum cabin. The airtight quartz detector and outside oscillatory are connected by a coaxial cable, a export frequency signal of oscillatory will be handled by the microcomputer and transformed into thickness data.

Key words quartz crystal ;thickness survey ;oscillatory frequency