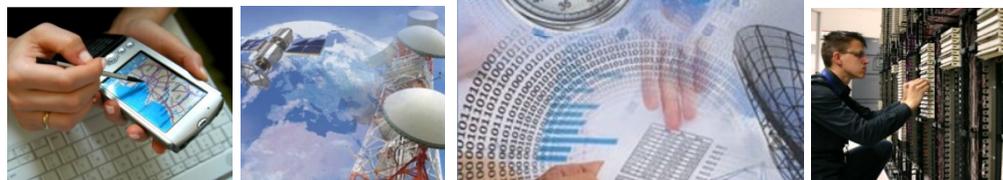




石英—晶体—晶振



2017Q1

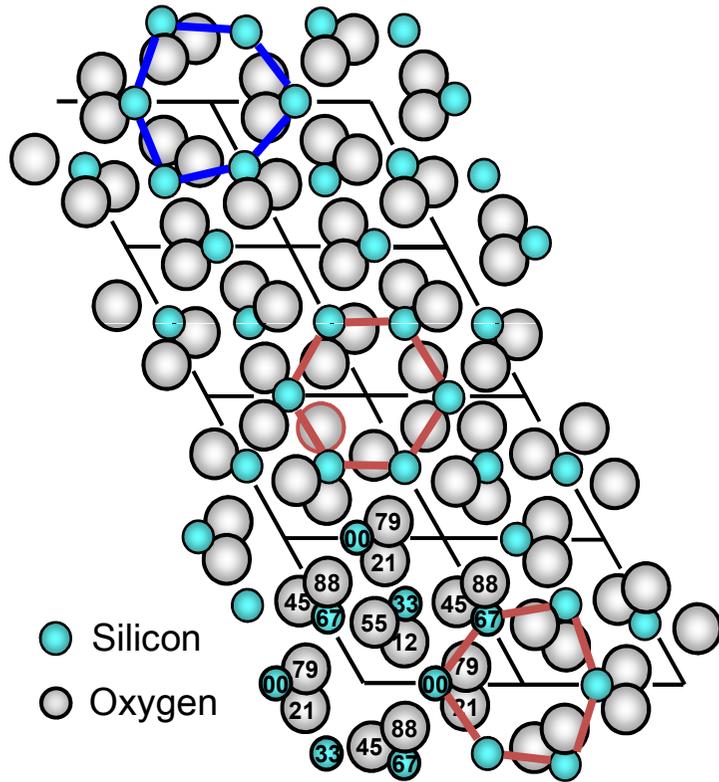


Sync with you!

目录

- 1、石英晶体特性
- 2、晶片切割
- 3、晶体谐振器
- 4、晶体振荡器
- 5、晶振测试及性能

一、石英晶体特性



Constitutes :

Silicon Dioxide, SiO₂

Structure :

Trigonal-Digonal

Melting Point :

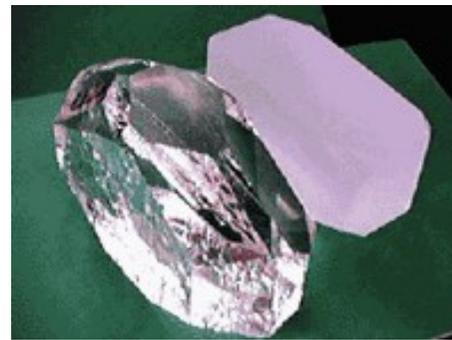
~ 1,750 degree C @ 1 atm

Hardness :

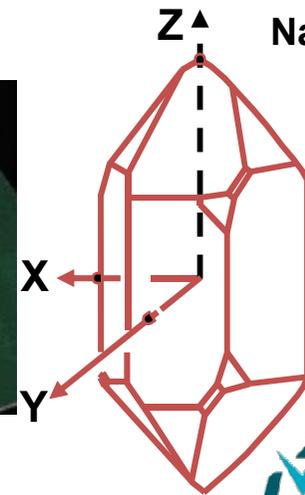
~ 7.2 Mohs @ 1 atm



Nature Quartz



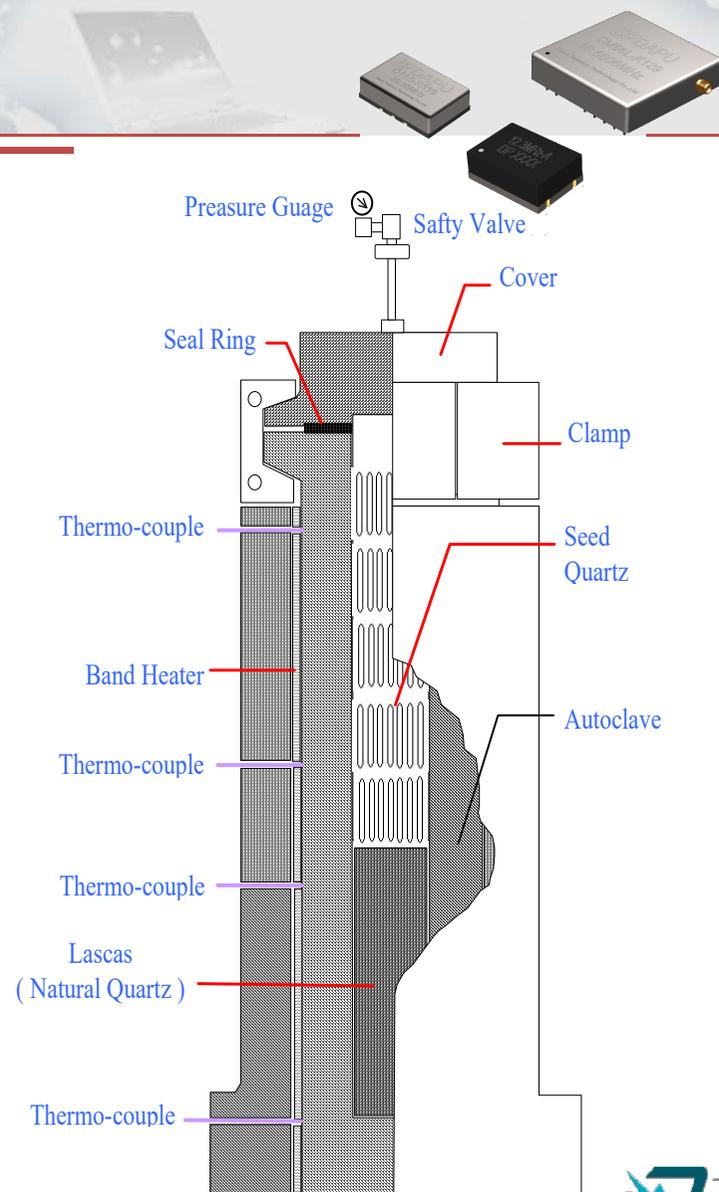
Synthetic Quartz



一、石英晶体特性—高压釜

- ◆ AUTOCLAVE
- ◆ HYDROTHERMAL METHOD
- ◆ RAW MATERIAL : Silica
- ◆ HIGH PRESSURE : $\sim 900 \sim 1,000 \text{ Kg / cm}^2$
- ◆ HIGH TEMPERATURE : $\sim 350 \sim 400 \text{ }^\circ\text{C}$
- ◆ HIGH TEMP. STABILITY : $\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$
- ◆ LONG GROWTH TIME : 1 ~ 6 Month
- ◆ HIGH PURITY :
- ◆ Infra-Red Absorption (IRA) : 3585 CM^{-1}

人造水晶生长是高能耗产业



一、石英晶体特性—人造石英晶体工厂



Moving new autoclave to the factory



Grown quartz bars from autoclave

一、石英晶体特性—压电特性

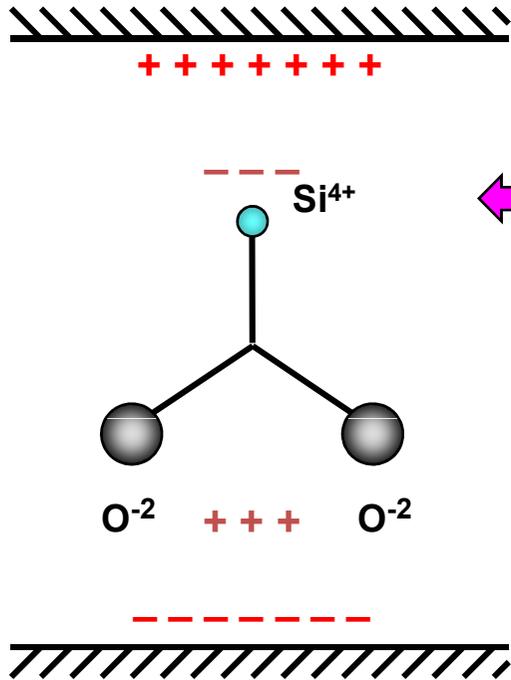


石英晶体是一种压电材料，主要成分是二氧化硅 SiO_2 。石英晶体有天然晶体(Crude)和人工合成(synthetic)晶体两种。天然石英晶体的杂质含量和形态等大多并不统一，因此电子线路中的晶体振荡器多使用人造石英晶体。

石英晶片之所以能当为振荡器使用，是基于它的压电效应：机械能与电能互相转换的现象。在石英晶片上加上交变电压，晶体就会产生机械振动，同时机械变形振动又会产生交变电场，虽然这种变电场的电压极其微弱，但其振动频率是十分稳定的。当外加交变电压的频率与晶片的固有频率（由晶片的尺寸和形状决定）相等时，机械振动的幅度将急剧增加，这种现象称为“压电谐振”。压电谐振状态的建立和维持都必须借助于振荡电路才能实现。



一、石英晶体特性—压电特性

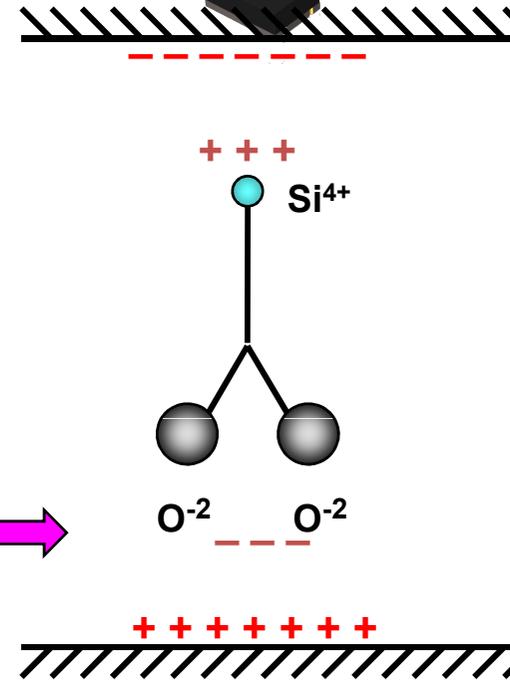


The volume of quartz will be enlarged when a negative electric field is applied in oxygen side and positive electric field is applied in silicon side.

The volume of quartz will be shrunk when a positive electric field is applied in oxygen side and negative electric field is applied in silicon side.

A strong electrical field, upper electrode is positive charged and lower electrode is negative charged, is applied along the center balanced axis. Oxygen ions have to be push outward to generate a positive space charged field to balance the system.

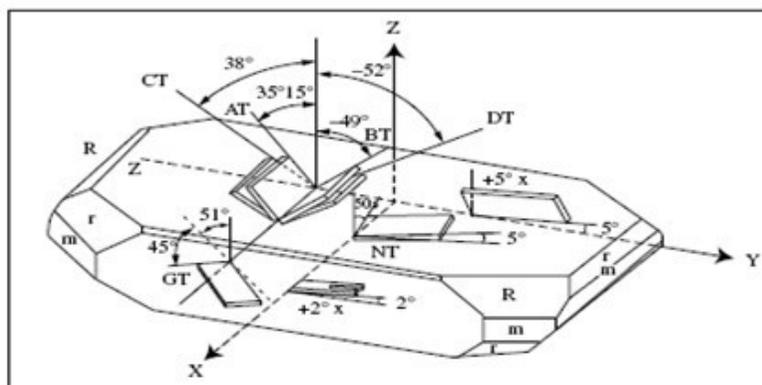
The vibration frequency that quartz material is induced depends on the frequency of alternative electric field in specific direction in coordinate system.



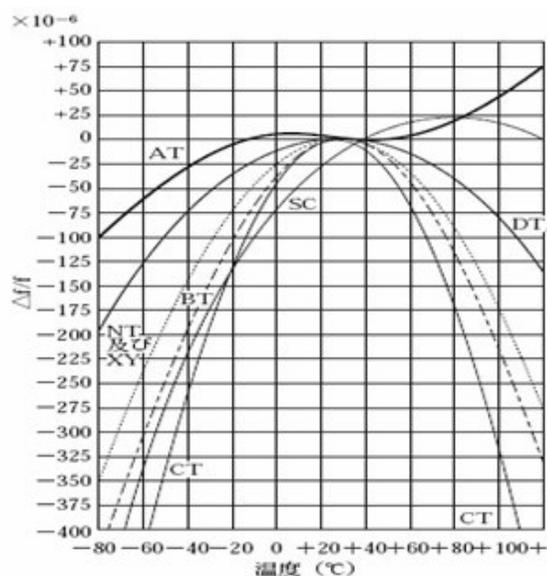
On the other way, when lower and upper electrodes are positive and negative charged. The oxygen ions will be push toward each other to generate a negative space charged field to balance the system. The space field near the silicon ion will induce a positive field reversely.



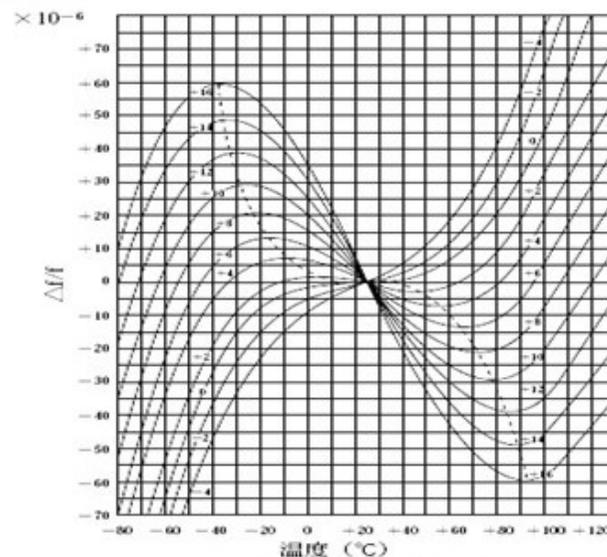
二、晶片切割一切割类型



AT\SC切拐点温度适合系统
时钟设备要求



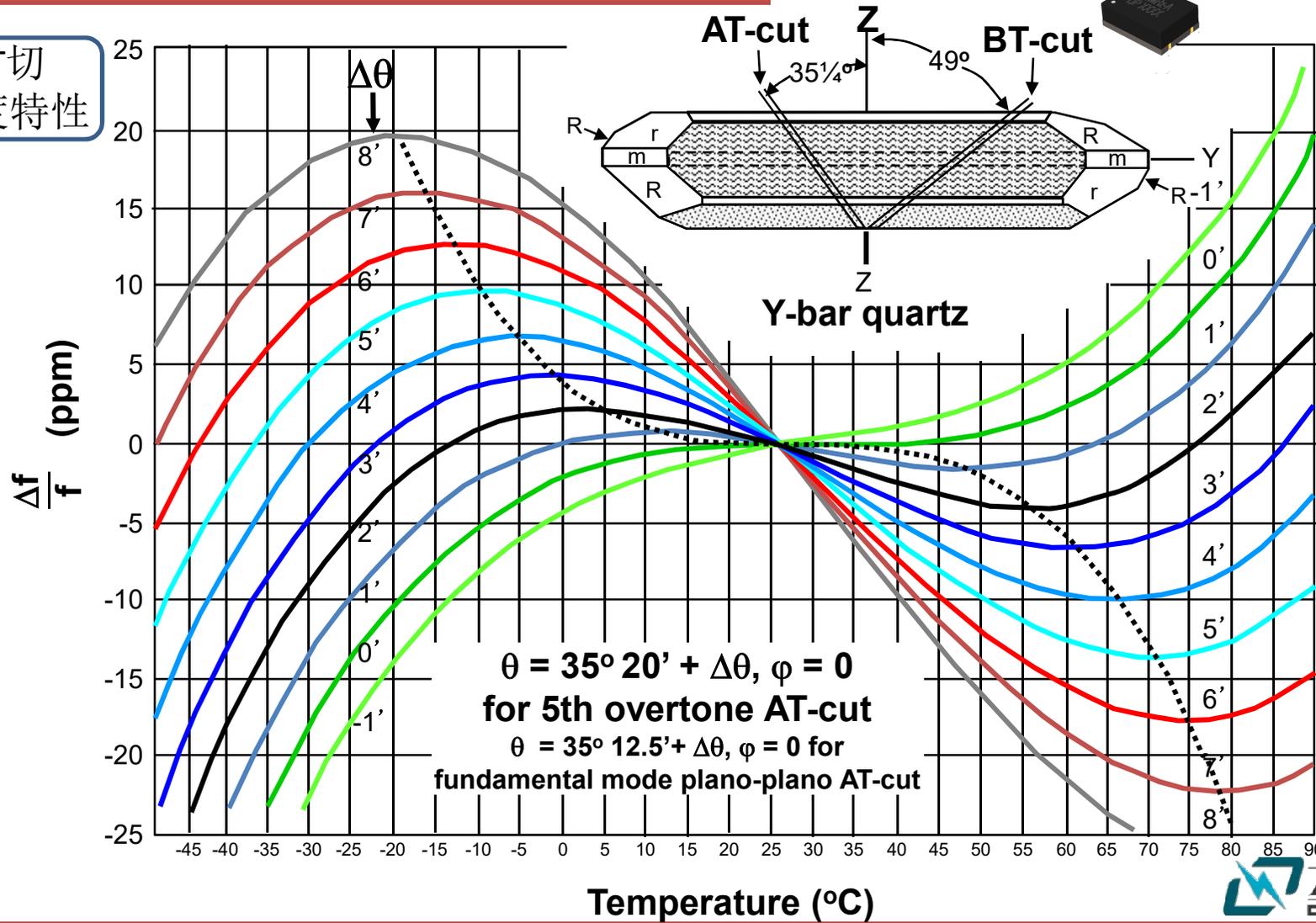
晶體的各切型的溫度特性圖



AT cut 溫度特性圖

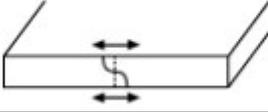
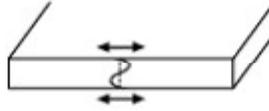
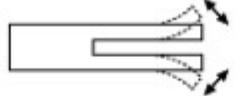
二、晶片切割—零温度特性

AT切
温度特性



二、晶片切割—振动类型

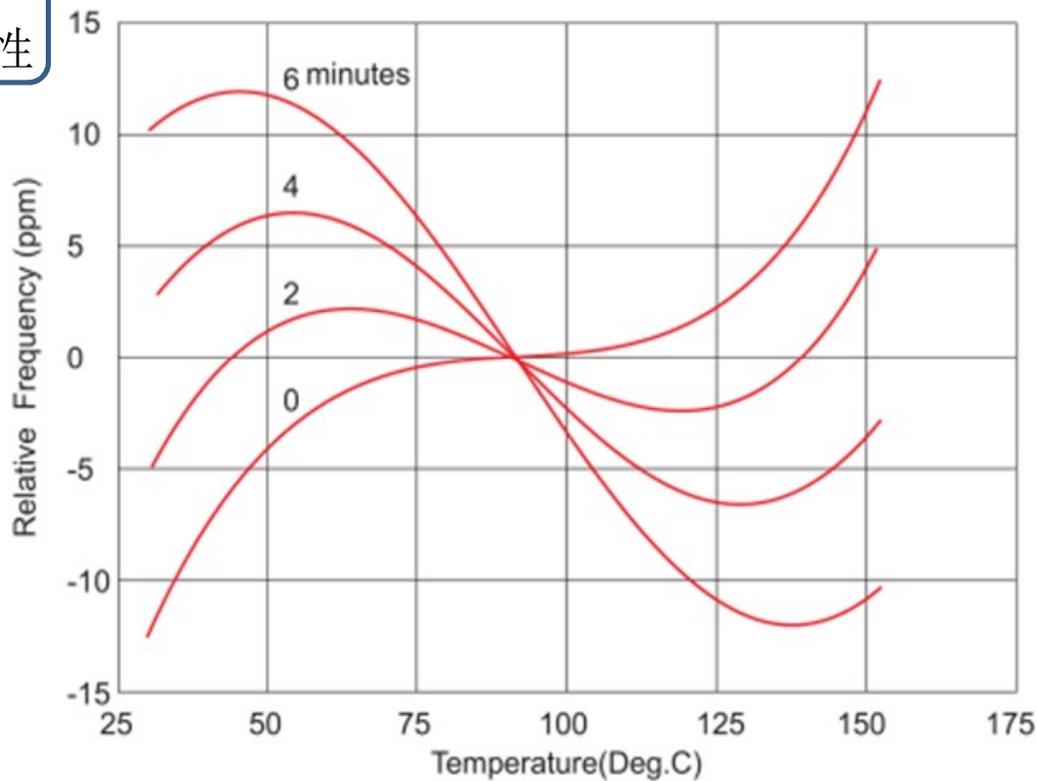


Mode of vibration vs. Frequency range				
Crystal Cut	Mode of vibration		Frequency range (kHz)	Capacitance ratio (C0/C1)
AT	Thickness shear Fundamental		800-5,000	450-300
	3rd overtone		2,000-80,000	220
	5rd overtone		40,000-150,000	$n^2 \times 250$
	7rd overtone		70,000-210,000	n: Overtone order
BT	Thickness shear Fundamental		3,000-30,000	650
XY	Flexural (Tuning fork)		16-150	425-800
	Extensional		600-3,000	400
DT	Face shear		100-500	400
CT			150-850	350
SL			180-700	400

二、晶片切割—SC切晶体



SC切
温度特性



AT-切 $\theta = 35.25^\circ$
SC-切 $\theta = 33.93^\circ, \phi = 21.93^\circ$

利用OCXO通电频率漂移方向可以判定何种晶体类型

二、晶片切割—AT/SC切性能比对



SC-cut优势

- ✓ 瞬时温度补偿---能适应快速温度变化
- ✓ 能做成高稳定的OCXO and MCXO---静态和动态频率温度特性好
- ✓ 稳定性高，老化率好，Q值高
- ✓ 平面压力补偿---边缘压力和弯曲引起的 Δf 较小
- ✓ 对辐射的敏感度低
- ✓ 较高的电容比 ---振荡器阻抗变化引起的 Δf 较小
- ✓ 电极形状敏感度低

SC-cut劣势

- 牵引范围小。一般不超过2ppm，AT切晶体牵引范围大约10ppm；
- 振荡电路复杂。由于SC-cut晶体除了基频、泛音频率外，还有比泛音频率高约1.089倍左右的频率存在（称为B模），因此在设计电路时需要考虑抑制基频的同时还要抑制B模频率。

三、晶体谐振器—外形



消费类晶体

系统类晶体

Dip Type



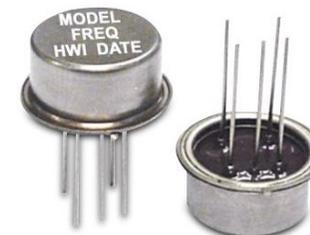
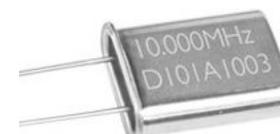
Glass Type



Seam Type



高稳OCXO
DIP Type

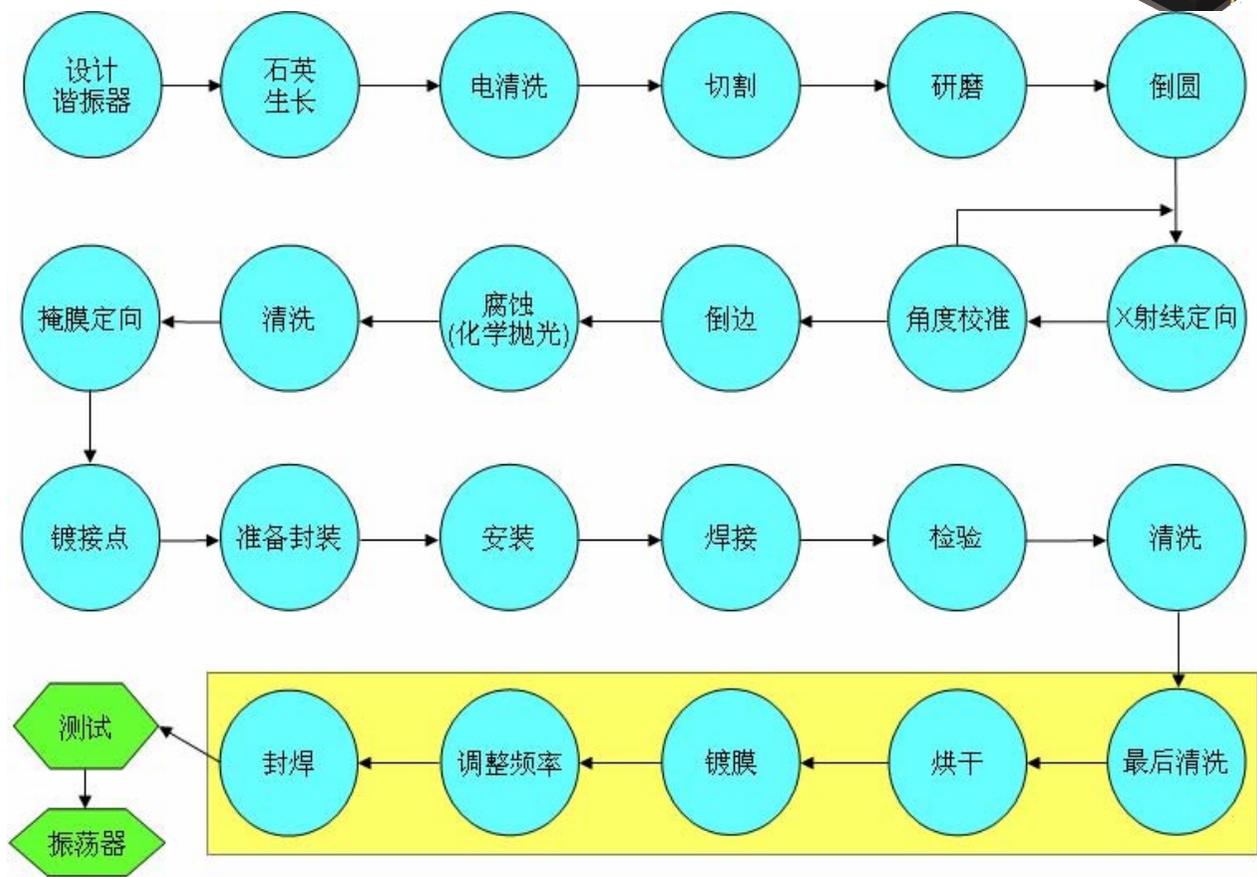


3级时钟
Seam Type



目前高稳OCXO晶体均为冷压焊晶体

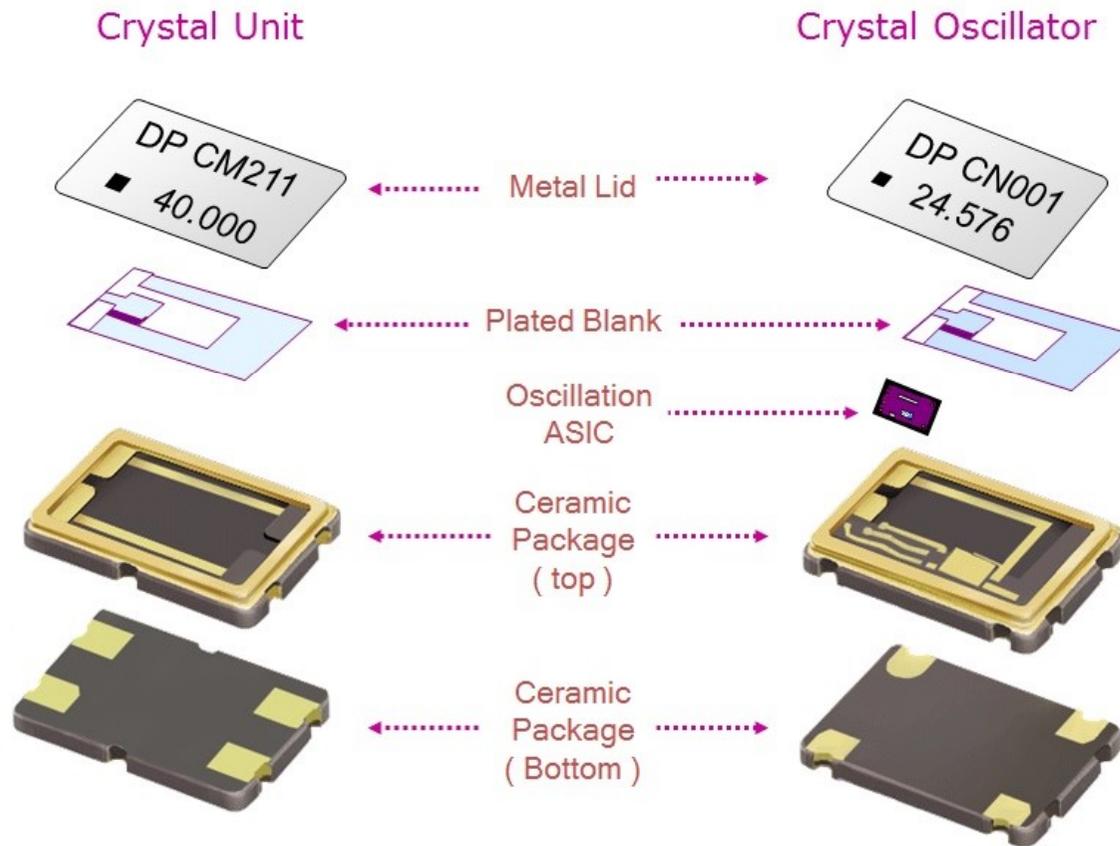
三、晶体谐振器—晶片生产流程



晶片生产属于机械和化工学科

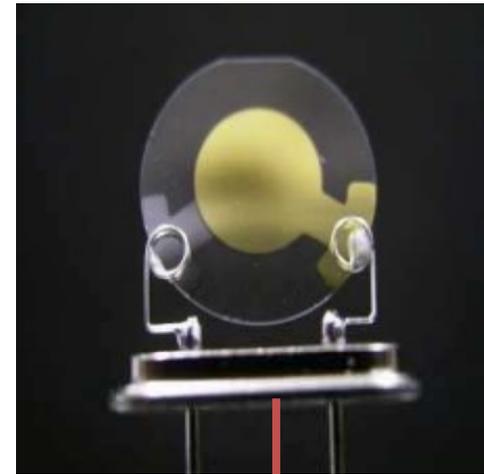
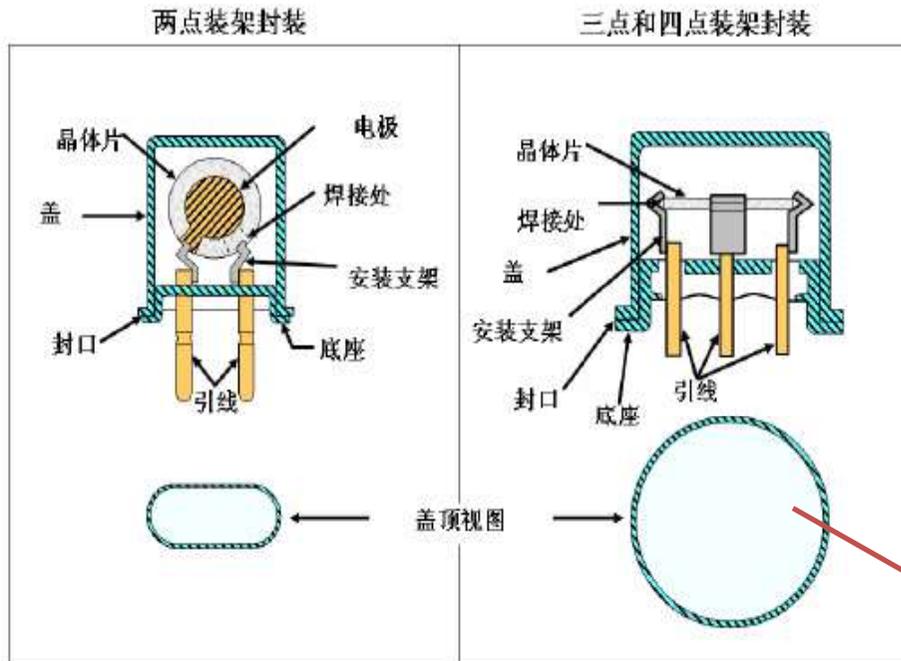


三、晶体谐振器—SMD结构



滚边焊会产生烟雾和飞溅物，只适合三级及以下时钟的晶体封壳工艺

三、晶体谐振器—高稳DIP晶体结构



外壳

底座

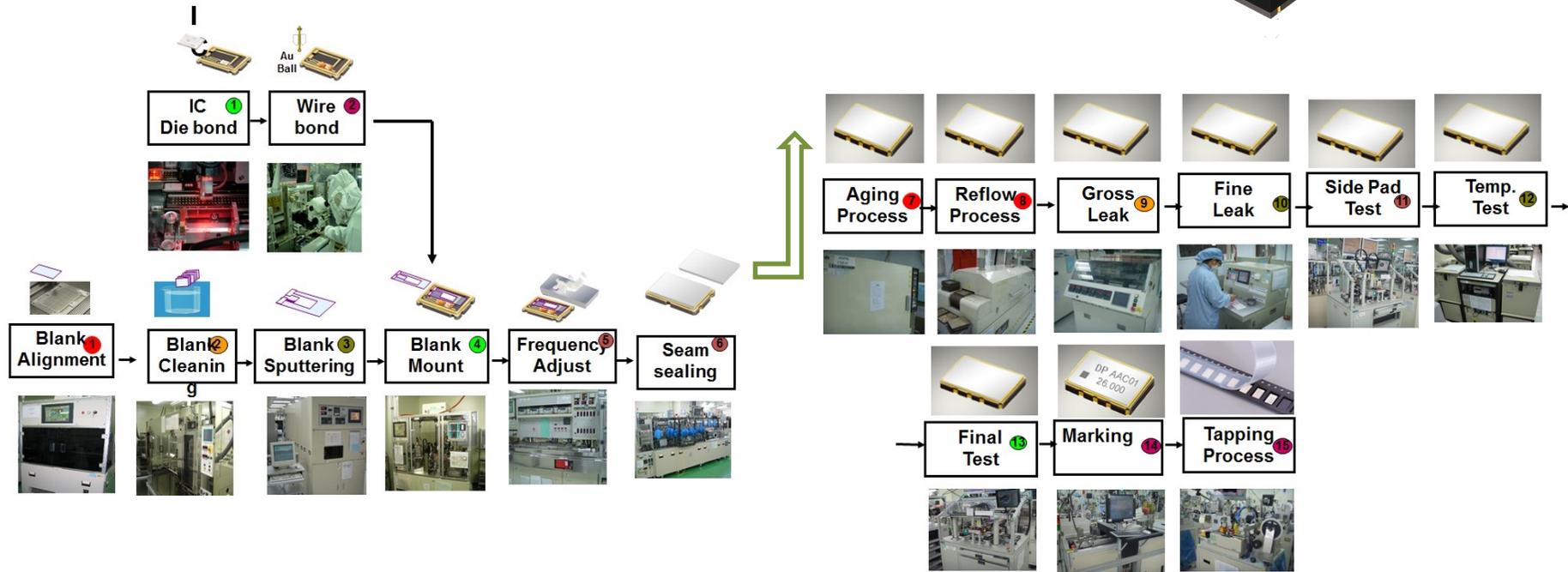


关键生产设备

均由国外提供



三、晶体谐振器—SMD晶体谐振器生产流程



- ◆ 晶体生产工艺及技术已成熟标准化，各生产厂家基本一致；
- ◆ 晶体的外壳、基座、银胶均由国外专业厂家提供；价格/成本差异不大；
- ◆ 高稳和SMD晶体工艺差别较大，需要考虑电极、支架、胶量方向等细节参数。

四、晶体振荡器—石英晶体振荡器分类

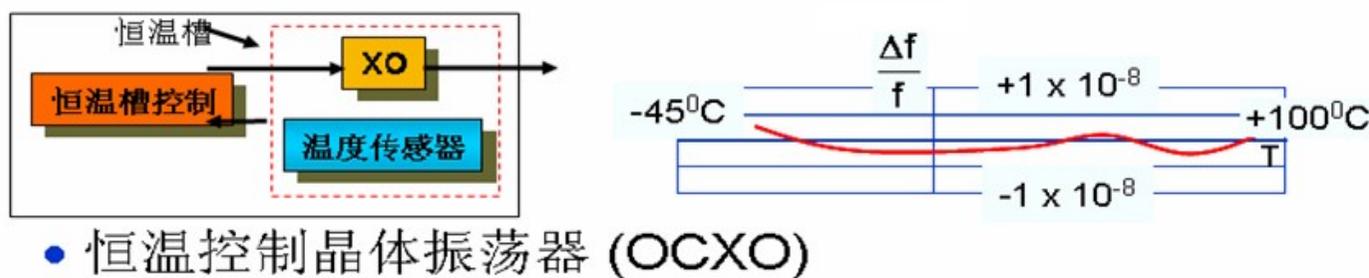
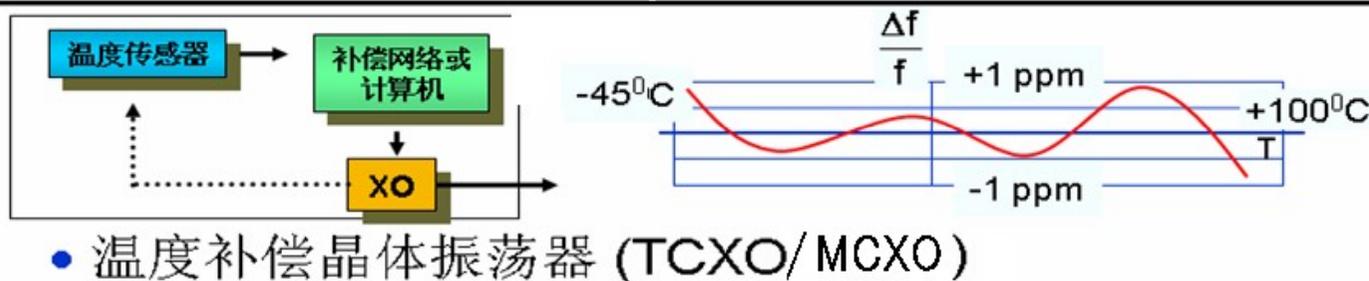
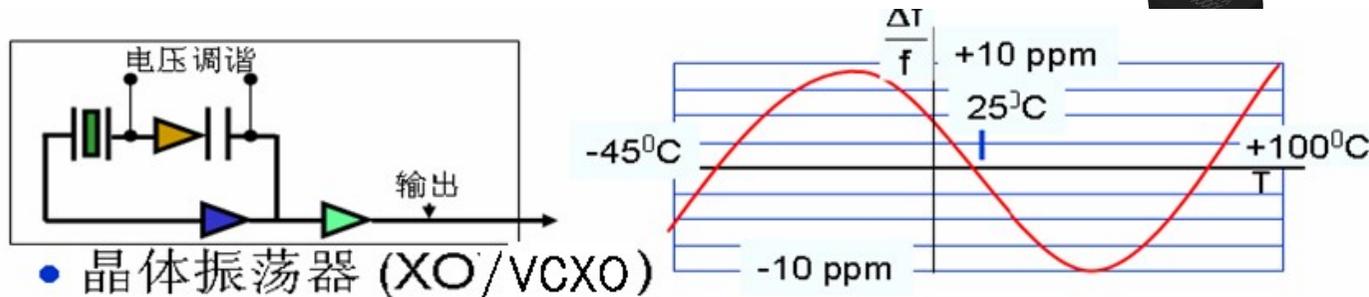


国际电工委员会（IEC）将石英晶体振荡器分为4类：

- 普通晶体振荡器（XO）
- 电压控制式晶体振荡器（VCXO）
- 温度补偿式晶体振荡器（TCXO）
- 恒温控制式晶体振荡器（OCXO）

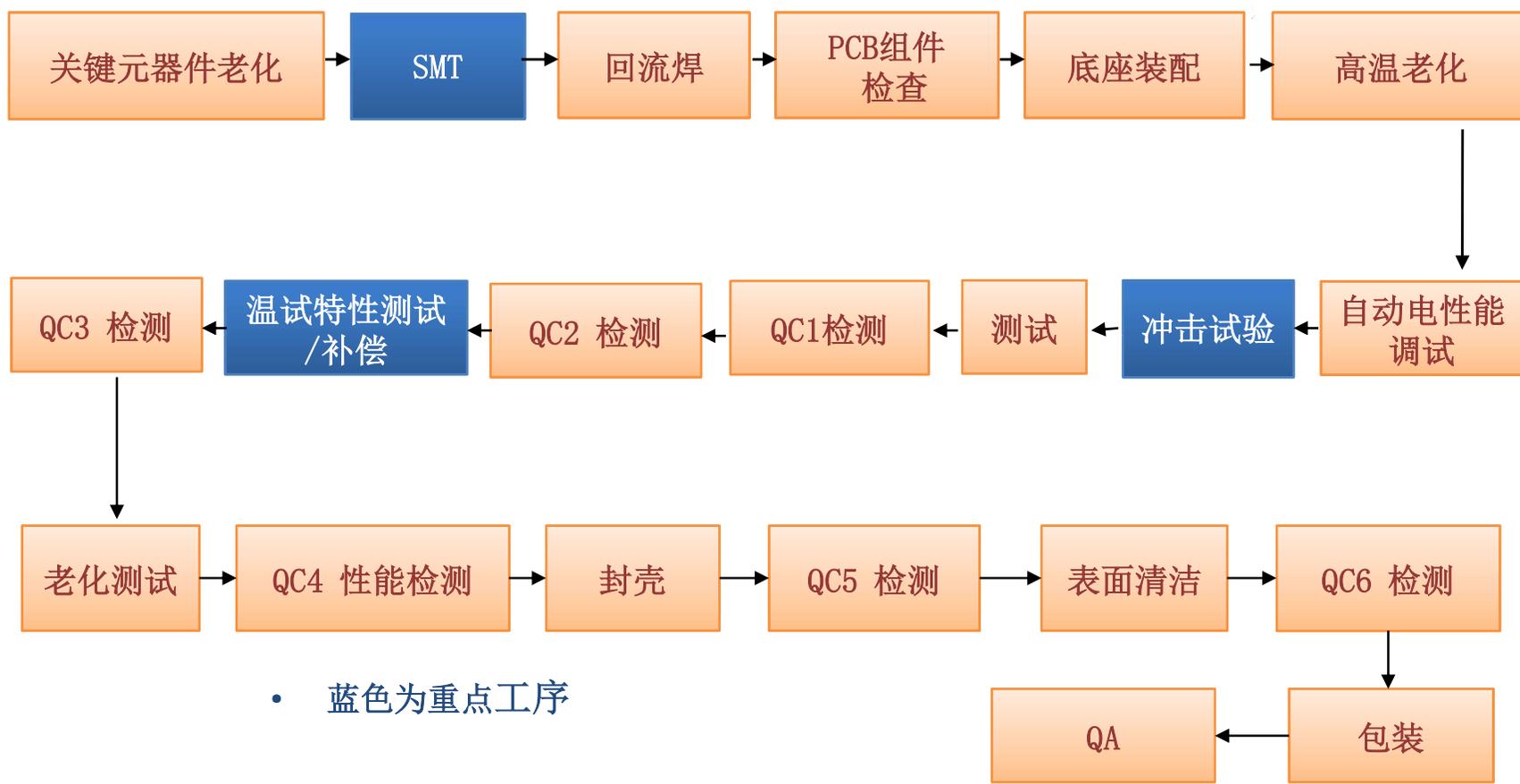
近年，随着技术的发展，部分温度补偿式晶体振荡器采用了MCU加温度传感器来进行频率补偿，因此产生了新的晶体振荡器系列，在行业类称为“微机补偿式晶体振荡器（MCXO）”

四、晶体振荡器—晶体振荡器主要类型



稳定度越高的晶振要求技术指标越多

四、晶体振荡器—高稳晶体振荡器基本生产流程

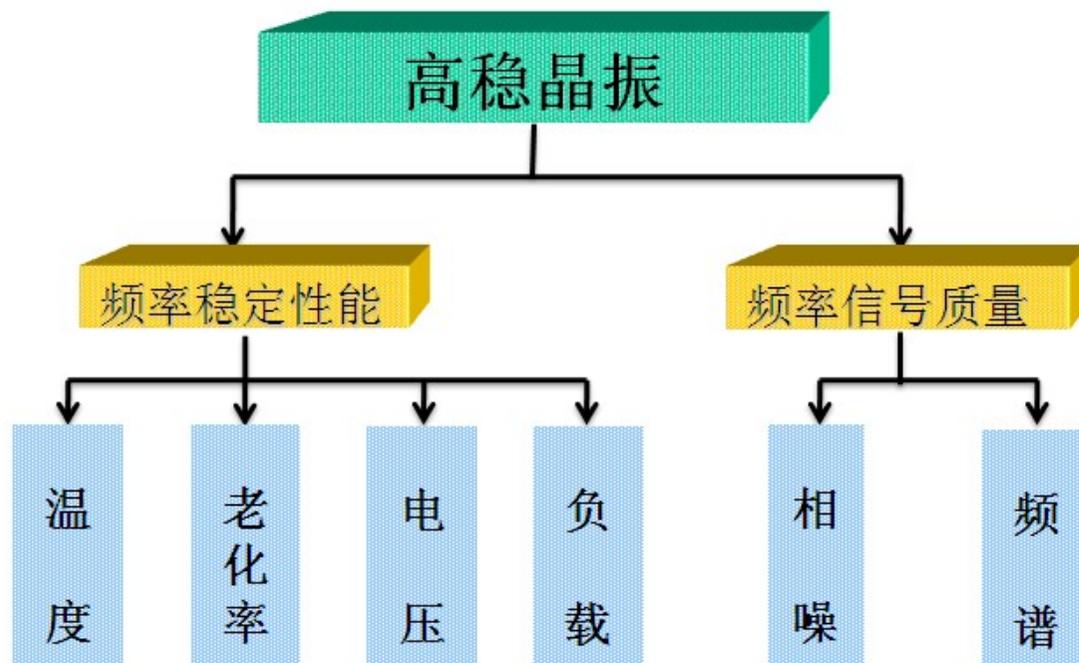


• 蓝色为重点工序

工序控制点多，要求补偿算法



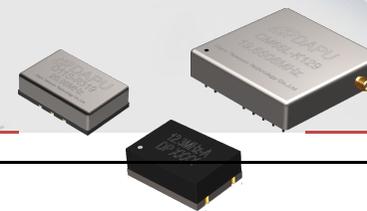
四、晶体振荡器—晶体振荡器主要参数



- ◆晶体占晶振成本的30%~60%，其中晶体老化率指标决定了晶体的价格。
- ◆晶振温度稳定度取决于晶振设计工程师的设计能力，只影响晶振成本的10%~20%。

不同类型振荡器对于研发和制造工艺以及算法要求不同

五、晶振测试及性能—晶体振荡器测试项目



测试项目	测试方法
频率准确度	出厂校准值，在规定条件下，晶振输出频率相对于标称频率的允许偏离值。
老化率	分日、年、10年、20年…。老化率，随时间变化引起晶体振荡器的频率偏移。
温度稳定度	振荡器输出频率受温度变化的影响。
频率短期稳定度	晶振输出频率相对于其平均值随即起伏特性的量度。
相位噪声	表示振荡器频谱纯度的性能参数，通常定义为在距离载波频率偏移某一频率处的1Hz带宽内噪声功率与载波功率比之。
压控特性	相对于机械调节范围也称电调范围(含电压范围、频率牵引范围、斜率、线性度等指标)。
手调频率范围	相对于电调范围也称机械调节范围，通过手动调节内部可调电位器引起的最大频率变化范围。
开机特性	晶振接通电源后，一段时间内输出频率用变化曲线来描述的频率-时间特性。
频率重现性	在规定使用温度（例如： $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ）下，以稳定条件工作的振荡器关机后，保持在规定的使用温度（例如： $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ）下一段规定的时间（例如：24小时），然后开机，工作规定时间内，其输出频率与振荡器关机前的稳定频率之差。
输出信号	占空比、上升沿、下降沿、负载能力、输出电压、输出阻抗等。常见的输出信号可分为：正弦波、方波、削顶正弦波、PECL。
电源特性	含工作电压、启动电流(功率)、工作电流(功率)、电压特性。
外形封装	含外形尺寸、封装形式、管脚定义。

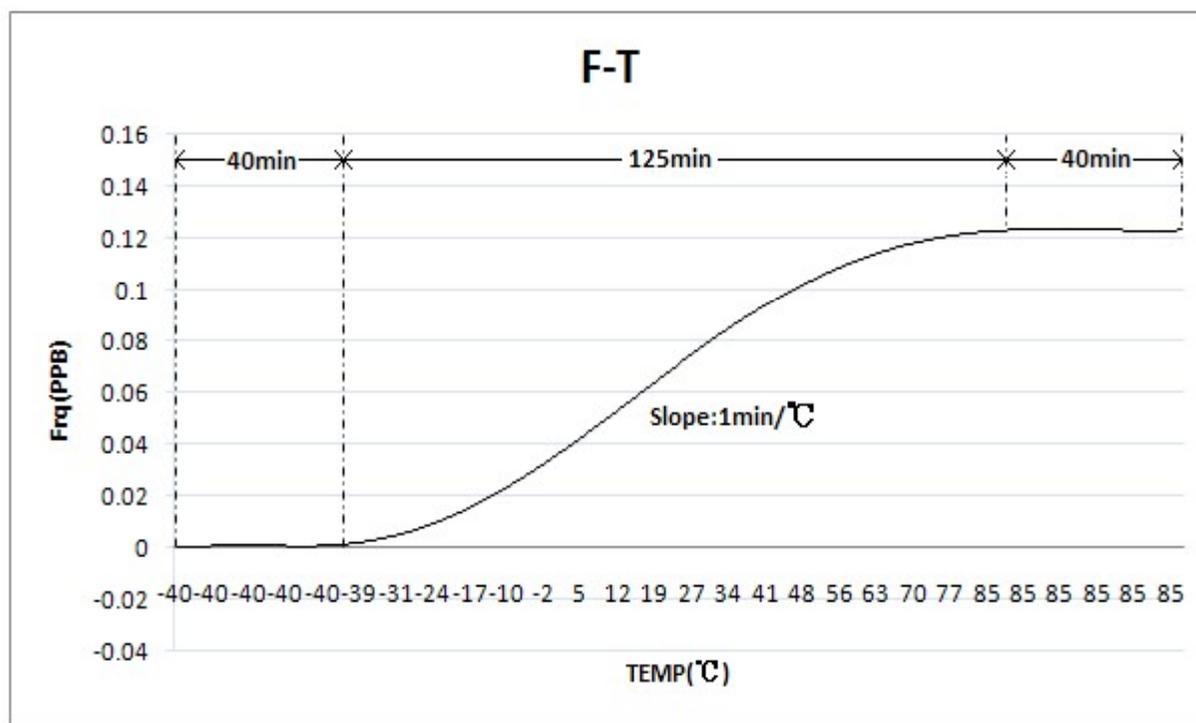
五、晶振测试及性能—晶体振荡器温度特性



晶振的温度稳定度取决于两个：①控温精度 ②补偿算法

计算公式两种：

- 1、 $\Delta f_{pk-pk}/2$
- 2、相对25度的漂移

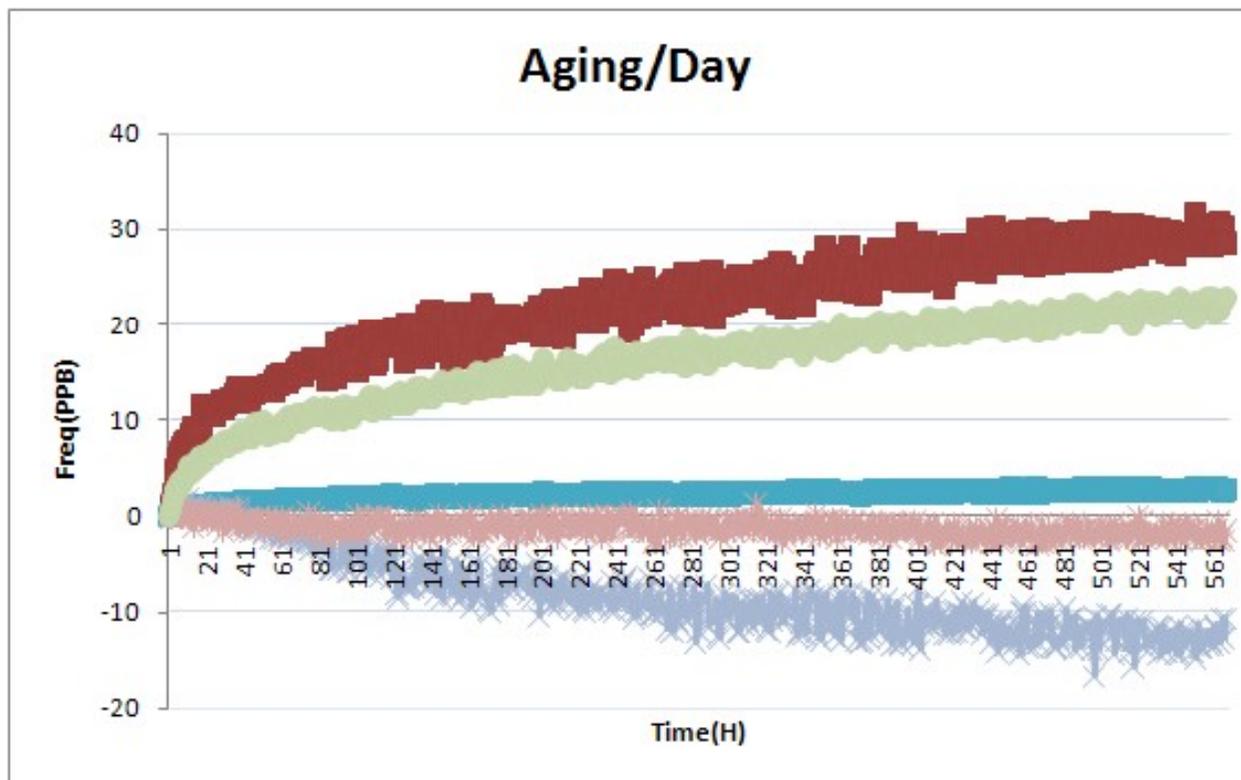


OCXO恒温槽的温度要超过环境温度的5度以上，所以一般OCXO的工作温度范围不超过105度。

五、晶振测试及性能—晶体振荡器老化特性



晶振的老化因数有两个：①晶体自身老化 ②振荡电路的器件老化。



OCX0年老化是日老化的100倍，MCX0、TCX0年老化是日老化的50倍，前期频率老化比较快，后期老化变好，逐步趋于稳定。

五、晶振测试及性能—晶振电源和负载特性

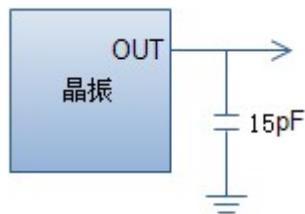


- 电源特性（电压特性）

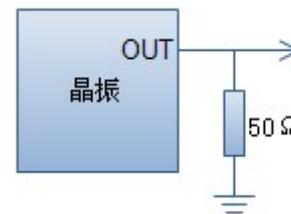
其他条件不变，电源电压在规定变化范围（通常为 $V_{CC} \pm 5\%$ ）内晶振输出频率相对于标称电源电压下的输出频率的最大允许频偏。

- 负载特性

其他条件不变，负载在规定变化范围（通常为 $15\text{pF} \pm 5\%$ / $50\Omega \pm 5\%$ ）内晶振输出频率相对于标称负载下的输出频率的最大允许频偏。



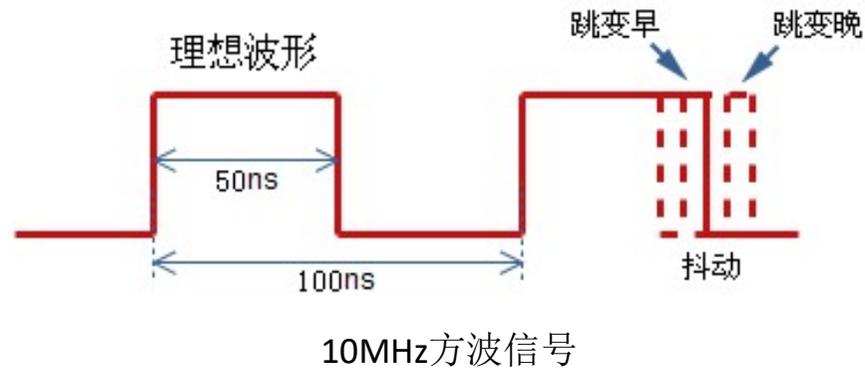
输出为方波



输出为正弦波

一般OCXO的电源特性、负载特性在E-10量级，TCXO、MCXO在E-9量级

五、晶振测试及性能—晶体振荡器相噪和抖动



在理想情况下，一个频率固定的完美的脉冲信号(以10 MHz为例)的持续时间应该恰好是100ns，每50ns有一个跳变沿。但现实情况是，这种信号并不存在。如图所示，信号周期的长度总会有一定变化，从而导致下一个沿的到来时间不确定。这种不确定就是相位噪声，或者说抖动。

一个晶振在某一偏移频率处的相位噪声定义为在该频率处1Hz带宽内的信号功率与信号总功率比值。

• 什么影响相噪？

- ①干扰信号：信号线串扰、EMI辐射、电源噪声等。
- ②电子器件材料热噪声等。

五、晶振测试及性能—晶体振荡器频谱

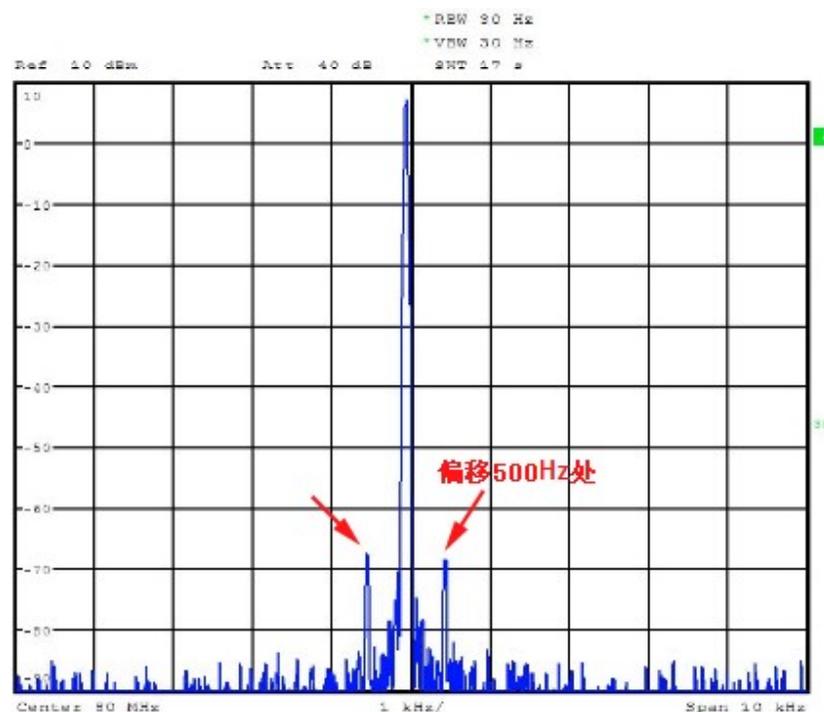
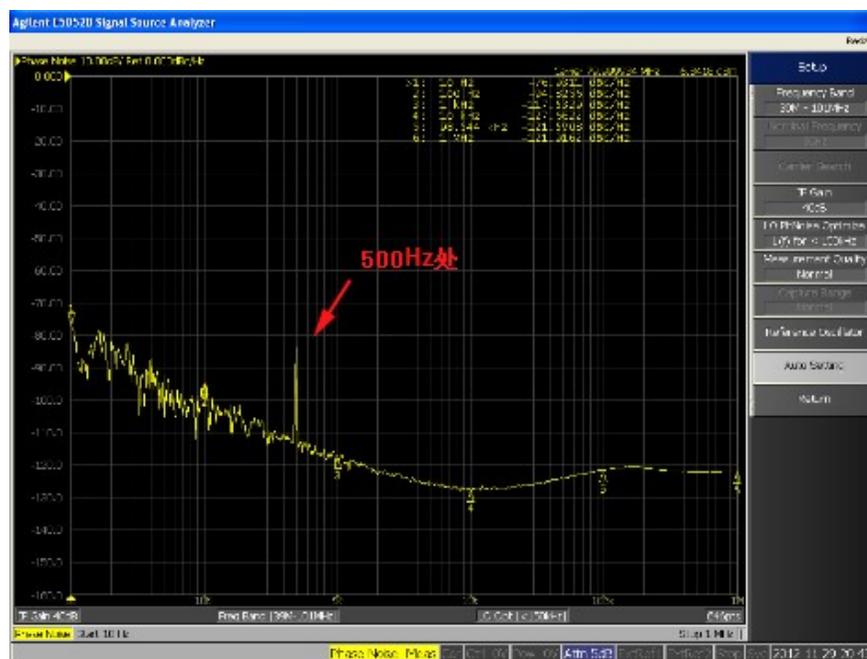


- 频谱

频谱就是频率的分布曲线，复杂振荡分解为振幅不同和频率不同的谐振荡，这些谐振荡的幅值按频率排列的图形叫做频谱。

- 相噪与频谱的关系

如果说频谱是从肉眼来观察信号的话，那么相噪就是拿着放大镜在观察信号附近（通常为1MHz）的干扰信号强度。



五、晶振测试及性能—主要测量仪器仪表



Equipment list/ 设备名称	Model/ 型号	Maker/ 厂家	Technical Parameters /技术参数
Cesium clock/铯钟	4310B	symmetricom	Accuracy: 5×10^{-13} 1s Stability: 1.2×10^{-13}
Frequency Counter/频率计	53220A	Agilent	12bits Frequency Counter
Oscilloscope /示波器	DSO7104B	Agilent	Frequency bandwidth: 1G
Temperature chamber/高低温箱	PG-2KPH	ESPEC	Temperature range: $-70^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$, Temperature stability: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。
Digital Multimeter/万用表	34401A	Agilent	6.5bits
Power Supply/电源	E3630A	Agilent	Voltage stability: 5×10^{-4} , Ripple: 1mV
Phase Noise System/相位噪声测试仪	E5052B	Agilent	Frequency bandwidth: 1Hz~100MHz
frequency spectrograph /频谱仪	FSP-3	Rohde&Schwarz	Frequency bandwidth: 9K~3G

五、晶振测试及性能—晶振参考标准



序号	我国标准	标准名称	类型	采用关系
1	GJB 1648A-2011	晶体振荡器通用规范	军用标准	MIL-PRF-55310D
2	SJ/T 11256-2001	有质量评定的石英晶体振荡器第1部分：总规范	电子行业标准	IEC 60679-2007
3	SJ/T 10638-1995	石英晶体振荡器测试方法	电子行业标准	/
4	GB 12274-1991	石英晶体振荡器总规范	国家标准	IEC 60679-2007



Grow together, Enjoy together, Success together
Thanks!

