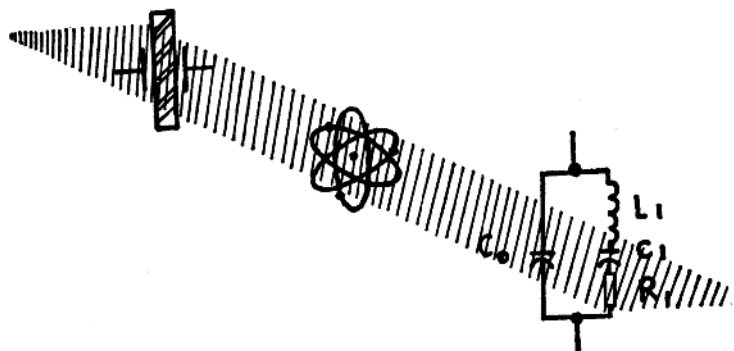


压电晶体及其应用

美国第35届频率控制年会论文选集

《压电晶体技术》编辑部主编



压电晶体专业科技情报网出版

前 言

美国频率控制年会“Proceedings of the 35th Annual Symposium on Frequency Control 1978”是关于频率控制和精密计时领域内世界上唯一的学术讨论会，每年召开一次，出版论文集一册。其内容涉及面很广，有压电晶体基础理论；压电晶体器件制造的先进技术；压电晶体谐振器、滤波器和振荡器的最新研究成果；最新的声表面波器件和精密计时频标成果等等。

论文集比较集中地反映了该领域内的最新成果和进展，很有参考价值。我们曾编译出版了第28、29、30和32届频率年会论文集《压电晶体及其应用》，向全国各地发行。1982年该书获得了电子工业部科技情报成果一等奖。

为满足广大读者需要，我们又从35届频率年会论文集中选取了部分文章编译出版，供广大科技人员学习参考。

参加本届年会译校工作的有：电子工业部607厂、754厂、764厂、767厂、8370厂、10所、27所和上海测试技术研究所等单位。

由于水平有限，谬误之处，望批评指正。

《压电晶体技术》编辑部

一九八三年十二月

11595/01

目 录

一、谐振器理论、工艺、性能及测试

- 1、SC切谐振器工艺的革新..... (1)
- 2、高质量SC切石英谐振器的设计..... (8)
- 3、SC切矩形电极能陷石英谐振器的分析..... (15)
- 4、甚高频低噪声晶体振荡器中的SC切晶体..... (26)
- 5、改进的双转角切割X射线定向法..... (40)
- 6、石英晶体和石英谐振器的非线性特性的评述..... (44)
- 7、石英晶体谐振器的真空操作系统..... (60)
- 8、1兆赫小型石英谐振器..... (65)
- 9、横向负载下长方形悬臂晶体片的应力..... (72)
- 10、边缘模谐振器..... (88)
- 11、平凸形DT切石英谐振器寄生模式的研究..... (97)
- 12、无电极长方形和圆形AT切石英片的耦合厚度剪切和厚度扭转谐振..... (105)
- 13、单旋转切割和双旋转切割石英声表面波的传播特性..... (115)
- 14、采用泛音弯曲模式的石英音叉晶体..... (129)
- 15、双转角石英晶体切角自动测量仪..... (140)

- 16、连有负载电容的石英谐振器测量方法比较..... (149)
- 17、采用反射系数电桥的一种谐振器自动测量系统..... (161)

二、合成晶体

- 18、石英的高温谐振损耗及红外特性..... (169)
- 19、辐照感应的石英谐振器中电导率及高温Q值的变化..... (176)
- 20、石英谐振器晶体支架的热瞬变..... (184)
- 21、使用空气动力水热设备的初步结果..... (190)

三、晶体滤波器和晶体振荡器

- 22、利用激光加工片子上带有集成匹配阻抗的VHF单片晶体滤波器..... (197)
- 23、叠式晶体滤波器等效电路的模型建立..... (202)
- 24、 $X + 5^\circ$ 切晶体元件的寄生模式..... (208)
- 25、直接工作在超高频的晶体振荡器..... (214)
- 26、晶体振荡器的数字温度补偿..... (224)

四、声表面波器件及其应用

- 27、声表面波谐振器元件的制造和性能..... (228)
- 28、超高频电压控制窄一宽带声表面波滤波器..... (235)
- 29、声表面波滤波器技术和应用..... (240)

SC切谐振器工艺的革新

B. Goldfrank, J. Ho and A. Waner

〔摘要〕 以前我们讨论了SC切谐振器的制造，由石英棒（原料）切双转角片子的机器和测定‘g’灵敏度的测试方法。本文将讨论以下内容。第一，用旋转X切法简化的X—射线定向；第二，当改变 ψ 时频率随加速度变化的关系；第三，提供了用SC切谐振器的振荡器的测试结果。

用旋转X—切法简化的X射线定向测量

过去我们曾经用过一种测SC切片的X—射线定向法，这种方法是使用一种现有的测AT切片的精度为几秒的精密测角仪。这种方法的优缺点如下：

优点：

- 1、这个方法用一个现有的用于AT切的设备。
- 2、测得的 θ 角和切割机台面的角度相同，使得角度的校正直接和方便。
- 3、可以进行绝对测量也可以用参考标准晶体进行测量。

缺点：

- 1、为了使AT切的X—射线面（011）和测角仪的平台垂直，片子必须倾斜 15° ，使得测量的数据对于平面角 ψ 非常灵敏。
- 2、从 θ' 计算 θ 时需要知道 ϕ ，另外在计算转折点温度时需要用到 θ 和 ϕ （转折点温度即频率温度系数为零的温度）。

它的缺点是需要做一个精密的晶体支架，另外在切割以前石英棒的一X面需要校得很准确。

在本研究工作开始以来，我们装配了第二台非常精密的、通用的双晶体X—射线测角仪，这台测角仪是专门为SC切的测量而搞的。它的精度是10秒（弧度）。我们确信我们已经发展了一些新的途径来简化测量 ϕ 、 θ 和 ψ ，更重要的是我们找到了制成的谐振器的转折点温度和单一的角度测量之间的关系，除了一个简单的图表以外，不需要进行任何计算。

图1给出GEX—射线测角仪工作台面的全图，这个测角仪有非常稳定的第二晶体，还有一个结构精细的可以直接刻度的测微螺旋。

在新的测试方法中，晶体片考虑为一个旋转X—切片，使 ϕ 为 8° 左右而不是 22° 左右。这当然是从石英的三次轴对称推导出来的， θ 仍然在 34° 左右， ψ 的范围和以前一样从 0° 到 -15° 。

为了测量 ϕ 和 θ ，我们用22,3面，这个面通常在X—Z平面内，离X轴 $34^{\circ}17'$ 。这个面和 θ 角非常接近，只是 ϕ 有 8° 的差。布拉格角是 48° ，因此X—射线束和电离管的夹角为 84° 。 $\cos 34^{\circ}17'$ 为0.82626，而 $\phi = \sin^{-1}(1.2103 \sin \phi')$ 。 ϕ' 是当Y'（旧的X'）轴平行于台面、晶片片装在通常的真空吸盘上用X—射线测得的角度。没有切割的石英棒的一个面通常要经过校正以保证片子的Y'轴方向，在这个场合此校正可以不大严格。为了测量 θ 角，一个稍微倾斜的块用来补偿 ϕ 角，而 $\theta = \tan^{-1}(\tan \theta', (\cos \phi)^{-1})$ 。 ϕ 是按上述方法测得的角度而 θ' 是由X—射线测得的角度。测量是用一个不太严格的 6° 的斜块且Z'轴平行台面。为了达到所规定的 ϕ 和 θ 所需要的计算，现在已变得十分简单，只要用一张简单的图表纸就可以表示了。一旦画好了图就不再需要计算机了。

图2表示一个给定的转折点温度 ϕ 和 θ 之间的关系。上面的那条曲线是根据Ballato和Iafrate的文章中引用的（1976年第30届频率控制年会）。当 ϕ 从AT切开始经过



图1、通用的双晶X—射线测角仪

FC切、IT切到SC切，为了保持转折点温度不变， θ 必须作相应的变化。在同一张图上我们也画出了 θ' ，它用已经给出的 θ 值得出。特别值得注意的是在感兴趣的切角范围内 θ' 不随 ϕ 角而变，如图3所示。在规定 ϕ 角范围，从 23° 到 24° ， θ' 只变化 $0.6'$ ，而 ϕ 角从 22° 变到 23° ， θ' 只变化 $0.02'$ 。

图4给出了 θ' 的数值，角度是直接由X—射线根据转折点从 $50^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ 的SC切片测得的。这个角度适合于任何合理的 ϕ 值。

这个图当然是为一个特殊的设计而制作的。对于其他的曲率半径和其他的频率，曲线的形状相同，而左边纵坐标的尺度稍微有些改变。

需要用X射线来测量 ϕ 角以测定已经存在的平面和确定新产生的平面位置，这一点用旋转Y'切割的命名法在X'轴和Z'轴都能做到。用Y轴反射面，02,0面，片子的X'方向和X射线的指示有“A”度的偏离，这里 $A = \tan^{-1}(\tan \phi \sin \theta)$ 。对于 ϕ_x 为 6.25° （ ϕ 为 23.75° ）， θ 为 33.91° ， $A = 3.496^{\circ}$ 。当然用一块预先制好的标准品也可

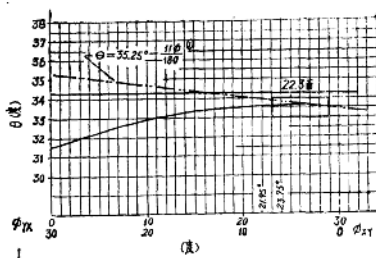


图 2、转折温度恒定时 θ , θ' 和 ϕ 之间的关系

对于一个固定的转折点温度
 θ 和 ϕ 变化的关系

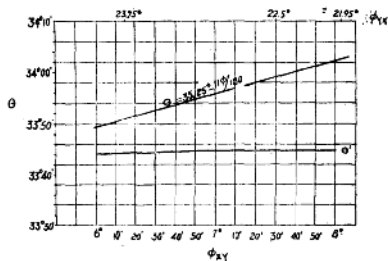


图 3、图 2 的局部放大

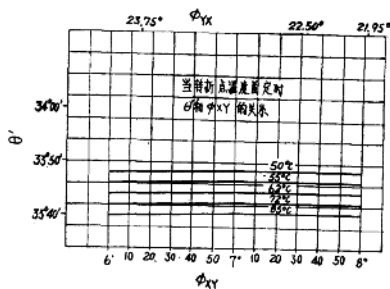


图 4、不同转折点温度时的 θ'

以证实这个关系。对于从Z'边的反射,我们可以用一个法线在X-Z面内并和22.3成90°的X射线面来测量 ϕ 。这样一个面就是在53.75°的11.3面其布拉格角为32°。

可以采用同样的步骤,这时X射线和Z'轴的夹角 $B = \sin^{-1}(\cos 53.75^\circ \sin \phi_x)$ 。当 $\phi_x = 6.25^\circ$ 时,“B”=3.69°。这一点总结在图5中。

YXwlt	XYwlt	平 面	X射线和轴之间的夹角
X'	Y'	02.0	$\tan^{-1}(\tan \phi_x \sin \theta)$
Z'	Z'	11.3	$\sin^{-1}(\cos 53.75^\circ \sin \phi_x)$

对于 $\phi_x = 6.25^\circ$ $\theta = 33.91^\circ$ X'为3.50°, Z' 3.69°

图5、晶片边缘X—射线测量数据的总和

频率随加速度的变化

图中给出了各种不同的装架角(ψ)所预期的最坏的径向加速度系数,这个结果是Peter Lee教授提供的3点90°装架的晶体得出的。加速度系数的范围从 $1 \times 10^{-10}/g$ 到 $2.5 \times 10^{-9}/g$ 。

由ERADCOM提供的任意装架的三次泛音5 MHz片子得到的数据表明有80%的片子和计算的曲线符合。为了找到合适的装架方向,进一步的工作正在进行。

迄今为止,用热压接装架的、装架方向为 $\psi = -15^\circ$ 的五次泛音5 MHz晶体仍然是最好的。通过非常细心的装架,有50%的晶体加速度系数小于 $3 \times 10^{-10}/g$ 。



图6、用压有金条的镍带装架的晶片片

热压接是这样进行的,在纯镍带的一端压入一个截面为三角形、宽为0.015英寸的金条。图6给出了一个用这样的方法装架的石英片。压接装置和硬质合金工具都是由频率电子子公司设计和制造的。得到平均抗拉强度为1.5公斤或3.3磅。压接时使用的压力为16000磅/英寸。

这些结果比用包铅镍带热压接的结果要好,所有的情况在拉力试验后镍带上都粘有石英碎块

(说明结合得牢固)。

用这样的镍带有两个主要优点:

- 1)、消除了中间的金属结合;
- 2)、和结合的晶体的接触面很小。

用SC切晶体装成的振荡器的测试结果

图7给出了老化数据。根据生产条件,五次泛音晶体的老化率为 $3 \sim 4 \times 10^{-10}$ /天。我们也有老化小于 2×10^{-11} /天的晶体。更重要的是老化是单方向的,而且是可预测的,不像图8所示的基频晶体那样。对于相同的振荡频率基频晶体的频率变化达 5×10^{-9} 。

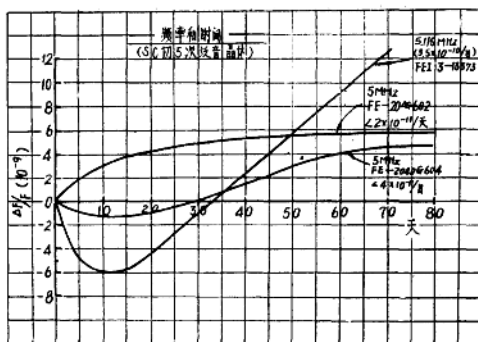


图7、五次泛音振荡器的老化数据

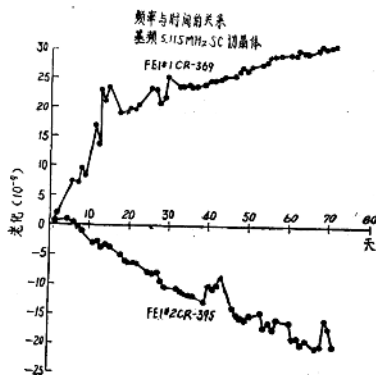


图8 基频晶体振荡器的老化数据

图9给出基频晶体“g”灵敏度的试验结果。图10给出泛音晶体的结果。五次泛音晶体有较好的重复性，而基频晶体由于对电路的电容变化比较灵敏，所以重复性较差。

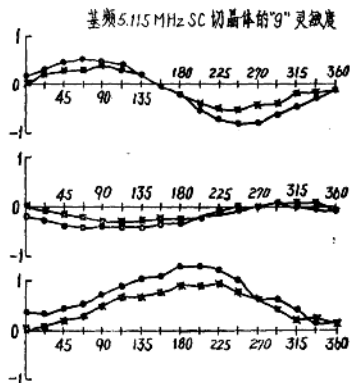


图9、基频晶体振荡器的“g”灵敏度

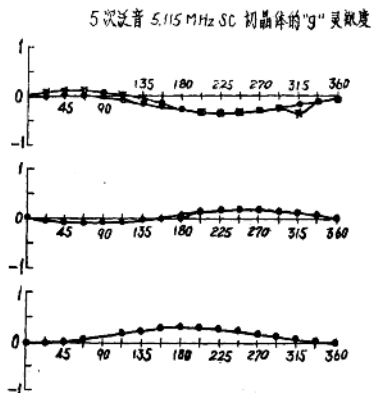


图10、五次泛音晶体振荡器的“g”灵敏度

图11表示五次泛音5 MHz振荡器的短期稳定度。我们达到了1~10秒内稳定度为 7×10^{-13} 左右的指标 ($7 \times 10^{-13}/1 \sim 10$ 秒)。图12给出了相位噪声的测量结果。

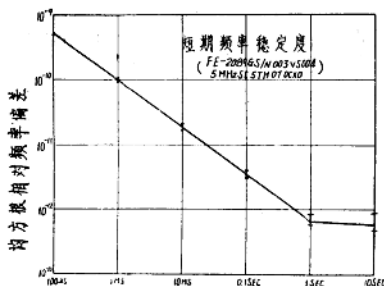


图11、晶体振荡器的短期稳定度

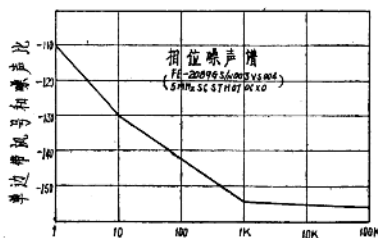


图12、晶体振荡器的相位噪声

参考文献 (略)

(罗福璋 译)

高质量SC切石英谐振器的设计

Roger W. Ward

【摘要】 已经制造了频率从4 MHz—100MHz、基频、三次泛音、五次泛音设计的SC切 α 石英谐振器。几种设计的数据表明：SC切谐振器的最大理论Q值比AT切高15~20%。例如已经制造出一个Q值为250,000的一次泛音60MHz SC切谐振器。这个Q值相当于同样频率的AT切晶体的最大理论Q值。

测定了几种SC切设计的（平片、平一凸、双一凸，基频和泛音）零温度系数切角。

生产中应用了Vig的用控制曲率半径来调节基频5 MHz SC切谐振器转折点温度的方法。

在生产的基础上对SC切采用了化学抛光。研究表明Vig提出的 $1:4\text{HF}:\text{NH}_4\text{F}$ 的溶液对SC切表面的污染物要比较松（即表面清洗得不够彻底也能得到良好的腐蚀效果），而他提出的 $1:2\text{HF}:\text{H}_2\text{O}$ 溶液使SC切的+X面的表面变差。

所有有凸面的SC切设计是这样加工的，即片子都在结晶轴的同一侧磨凸面。并且用Bond描述的电路进行中间测试。

对用同样制造工艺加工的SC切和AT切谐振器的老化研究表明，SC切达到最终的老化时间要比AT切快5~10倍，而且典型的SC切的最终老化率比AT切改进2~3倍。

引言

自从Holland于1974年第一个预言SC切以来，关于SC切已经写过很多文章。但是大部分的研究都集中在五次泛音5 MHz，三次泛音10 MHz和基频5,115 MHz谐振器上。作为结果，设计AT切谐振器所有的设计工具对于设计SC切来说是不存在的。例如零温度系数切角如何随着曲率和泛音次数而变的关系，转折点温度怎样随着方位角 θ 变化的关系，SC切的设计怎样影响Q值。本文为这些问题提供了部分答案。

定 义

因为SC切是一种双转角切型，因此弄清晶体的各种性能随方位角 φ 、 θ 和 Ψ 而变的关系是重要的。

Eer Nisse 曾经沿着零温度系数的轨迹计算了 C 模式厚度切变谐振器的应力系数。他确定当计算值 $\phi = 22.5$ 时应力系数为零。这个零应力系数确定了 SC 切 (应力补偿) 的位置。Eer Nisse 的计算指出 θ 对于应力补偿的影响比起它对频率温度特性的影响来说是属于第二位的。换句话说, 对于所有的实际应用, SC 切的 ϕ 定为 $22^\circ 30'$ (Kusters 的实验测定 ϕ 为 $21^\circ 58'$), 在 θ 变化 $\pm 1^\circ$ 以内它和 θ 无关。从 Eer Nisse 的曲线得到应力系数的斜率为 3.3×10^{-18} 达因 $^{-1}$ 厘米 2 /分 ϕ 。假设 ϕ 角离开“零”应力角 $\pm 1'$ 的误差作为相对应力灵敏度 I , 得到图 1, 图 1 给出了在零温度系数轨迹上各种切型的相对应力灵敏度。当 ϕ 角离开 SC 切的 ϕ 角 $\pm 0.5^\circ$ 时相对应力灵敏度为 10。

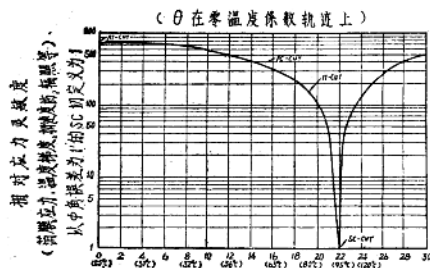


图 1、热瞬变效应和 ϕ 角的关系

切 型	方 位		拐点温度 ($^\circ\text{C}$)	应 力 效 应
	ϕ	θ		
SC	21.9°	33.9°	95	0
SC ¹	$21.9^\circ \pm 1 \text{ min}$	$33.9^\circ \pm 1 \text{ min}$	95	1 (定义为参考值)
AT	0°	35.3°	25	比 SC ¹ 的应力灵敏度大 830 倍
FC	15°	34.3°	50	比 SC ¹ 的应力灵敏度大 420 倍
IT	19.1	34.1°	80	比 SC ¹ 的应力灵敏度大 140 倍

表 I 给出了几种 SC 切设计的零温度系数切角。零温度系数切角的定义为上转折点和下转折点 ($df/dT = 0$) 与拐点 ($d^2f/dT^2 = 0$) 重合时所对应切角。对于不同的设计, 零温度系数切角相差达 $34'$ 。而对 AT 切来说只差 $12' \sim 13'$ 。

用 Ballato 的温度系数得到图 2, 图 2 给出了 SC 切的下转折点温度 ($df/dT = 0$) 和 θ 的关系曲线。所用的方程如下:

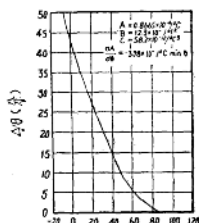
$$f = A' \Delta T + B \Delta T^2 + C \Delta T^3$$

$$\text{式中: } A = 0.8665 \times 10^{-8} / ^\circ\text{C}; \quad B = -12.3 \times 10^{-8} / ^\circ\text{C}^2;$$

$$C = 58.2 \times 10^{-12} / ^\circ\text{C}^3; \quad A' = A + \frac{dA}{d\theta} d\theta;$$

$$\Delta T = T - 25^{\circ}\text{C};$$

$$\frac{dA}{d\theta} = -3.78 \times 10^{-8} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \theta^{-1} (\text{分});$$



下转折点温度 ($^{\circ}\text{C}$)

图2、SC切晶体的下转折点
温度和 $\Delta\theta$ 的关系

T = 温度 (单位为 $^{\circ}\text{C}$)

$dA/d\theta$ 由实验确定——Ballato的 $dA/d\theta$ 值太大了。使 $df/dT = 0$ ，可以算出 θ 变化 $1'$ 下转折点温度的变化。

从表 I 中可以看到拐点温度是随着设计而变的。通常片子活动区域减小(片子看上去比较大)拐点温度升高。这一点从表 I 中的数据可以得到很好的说明，一个基频20 MHz的SC切晶体工作在三次泛音 $\theta\theta$ MHz时的拐点温度升高了 5°C 。因此对于一个SC切谐振器必须知道它的机械(谐波)设计，否则很难确定它的拐点温度。

因为SC切的“2 g”效应和装架位置 ϕ 有关，所以有必要记下片子的结晶轴方向。所有磨凸面都是在相同晶面上进行的，特别要指出这一面在压缩时呈负电荷。这一面可由Bond描述的压桥测试式电压表电路来确定。用惯常的方法，两个需要确定自己对于片子的位置的矢量中有一个是已知的，另一个可以通过在片子的YY'边磨一个平口的方法来辨别它。根据片子是怎样从石英棒(原料)中切下来的就可以知道这个位置。然后必须用偏振光、X—射线或力——频率测试确定最小“2 g”装架位置。必须从实验找到每种片子装架方式的最小“2 g”装架位置。

表 I、SC切的零温度系数切角 ($\phi = 21^{\circ}56'$)

频率 (MHz)	泛音次数	标称拐点温度 ($^{\circ}\text{C}$)	θ
5	1	100	$33^{\circ}40'$
5	3	107	$34^{\circ}00'$
5	5	115	$33^{\circ}55'$
10	1	98	$33^{\circ}30'$
10	3	96	$34^{\circ}04'$
20	1	98	$33^{\circ}50'$
60	3	103	$33^{\circ}57'$

对于AT切来说不需要区分两个面，因为AT切对于 ϕ 是旋转对称的。

所有片子都是从Sawyer高Q人造石英棒 (Q 值大于 2×10^4) 切出，切割是采用图3所示的，由作者开发的技术。右旋Y—棒石英有三个Y—轴，这对于SC切就有三个

初始切割位置。如果选图3中的方位Ⅰ，SC切的第一刀的位置在离+X轴+8°(顺时针)，于是得到了一个具有正确的SC切的 ϕ 角的条块，并准备把它放到一个用稀磨料的切割机上像切AT切那样按 θ 角进行切割。用这个方法可以很容易地生产SC切。如果Y一棒石英原料的+X区域很大，可以得到很高的SC切成品率，接近从Y一棒原料切AT切片的成品率。在一些片子里可能会带上一些+X区，但这不成本什么问题。

片子按 θ 角以 $1/2'$ 的间隔分类，除了在切第一刀前测量 ϕ 角外，以后就不再测量 ϕ 角。 θ 角的典型散布为 $\pm 3'$ ， ϕ 角看来可以控制在 $\pm 5'$ 。

Botton描述了一个快速、简便、精确和可重复的测量SC切 ϕ 和 θ 角的方法，这个方法有助于任何人用X—射线测角仪测量SC切片的方法。

加工100个片子，都是从误差 $1/2'$ 开始，结果得到等效于 $\pm 1\frac{1}{2}'$ (18)的转折点温度的散布，这大概是由于研磨和磨凸面引起的切角偏移。对于高于75℃的恒温工作的应用，这种切角控制不能得到高的合格率。角度修正可以大大提高合格率。

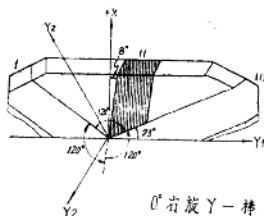


图3、0°右旋Y一棒石英原料切SC切第一刀的三个位置。为了得到石英的最大利用率，要取第二个位置。

几何形状

Vig和他的同事们曾经测定磨凸面对基频5 MHz SC切的零温度系数切角的灵敏性远大于类似设计的AT切。他曾经利用这个效应把转折点温度附近的频率温度曲线的斜率调为零。我们曾经用这个效应有效地扩大了片子的库存量。例如通过特别选定的曲率半径磨凸面，片子的切角可以得到 $\pm 2'$ 的修正而不影响晶体的电气参数。这使一批给定的库存片子对于转折点温度有很大的适应性，也就是说库存的片子可以满足任何要求，因此对于买主定制的元素可以很快的交货。

Q 值

Warner用式子 $Qf = 15 \times 10^{12} \text{ Hz}$ 给出了AT切谐振器可能获得的最大Q值。对一个10 MHz的AT切谐振器最大Q值为 1.5×10^6 ，在生产上一个五次泛音10 MHz AT切谐振器最大Q值可以达到 1.3×10^6 (为理论值的87%)。在生产上一个直径为14 mm 平—凸型三次泛音10 MHz的SC切谐振器最大Q值达到 1.2×10^6 ，电阻为40 Ω。一个屈光度为2的双—凸型设计最大Q值为 1.4×10^6 ，电阻为85 Ω。此外还生产出Q值为250,000，电阻为75 Ω的三次泛音60 MHz SC切谐振器。这种谐振器的直径为7 mm，是平片。

对于这样频率的A T切谐振器最大Q值为250,000,而可生产的Q值大概是200,000。这表明:1)SC切的潜在Qf大于 15×10^{12} (约为 17.5×10^{12} Hz);2)SC切的损耗机理需要比A T切更大的曲率或更大的直径厚度比以便达到最大的Q值。

表面加工

最主要的是SC切片最终以1微米的氧化铝进行研磨。在研磨过程中根据操作者的经验B模式不会造成什么困难,在整个研磨和磨凸面过程中C模式始终保持很强。然后片子用4:1的40% NH_4F 和48% $(\text{HF})^3$ 的混合溶液进行化学抛光。经过化学抛光的片子是透明的,透过它几英尺可以看出字迹。

由于很难买到制备好的 NH_4F 溶液,因此有必要从 NH_4F 粉末和去离子水制备重量比为40%的 NH_4F 溶液。用这样制备的腐蚀液和买来的腐蚀液在腐蚀的效果上看不出有什么区别。

通常,用Vig建议的2:1的 $\text{H}_2\text{O}:\text{HF}$ 溶液对SC切进行化学抛光效果很差。一面抛光得很好,但另一面上有污斑,表明片子在腐蚀前清洗得不够充分。用了不同浓度的腐蚀液,包括4:1的,结果很少改进或者没有改进。既然这些片子和在 NH_4F 溶液里腐蚀得很好的片子是用同样的方法清洗的,因此可以得出结论, $\text{HF}/\text{NH}_4\text{F}$ 溶液的腐蚀特性对于表面污染物的清洗要求不严(即使表面有些污染物也能腐蚀得很好),而 $\text{HF}/\text{H}_2\text{O}$ 溶液则不行。

制造了一批用机械抛光的SC切谐振器和同样设计的用化学抛光的SC切谐振器进行比较。没有发现这两批谐振器有什么差别,电阻、Q值和老化都差不多。由于对有凸面的片子进行机械抛光比较困难,现在所有凸面的片子都用化学抛光。因为在一些化学抛光的高频泛音工作的谐振器观察到一些电阻变坏,所以对于泛音工作的高频谐振器采用机械抛光。

成品加工

所有低于三次泛音30MHz的频率较低的片子都在低温真空系统中被纯金电极。片子引出线典型的焊接方法是采用塑化温度为450℃导电微晶玻璃原料烧结。然后谐振器再用纯金进行最终的镀膜调频。每个谐振器在调频前先加热到工作温度,以保证谐振器。转折点温度有足够的频率精度。谐振器用射频感应加热系统封装在全玻壳的外壳内。

高频谐振器都是被铝,通常封装在冷压焊金属盒内。

测试

用Saunders 2000测试系统从0~120℃测量了所有的SC切谐振器。这个系统计算了每个谐振器的三次曲线的系数。对于每一种设计的每一个谐振器在 2×10^{-7} 的分辨率

内都没有观察到寄生模式。

老化研究是在精密恒温控制的振荡器内进行的。三次泛音 10MHz SC切谐振荡器的典型老化率为两星期后小于 $5 \times 10^{-10}/\text{天}$ 。而类似的AT切谐振荡器的老化率为90天后 $2 \times 10^{-8}/\text{天}$ 到 $5 \times 10^{-9}/\text{天}$ 。

建立了一个系统来测量谐振器的 2g 效应，这个系统和Warner所用的系统相似。这个系统用一个HP3585A型频谱分析仪来测量谐振器在振动台上振动时所产生的边带。用3585A，不需要用任何倍增器或放大器，这个系统的分辨率就小于 $1 \times 10^{-11}/\text{g}$ 。图4给出了系统的方框图而图5A—C给出了谐振器在振动时产生的边带典型图形。这个测试 2g 的方法的最明显优点是不需要高稳定的恒温槽和很长的预热时间。因此可以检查每一个制造出来的谐振器的 2g 效应。三次泛音 10MHz SC切谐振荡器典型的两轴上的 g -灵敏度小于 $5 \times 10^{-10}/\text{g}$ 。当轴穿过片子的中心和装架点时 g -灵敏度约为 $2 \times 10^{-2}/\text{g}$ 。

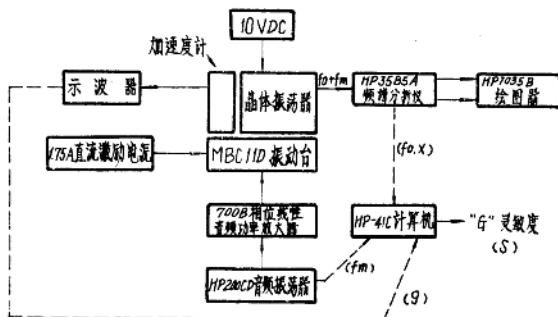


图4、“ 2g ”测试系统的方框图

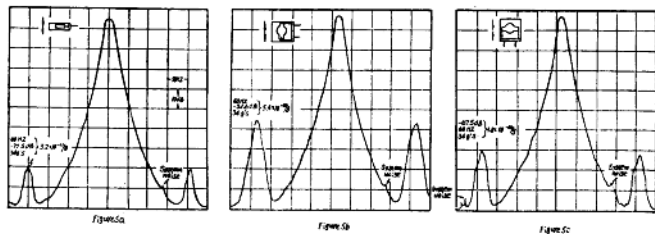


图5、三次泛音 10MHz SC切晶体的“ 2g ”振动测试结果