



# 石英晶体知识介绍

培训人：

日期：

More



# 目录



## contents

01

石英晶体原理及用途

02

石英晶体的分类介绍

03

晶体的特性参数及使用注意事项

04

电路匹配测试

P  
ART 01

# ■ 石英晶体的原理



石英（二氧化硅 $\text{SiO}_2$ ）是用量仅次于单晶硅的电子材料，由于其具有的高Q值和压电效应，被用于制造选择和控制频率的电子元器件。

# 石英的特点



压电效应



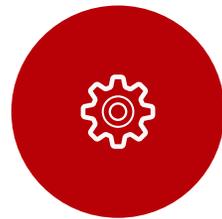
存在零温度系数的切型



存在压力补偿切型



低损耗 (即高Q值)



易于加工; 除了氟化物和热碱, 通常情况下的低溶解性; 坚硬但不易碎

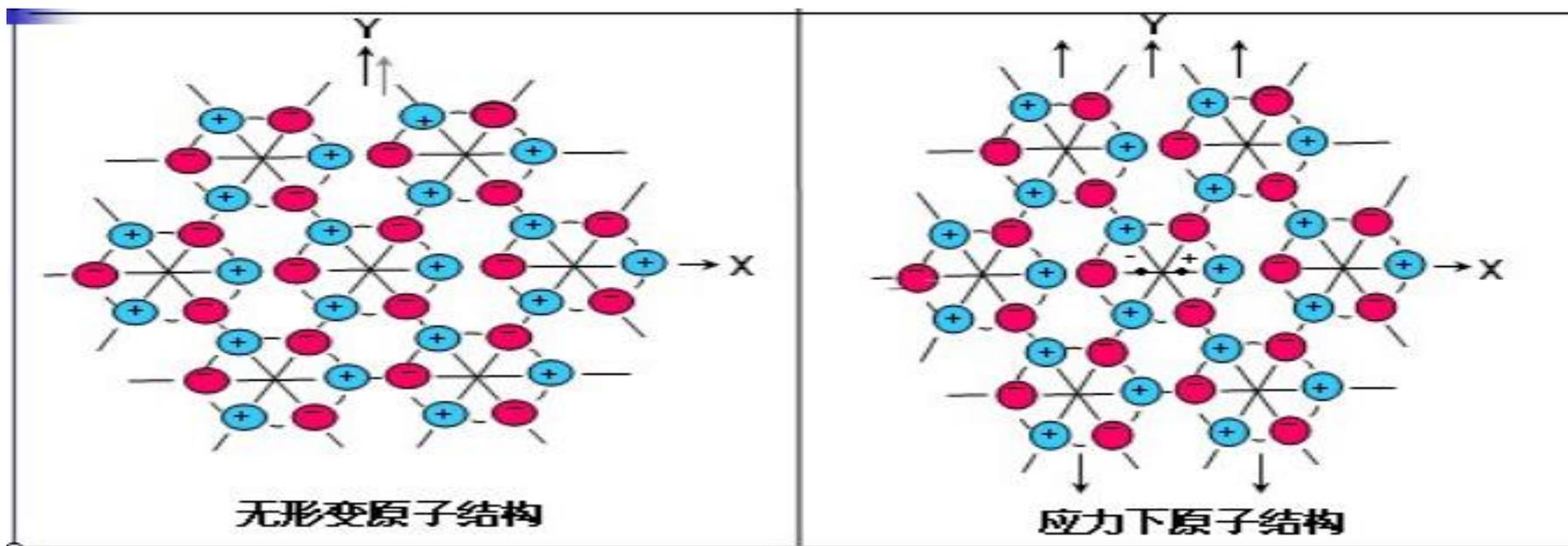


自然界中储量丰富; 容易大量生长; 低成本; 高纯度; 低缺陷

# 压电效应

沿某些晶体的特定方向施加压应力作用时，晶体产生形变，同时产生电极化，其极化强度与压力成正比，称之为正压电效应；反之，在电场作用下，晶体产生应变，应变大小与场强成正比，称之为逆压电效应。

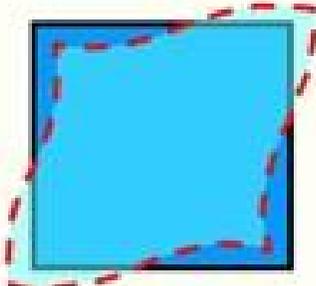
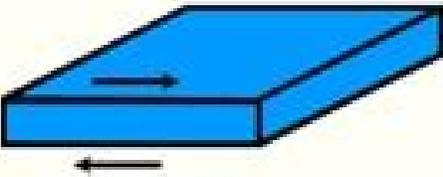
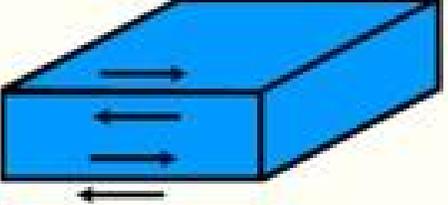
压电效应的原理：外力作用下晶体变形引起正负电荷中心分离而产生的。施加应力时，在一个方向上产生脉冲电流，取消时，在相反方向产生。



正压电效应：在石英晶体两端加上压力，晶体表面产生电压

逆压电效应：在石英晶体两端加上电压，晶体产生形变

# Modes of Motion

 <p>弯曲模式</p>	 <p>延长模式</p>	 <p>对角拉伸模式</p>
 <p>厚度切割模式</p>	 <p>基频厚度切割模式</p>	 <p>三次泛音厚度切割模式</p>

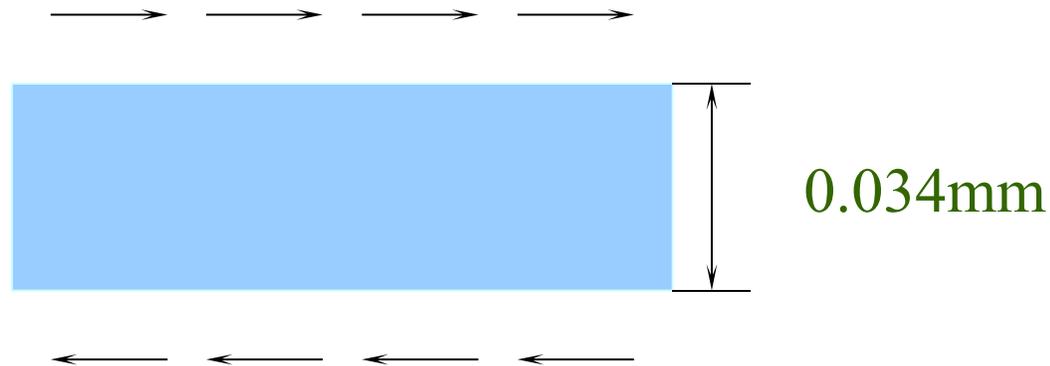
# 基频和泛音举例说明

## 48MHZ基频的振荡过程:

1, 首先石英水晶片的频率常数是1670.也就是说

$$F_0(\text{KHz})=1670/\text{Thickness}(\text{mm})$$

那么我们控制石英水晶片的厚度在0.034mm。



# 基频和泛音举例说明

## 48MHZ泛音的振荡过程:

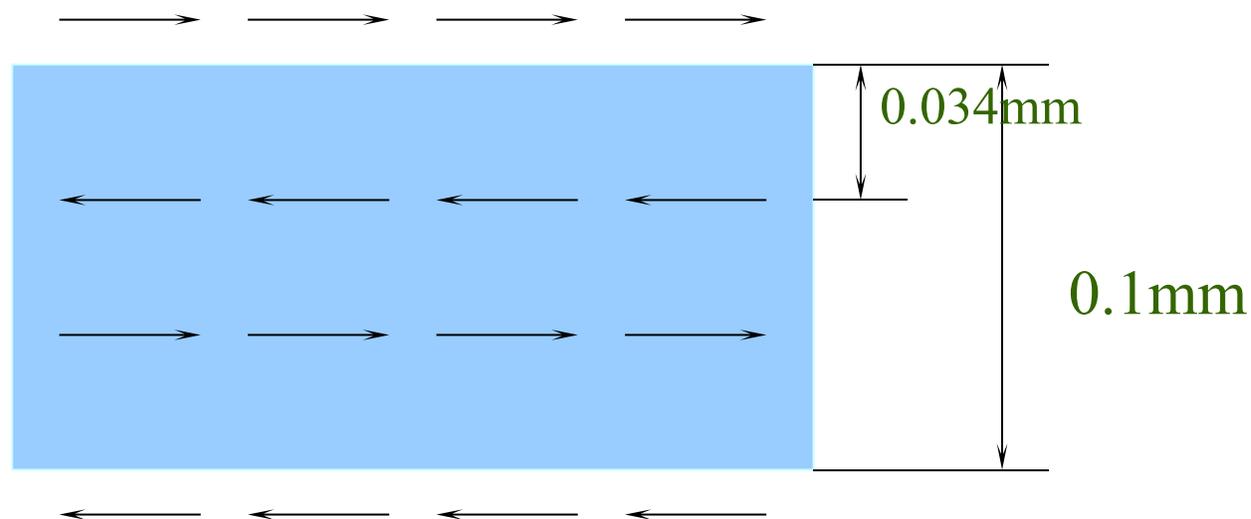
1, 简单来说, 3次泛音是基频的频率\*3

所以48MHZ, 就相当于(48/3=) 16MHZ的厚度

2, 石英水晶片的频率常数是1670.也就是说

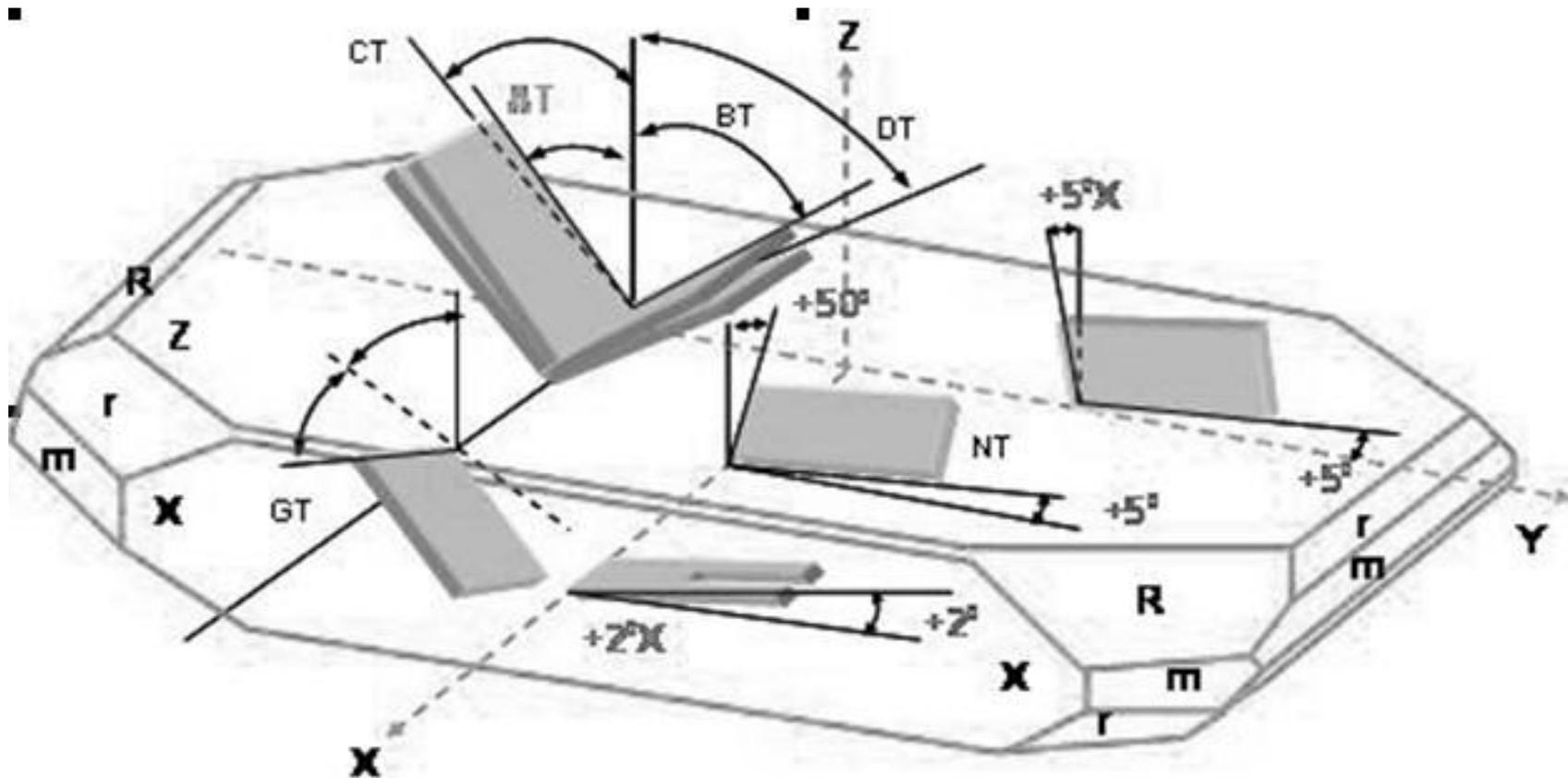
$$F_0(\text{KHz}) = 1670 / \text{Thickness}(\text{mm})$$

那么我们控制石英水晶片的厚度在0.1mm就可以了。

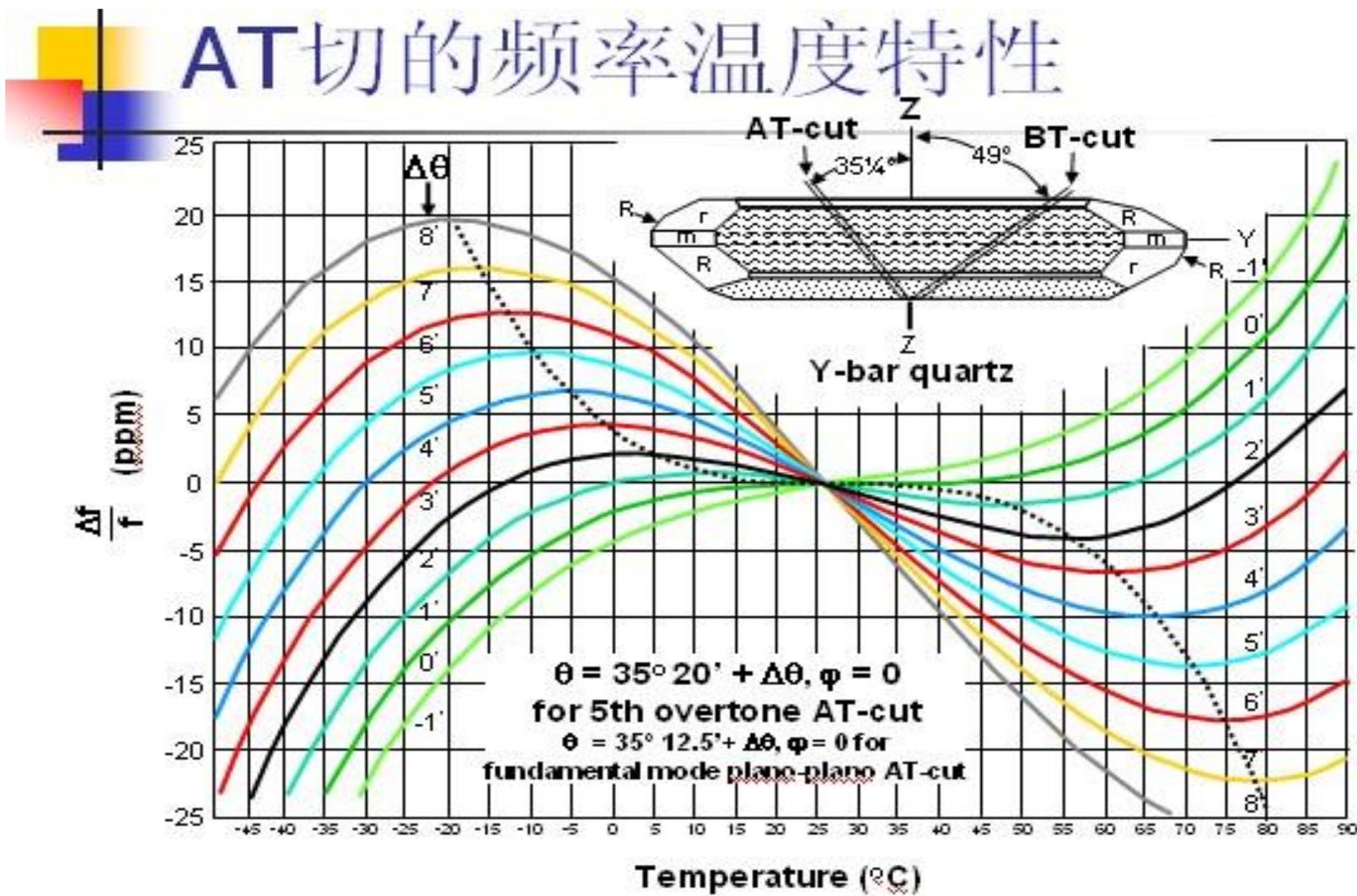


# 石英的切割方式

为满足不同应用领域及工作温度需求，产生了许多不同的石英切割角度种类，如AT BT CT DT.....展现不同的振荡和温度特性



# AT切型的温度特性 (TC)



# 石英晶体的应用方向

	行業	消費者
軍事 & 航空宇宙 通訊 航海 IFF 雷達 傳感器 導航系統 Fuzes 電子 聲納浮標	通訊 無線電通訊 移動/無線電訊/手提式 無線電通信,電話&呼機 航空 航海 導航 器械元件 數碼系統 CRT 顯示器 磁盤驅動器 調制解調器 跟蹤/標識 應用程式 傳感器 電錶 醫療	手錶 & 鐘錶 (細胞式) 無線電通訊 & 無線電話, 呼機 無線電通信 & hi-fi 設備 彩色電視, 有線電視系統 機頂盒 家用電腦, 手提電腦 VCR & 攝像機, 顯示器 CB & 業餘無線電通信 玩具 & 遊戲, U盤, 鼠標, 起搏器 醫療設備,
研究 & 度量衡 原子鐘 器械 天文學 & 測地學 空間跟蹤 天體導航		汽車 (自動系統) 發動機控制, 身歷聲系統 鐘錶, GPS, TPMS, 倒車雷達, 倒車監控系統.

P  
ART 02

# ■ 石英晶体的分类

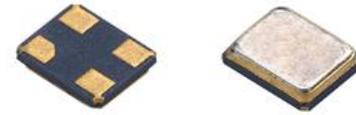
## 1.晶体谐振器 (无源晶振)



**HC-49S**



**HC-49SMD 2pads**



**(3225,2520,2016)**



**32.768KHZ**

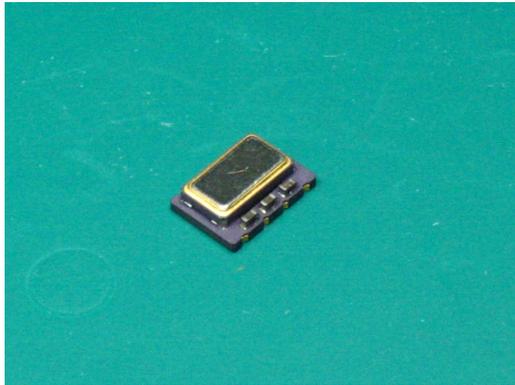


**MC-146**

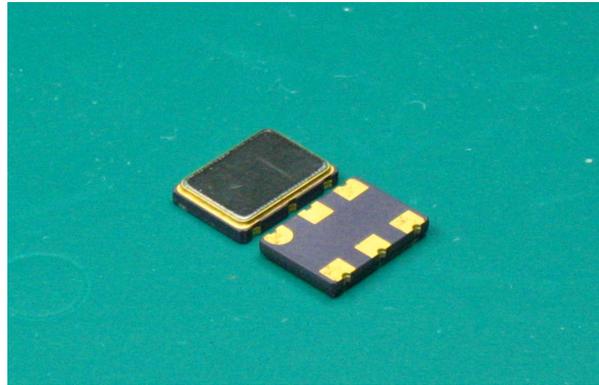


**FC-135**

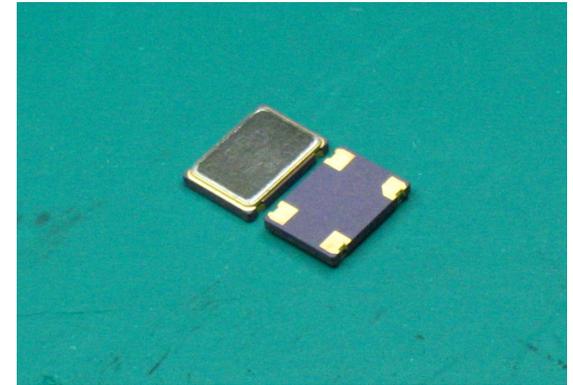
## 2.晶体振荡器（有源晶振）



TCXO(5032,3225)



VCXO  
(7050,5032)



OSCILLATOR  
(7050,5032,3225,2520)

P  
ART 03

# 晶体的特性参数及 使用注意事项

# 特性名词解释

- FL: 负载频率(在某一CL负载下的谐振频率)
- FR: Series resonant frequency 串联谐振频率(晶体本身的谐振频率)
- RR: Resistance 谐振阻抗
- C0: Static Capacitance 静态电容
- C1: Motional Capacitance 动态电容
- CL: Load capacitance for specified frequency 于参考频率时的负载电容
- DLD2: MaxR-MinR 不同激励功率下之最大与最小阻抗差值
- RLD2: DLD MaxR 不同激励功率下之最大Rr值
- FDL: MaxFR-MinFR 不同激励功率下之最大与最小FR之差值
- Q: Quality factor 品质因子
- TS: Trim sensitivity 负载电容每变化1Pf时FL的变化量(单位:ppm/Pf)
- SPDB: 寄生振荡

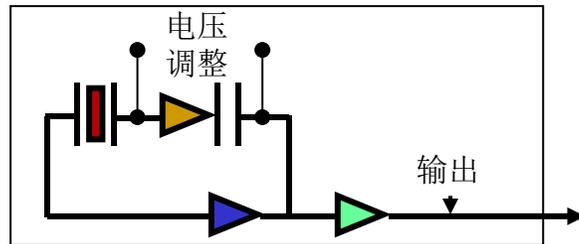
## 振荡器的缩写

- 经常使用的
- VO-----晶体振荡器
- VCXO---压控晶体振荡器
- TCXO---温度补偿晶体振荡器
- OCXO---恒温控制晶体振荡器
- **其它**
- **TCVCXO**-温度补偿压控晶体振荡器
- **OCVCXO**-恒温控制压控晶体振荡器
- **MCXO**---微机控制晶体振荡器
- **RBXO**---铷晶体振荡器

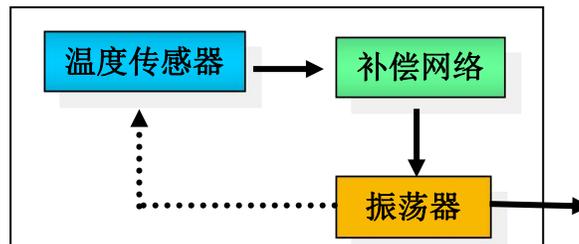
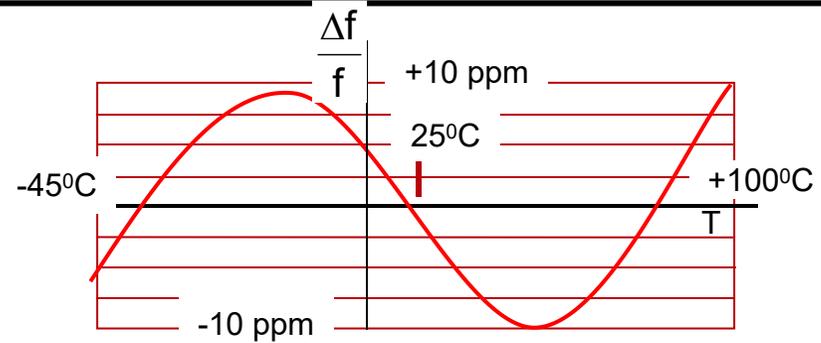
# 振荡器的分类

- **以晶体器件的频率温度特性来分类的三种晶体振荡器是：**
- **XO (PXO)石英振荡器：**不施以温度控制及温度补偿的石英振荡器。频率温度特性依靠石英振荡晶体本身的稳定性。
- **TCXO 温度补偿石英振荡器：**来自温度传感器（热敏电阻）的输出信号被用来产生校正电压，加在晶体网络中的变容二极管上。模拟的TCXO在晶体频率随温度变化的范围内提供20倍以上的改善。
- **OCXO恒温槽式石英振荡器：**晶体和其它温度敏感元器件都被放在稳定的恒温槽中，而恒温槽被调整到频率随温度变化斜率为零的温度上。OCXO能够在晶体频率随温度变化的范围内提供1000倍以上的改善

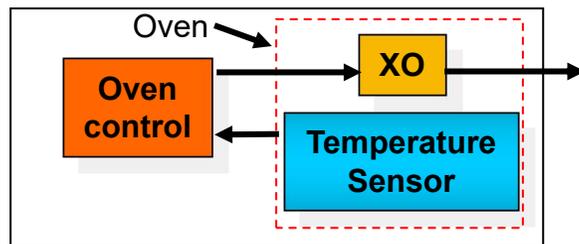
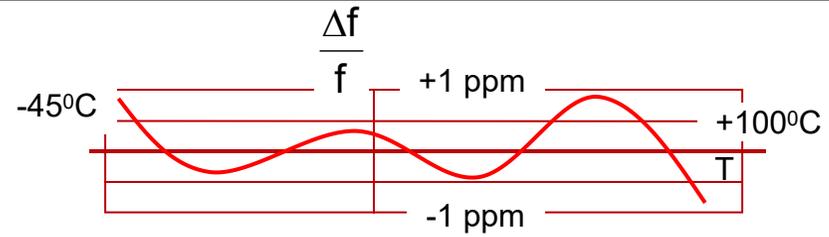
# 几种振荡器的精度比较



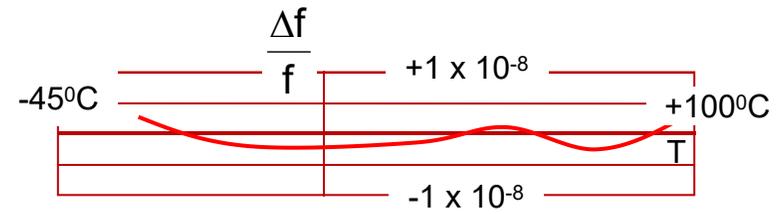
• 晶体振荡器 (XO)



• 温度补偿振荡器 (TCXO)



• 恒温振荡器 (OCXO)

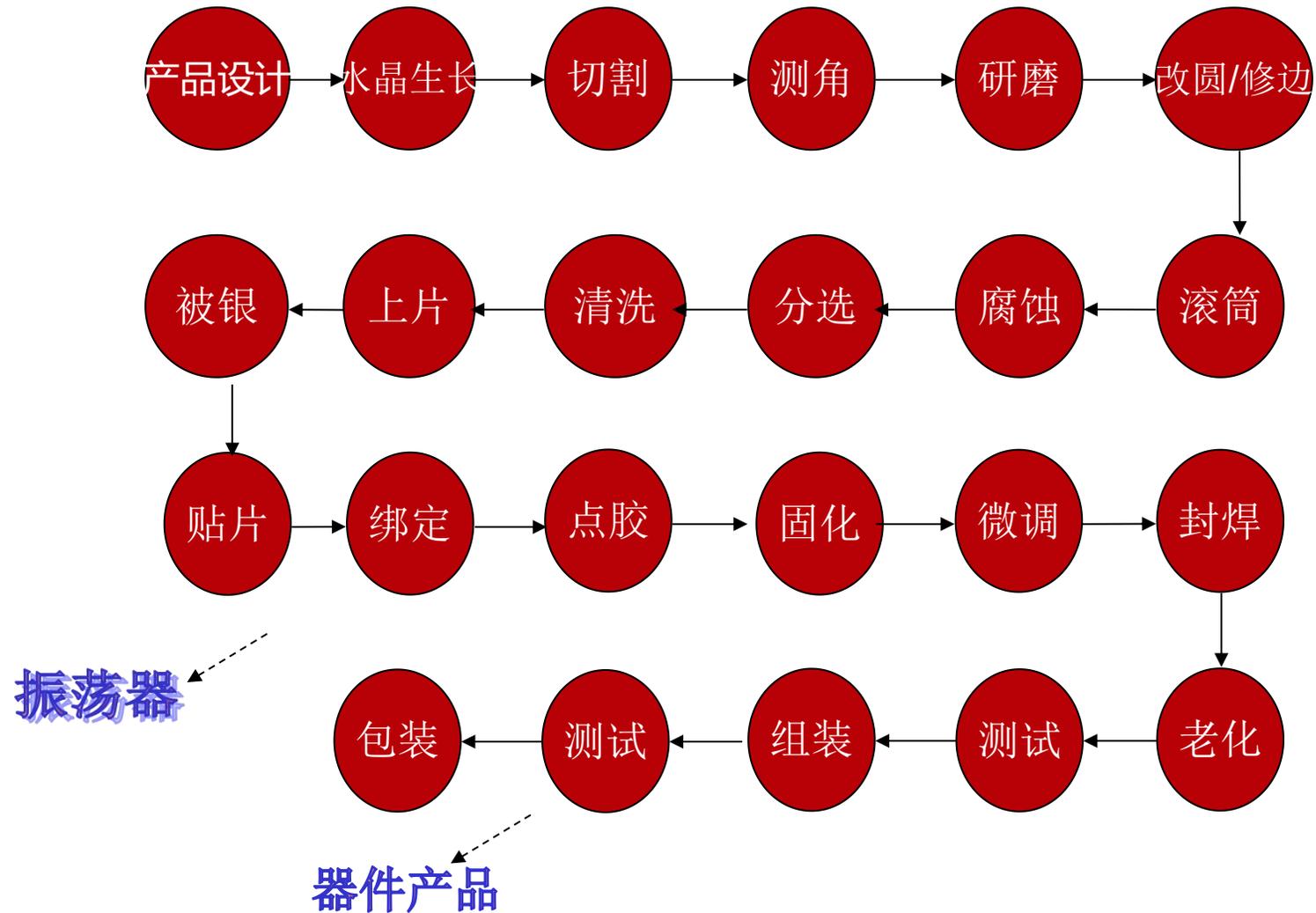


# 振荡器的等级

## 振荡器的等级

振荡器类型*	准确度**	典型应用
晶体振荡器(XO)	$10^{-5} \sim 10^{-4}$	计算机定时
温度补偿晶体振荡器(TCXO)	$10^{-6}$	在战术无线电传送中作频率控制
微机补偿晶体振荡器(MCXO)	$10^{-8} \sim 10^{-7}$	频谱展宽系统的时钟
恒温控制晶体振荡器(OCXO)	$10^{-8}$	导航系统时钟和频率标准, MTI 雷达
小型原子频率标准(Rb, RbXO)	$10^{-9}$	C <sup>3</sup> 卫星终端, 收发分置和多收发分置雷达
高性能原子频率标准(C <sub>s</sub> )	$10^{-12} \sim 10^{-11}$	战略 C <sup>3</sup> 、电子战

# 晶体生产流程



# 晶体使用过程中应注意的问题

## 1.防止对晶体破坏

- 1) . 石英晶体的心脏部件为石英晶片，它随晶体频率的增加而变薄，因此对于中、高频晶体在使用、运输过程中**应避免发生剧烈冲击和碰撞**。以防因晶片破裂而造成产品失效。
- 2) . 石英晶体是靠导电胶连接基座和晶片的。导电胶的主要成分是银粉和环氧树脂。环氧树脂在高温下会失效。因此建议石英晶体**应避免在150°C以上长时间存放**。

## 2.规定工作温度范围及频率允许偏差

工程师可能只规定室温下的频差。对于在整个工作温度范围内要求给定频差的应用，还应该规定整个工作温度范围的频差，规定这种频差时，应该考虑设备引起温升的容限。

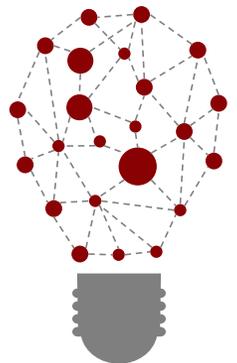
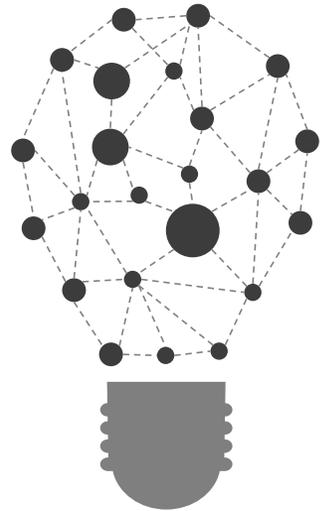
规定整个工作范围内频差的基本方法有两种：

- (1)规定整个温度范围内的总频差，如：-20-70°C范围总频差为 $\pm 50\text{ppm}$ ，这种方法一般用于具有较宽频值而不采用频率微调的场合。
- (2)规定下列部分的频差：
  - a.基准温度下的频差为 $\pm 20\text{ppm}$ ；
  - b.在-20-70°C整个温度范围内，相对于基准温度实际频率的偏差  $\pm 20\text{ppm}$ ；这种方法一般用于具有较严频差的，要靠频率牵引来消除基准温度下频差的场合。

## 3.负载电容 (CL)和频率牵引(TS)

在许多应用中，都是用一负载电抗元件来牵引晶体频率的。这对于调整制造公差、在锁相环回路中以及调频应用中可能是必要的。

在绝大多数应用中，这个负载电抗元件是**容性**的。

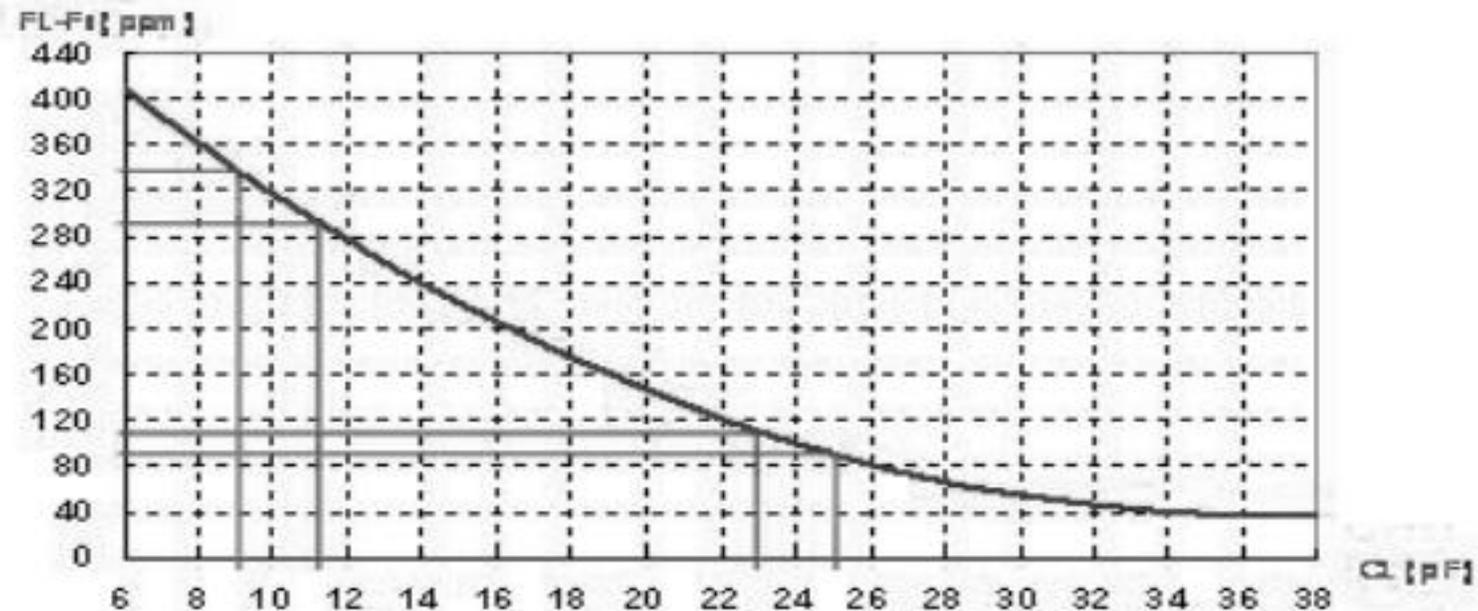


# 晶体使用过程中应注意的问题

在规定负载电容下的牵引灵敏度 ( $T_S$ ) 是一个对设计师十分有用的参数。它定义为负载电容增量变化引起的相对频率增量变化。

它通常以ppm/pF表示,可通过下式计算:

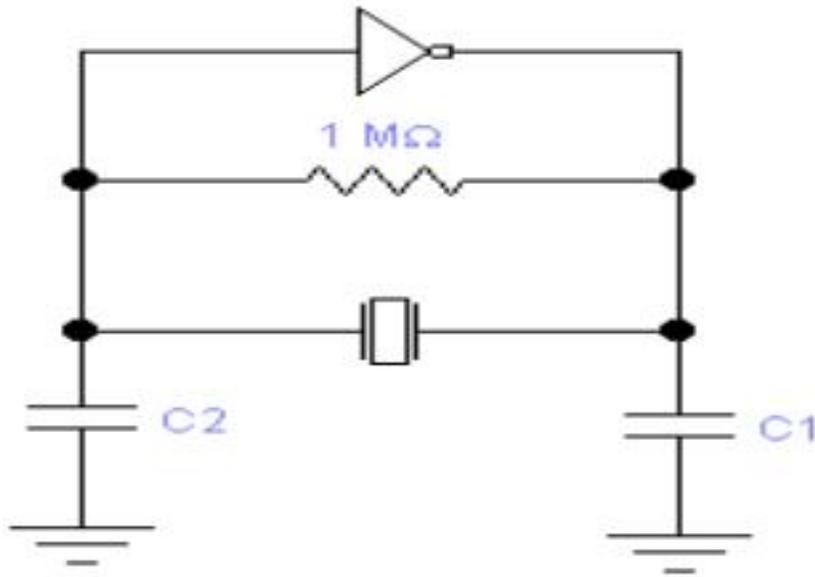
$$T_S \approx C_1 / 2 (C_0 + C_L)$$



# 晶体使用过程中应注意的问题

## 3.应用电路中对晶体负载电容的估算

在实际应用中，晶体负载电容与电路中负载电抗的匹配非常重要。如晶体负载电容与电路负载电抗不相匹配，要得到准确的输出频率是很困难的，除非电路中存在一个变容量很大的可调电容器。在设计时，粗略估算晶体负载电容是必要的。如图所示：



$$C_L \approx (C_1 C_2 / (C_1 + C_2)) + C_{\text{杂散}}$$

P  
ART 04

# ■ 电路匹配测试

匹配测试是为了确保晶体规格和电路相吻合所进行的。主要有如下内容：



频率准确度



负性阻抗



激励功率



起振时间

这些测试内容根据实际需要的不同，会有一些增加或删减。在设计阶段进行这些测试是最佳的。

# 频率准确度的匹配

频率准确度的匹配可以采取两种方式:

- 1.保持晶体规格不变,改变晶振电路外接电容的容值;
- 2.保持晶振电路外接电容不变,改变晶体规格。

可以通过以上两种方法使晶振电路的频率准确度达到合格要求,一般取 $\Delta FL \leq 5\text{ppm}$ 。

有些集成电路会在规格书中给出外接电容的推荐容值,这种情况下通常将外接电容的容值定为所推荐的容值,然后再确定晶体的规格,即选择第2种匹配方式。

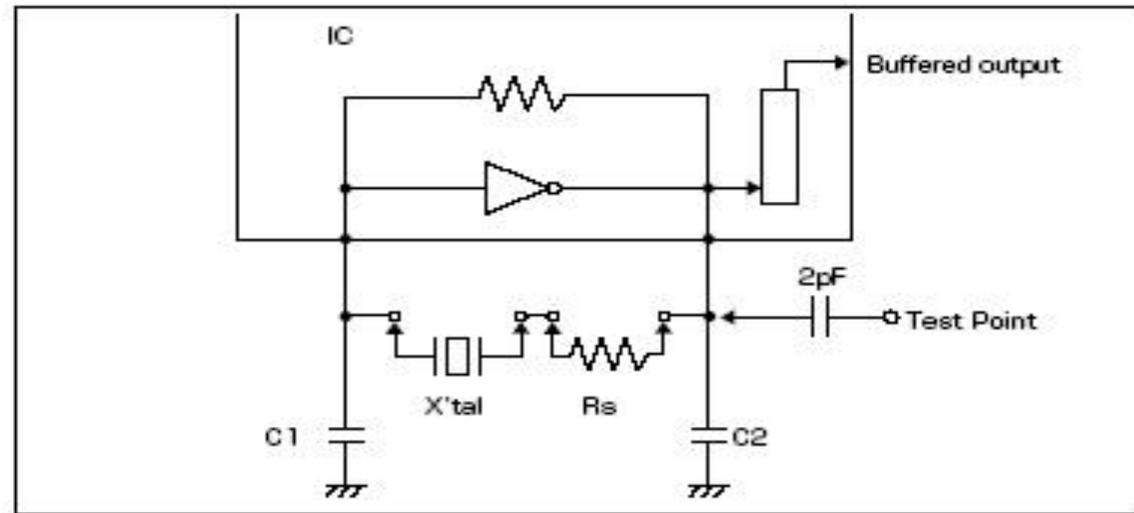
匹配过程中要注意如果负载电容太大,晶体有可能不起振(负阻太小),若负载电容过小,可能会因整个回路相位偏移不够而出现不起振或振在泛音频率上的现象,所以要选择一个比较合适的电容值。

把频率信号作为一发射源,用探头靠近但不接触晶体,用频谱仪分析其频率参数,该方法可以避免探头杂散参数的影响。

# 负性阻抗的匹配

测量振荡电路负性阻抗的方法是：将一可调电阻与晶体串联接入电路，调节可调电阻至0ohm，使电路稳定振荡，再慢慢增大可调电阻，至电路停止振荡，记下此时可调电阻的阻值为RS，则负性阻抗  $| - R | = R1 + RS$  (R1为晶体串联谐振阻抗)，要求  $| - R | > (5 \sim 10) \times R1$ 。负阻的大小将直接导致振荡器的稳定工作与否。

如果负性阻抗不能满足要求，就要将电路外接电容变小，再次测试，直到负性阻抗满足要求为止。将电路外接电容变小的同时也要改变晶体规格，以保证频率准确度的匹配特性。



Measurement Circuit for Negative Resistance

## 激励功率的确定

晶体工作在合适的激励功率下才能保证其短期及长期的稳定性。可以通过下面的方法计算晶体在电路中的激励功率：

Calculation based on the oscillation amplitude measured with a high-impedance voltage probe.

$$\text{Drive Level } P = |V|^2 \cdot \frac{R}{|Z|^2}$$

$$\text{Voltage Value between Pins of Crystal Resonators } V = \frac{(V_{pp\_out} + V_{pp\_in})}{2\sqrt{2}} \quad \begin{array}{l} V_{pp\_out} : \text{Output Amplitude} \\ V_{pp\_in} : \text{Input Amplitude} \end{array}$$

$$\text{Impedance } |Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$R = R_1 \left( 1 + \frac{C_0}{C_L} \right)^2 \quad X = \frac{1}{\omega C_L}$$

- ◆ IEC推荐的激励功率常用值：1mW、100uW、50uW、20uW、10uW、1uW。
- ◆ 若激励功率不合适，则要调整电路设计来改变晶体的激励功率。当激励功率过高时通常在X out端设置一个限流电阻，可以通过调整其阻值来调整激励功率的大小。

# 起振时间

起振时间在某些功能的电路中同样重要，比如通讯，起振时间过长会导致电路无法工作或工作不稳定。

大的负载电容会产生较长的激活稳定时间，所以可以通过减小负载电容来缩短起振时间。

另外,适当的调整C0等参数,也会对起振时间有影响.



感谢观看!