

無線电設備元件、另件的結構 設計与制造工艺

(下、册)

躍 进 选 編

内 部 資 料

北京科学教育編輯室

无綫电設備元件
另件的結構設計与制造工艺（下册）

*

出版者：北京科学教育編輯室

印刷者：中国人民解放军 535 工厂

787 × 1092 毫米 $\frac{1}{16}$ 印張 $25\frac{3}{8}$

1961 年 8 月第一版

1962 年 2 月第二次印刷

定价：2.90 元

目 录

第十二章 压电元件

- §12—1 石英晶片制造技术的特征..... (1)
- §12—2 石英原料的种类和选别法..... (2)
- §12—3 截切石英晶片时的定方位法..... (5)
- §12—4 石英晶体的锯切技术..... (32)
- §12—5 晶片的研磨技术..... (39)
- §12—6 晶片作符合频率的末次校正正在玻璃盘上精研..... (42)
- §12—7 金属化晶片的加工和焊接出线头..... (46)
- §12—8 制造晶片的技术施工程序范例..... (52)
- §12—9 酒石酸钾钠的压电元件..... (52)
- §12—10 ADP、KDP、EDT 及 DKT 压电元件的用途及分析..... (58)
- §12—11 强性瓷压电元件..... (61)

第十三章 脉冲延迟线和脉冲形成线

- §13—1 分布参数电磁式脉冲延迟线..... (65)
- §13—2 集中参数电磁式脉冲延迟线..... (76)
- §13—3 脉冲形成线..... (87)
- §13—4 石英超声波延迟线..... (92)
- §13—5 磁致伸缩延迟线..... (102)
- §13—6 延迟线的测试..... (105)

第十四章 米波段及分米波段谐振回路

- §14—1 过渡型宽波段回路..... (107)
- §14—2 谐振线..... (118)

第十五章 波导和谐振腔

- §15—1 波导和谐振腔的分类..... (179)
- §15—2 波导和谐振腔的制造特点..... (180)
- §15—3 管状直波导和弯波导节的制造..... (181)
- §15—4 用精密铸造法制造波导和谐振腔..... (192)
- §15—5 用电解沉积法制造波导和谐振腔..... (193)
- §15—6 挠曲波导节的制造..... (194)
- §15—7 圆柱形谐振腔的制造..... (199)
- §15—8 波导和谐振腔工作表面的涂复..... (201)

第十六章 接触元件

- §16—1 用机械的接触连接电路时的特点..... (203)
- §16—2 转换开关..... (203)
- §16—3 插塞接头..... (215)

第十七章 无线电设备的结构设计

- §17—1 结构设计的基本任务..... (223)
- §17—2 无线电设备的总体布置..... (224)
- §17—3 无线电机的重量、尺寸和形状的考虑..... (228)
- §17—4 无线电设备防气压和防潮问题的考虑..... (230)
- §17—5 从便于控制和修理出发的一些考虑..... (243)
- §17—6 无线电散热问题的考虑..... (246)
- §17—7 无线电设备的防震和防冲击问题的考虑..... (258)

第十八章 无线电设备的安装

- §18—1 安装程序..... (265)
- §18—2 连接的方法..... (265)
- §18—3 无线电设备的总装..... (296)
- §18—4 印制电路安装..... (320)
- §18—5 由单个可迅速拆开的机能部件(分箱)组成的设备的设计..... (345)

第十九章 通讯机的调整与调谐

- §19—1 通讯机的调整与调谐的意义..... (359)
- §19—2 通讯机发射部分的调整与调谐..... (359)
- §19—3 无线电电话通讯机调幅部分的调整..... (364)
- §19—4 无线电接受机的调整与调谐..... (367)
- §19—5 雷达设备各部件的调谐和调整..... (372)

第二十章 环境试验

- §20—1 环境试验的项目..... (379)
- §20—2 环境试验所用的主要设备..... (381)
- §20—3 环境试验的发展趋势..... (391)

第十二章

压电元件

§ 12—1 石英晶片制造技术的特征

压电石英的特性發展至今已有八十年历史，晶片的制造技术說起来也不过三十年的工夫。自P·居里和J·居里于1880年發明压电效应后，A·B·苏勃尼科夫所領導的苏联科学院矿物研究所晶体試驗室，首先在苏联奠定了压电晶片的制造技术基础。但首先以工厂的生产方式来布置压电晶片的制造者，則是苏联工程师Φ·M·依林、A·A·基尔泊諾夫、П·П·庫洛夫斯基、H·Г·科瓦列諾克、H·Г·郭左林等人。在我国于二十世紀三十年代也开始了压电石英的制造与研究，物理学家严济慈同志在这方面贡献很多。解放后十年来，我国也建設了压电石英制造工厂。現在在研究制造上正在發展中。

从石英中制出的主要制品，是那些在电子管振蕩器、差拍振蕩器中稳定頻率用的压电晶片，测量和控制頻率用的压电晶体諧振器、晶体滤波器、超音波压电晶体振蕩器及延迟綫所用的石英晶体等等。

除这些压电晶片以外，从石英中还能制出各种适应其他工程范围中的压电制品，例如：确定內燃机气缸中和炮管中爆炸压力用的压电器，确定切削机床上負荷，机械振动用的压电器等等。石英是高頻率器材中的优良介質，因此，在重要的無線电器材中，都是采用以天然的石英晶体經机械加工制成的絕緣子，或以高温熔融石英在模型中鑄成內絕緣子。

每年人們对压电石英制品都提出新的要求，特别是对于指定用来稳定和控制振蕩頻率的压电晶片所提出的要求更高。人們要求晶片制造得更加精密，以保証它們具有最大的頻率稳定性和更加結实些。有时，对制成品的頻率公差要求得極微小(10^{-5} 甚至 10^{-6})。举凡这些都指明了晶片制造技术的努力方向，因为，我們知道压电晶片的頻率，是决定于它的尺寸大小的。

晶片是从石英塊上，严格地按照規定的結晶軸切割下来，而后再磨成需要尺寸制成的。石英是异常坚硬的，所以对石英作切割加工，須依賴金剛石（金剛石鋸）或極硬的砥砂（碳化砂、碳化硼等等）。至于測量晶片的尺寸，則可以用普通測量工具如測微計（即千分尺）。不过进入最后研磨和校准晶片到所需頻率的阶段时，依賴这种測量法是嫌不够精密的。晶片的最后研磨手續，是一种極精細的研磨术（磨光学鏡片的方法），并且，还要用無線电的仪器来控制尺寸。

假使倒退十年来看晶片的制造技术，那末，当时的制造技术只是要求能个别地加工

制成晶片而已。但是，現在的制造技术却要求在大量和大批生产中，不准降低而只满足所提出的極严格的公差。

必須指出的是：在压电晶片的生产技术中，确定与晶軸綫有关的切割方向的技术占一大部分。現在已經研究出很多种不同的方法，足以对各种形状的石英塊（原料）：出切割方向，但是，由于晶片的要求量不断地提高，于是就必須使用一种对任何形状石英塊都能有适应的切割方向的确定法了。

在实用中引入新的方法去測定石英的晶軸綫，是制造高稳定性高頻率晶片技术：一个特別重要的因素。只有根据精密測定的軸綫方向，才能进行正确的切割，也才能保證晶片具有最小的頻率温度系数。

现代的压电晶片的制造技术，能适应非常寬广的頻率范围——从音频直到25—3兆周。并且，在不采用特备的恒温器时，平均的頻率温度系数也不超过 $\pm 2 \cdot 10^{-6}$ /度。对于强力超音波振荡器所用的晶片，可以用鑲嵌法来制造，这就是說，把单塊晶体粘在一道这样，这晶片就有很大的尺寸了，但特高頻率的晶片尺寸必極小，差不多厚薄只有十分之几公厘，直径也都在六、七公厘以下，这样薄的晶片是非常脆弱的，因此，制造这利晶片也就需要非常精細的技术了。

§ 12—2 石英原料的種類和選別法

在大自然中，已經發現了很多外形特征不相同的石英，可以供制造压电晶片之用。

水晶是无色透明的石英，它具有多边形結晶体的形状，或因为在地質变形过程中，結晶体受坚硬岩石的砥磨而变成了光滑的蛋石样子。水晶的晶体往往有很大的尺寸（大到一尺），大塊状的晶体总是性質不均匀的，因此在生产中，大塊状的原料不及小塊的有价值。

茶晶与水晶的区别是茶晶有不同色调的褐色。从它自己的結晶組織上來說，色调越深的石英，往往品質越趋均一。茶晶是能去色的，去色后的茶晶，就具有了能穿过可見光的透度。去色的方法是把茶晶放在电炉中加热到350—400°C。

墨晶乃是一种比茶晶的色调更晦暗的石英，它有时甚至完全是黑色的。这在晶体的断面处特別明显。

黄水晶是一种带有檸檬黄色的透明石英。除掉在自然界中發現的天然黄水晶外，也可以用人为方法来制造黄水晶，这就是把茶晶放在电炉中加热，使色调轉变到所希望的深浅。

紫玉英是一种天然带有紫色的石英。

紅水晶往往是色调頗不均一的，包含着微細晶的一种晶体。这些微細晶使紅水晶成为一种微透明的結晶体，并且，引起它具有星芒現象（从拉丁字“星辰”而来）。我們在光源除去后，能看到透过晶体的閃光，就是这个緣故。关于这个現象的本質，将在本章第三节中再加講解。

在自然界中散布得很广的还有很多別种石英，它們多半是复晶体的变体，例如常常用宗当作磨刀石的石英、瑪瑙、碧玉以及用来当作美术裝修建筑物或裝飾物的石英等，

都是属于这一类的。

在无色透明的石英中，又分为 α -石英和 β -石英两种，有压电效应的是 β -石英。 β -石英的稳定温度是573°C，而 α -石英的稳定温度是573°C到870°C，所以 β -石英做成了应用的压电晶片以后，有时面上需要烧银，烧银的温度，只许在530°C—550°C绝不能烧到573°C，因为到了这个温度， β -石英就变成了 α -石英了。 β -石英是不规则的尖锥状及横轴条纹的六方长柱体，而 α -石英是有规则的尖锥形状而无横条纹的六方短柱体。在 β -石英尖锥顶顶上有R及Y面积之分，而在 α -石英尖锥顶顶上没有这种分别。

图12-201是两种典型形状的石英材料，其中，一个是具有直线棱界的晶体，另一个则是完全失去本来面目的光滑石卵状的石英。从自然界中所发现的各种石英原料中，还有这两者之间的形状，它们接近于蛋石的形状，但还保存一条或二条晶棱。开采出来的石英原料往往具有很多的缺陷，这就大大地减少了原料的利用率和降低了压电晶片的产量。晶体上的缺陷最普遍的是含有异种的矿物（如亚氯酸盐、黄铁矿，金红玉等），裂痕，气泡，污浊，和出现了表征着石英结晶镶嵌组织的矿瘤。

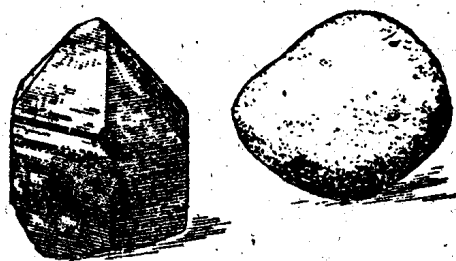


图12-201 两种形状的石英，其中一种有清晰的晶棱，一种则是没有棱界特征的蛋石。

除此以外，晶体的孪生也是一个极普遍存在的缺陷。孪生的发生，是由于石英块上芽生了两个晶体所致。单晶的边界往往是能够用肉眼看出来的，尤其是表面预先研磨过，并且用氟酸蚀洗过的石英，这些边界更为清晰。压电晶片是只允许从石英的单晶部分切割出来，因为，孪晶乃是发生反常电气现象和造成脆性的根源。

石英原料的品级，是由原料中净得无缺陷的单晶部分，即能够切出规定尺寸的晶片来的所谓单晶块的百分数来决定的。

石英原料依照原料中切出单晶块的百分数来划分等级，可以有下列四种品级（表12-1）

表12-1

石英原料的品级

品 级	品 级 标 准
特 级 品	从石英块或蛋石上保证能净得超过10%的单晶块
I 级 品	从石英块或蛋石上保证能净得5—10%的单晶块
II 级 品	从石英块或蛋石上保证能净得3—5%的单晶块
III 级 品	从石英块或蛋石上保证能净得少于3%的单晶块

因为晶片坯子是从单晶块中经过加工切割出来的，因此，从上面这个品级表中就可以看出，石英原料净得有用的单晶块的百分数是很重要的。从这个重要的因素观点上来说，无论是石英原料的供应基地，或是石英晶片的制造工厂，都有仔细检视和挑选原料的必要。

确定石英原料的适用性有三种方法：

- (1) 从外形上来判断；
- (2) 用透过的光线来检查；
- (3) 做剝削的试验。

第一种方法是把保存着晶面的晶体块加以洗净，而后作表面的观察。晶体上天然的偏菱体界面和棱柱体界面，对我们在作出下列石英晶体品质的评语方面有很大的方便：单晶性或孪晶性的程度，有无矿瘤、气泡和其他异种矿物。

晶体上表达着单晶性高低程度的偏菱体的界面（晶面）常常是平坦而光滑的表面。凡是棱柱体的界面（晶面）有中断的现象时，或者当光线照映到晶体上，晶面上不同部位的反光强度不一律时，都表征着在这晶体中有微小的孪晶存在。如果晶面的表面上出现了矿瘤，这就说明这晶体中存在着无数没有一定形状，互相以不同的倾斜邻接着的小面积。

有时在晶体的界面上可以看到有天然的蚀象图，从这图案上，也可以判断晶体孪生的程度。

第二种方法——以透过的光线来检查——可以揭露晶体被内部的缺陷所破坏的程度。属于内部的缺陷有：含有异种矿物，气泡和使晶体混浊的液体，检查操作需备有强烈的光源，而且最好能使用侧光，这样检验人员就能看到被侧光照耀显形的缺陷图案，而将不仅是轮廓的晦暗黑象。

晶体上和带有磨制平面的蛋石上不透明的表面上，应当涂润煤油。晶体表面上涂润了煤油后，就成为更容易透过光线的介质了。这因为光线通过煤油与晶体的折射率，有微小的差别（煤油是1,448，石英是1,544）以及因为煤油涂润在石英表面后，把粗糙表面上的最小凹穴都填满，而使表面益趋光滑的缘故。

第三种方法是把待检查的晶体块，作不大的剝削检验。从剝削的窟窿中，能更清晰地看到晶体内部的情况，可能发见晶体内部细微的裂痕和别种缺陷。剝削检验最好行之于晶体上被不相干的杂质所蔽盖的地方，因为，有时这些杂质只盖复在表层上，而并不深入到晶体的内部去的；经过这样的检验，就有可能发见它依旧还有充分的适用性的。

剝削检验是检查石英原料品质的最优良方法。从剝削断面上，可以肯定标明石英品质所必须的评语：缺陷的程度，单晶性的程度，缺陷和孪晶的性质，矿瘤的程度等等。

有些石英晶体没有清晰的界限，因此，对它的外表来作检查，不能发现缺陷。有时晶体有晦暗的色调，也不能利用透过的光线来作检查，遇到这一些情况时，唯一可行的方法，就是用剝削法来测定它的性质。当然，有时用强烈的光线，也可能发见晦暗色彩的石英原料上浸入表层不深的缺陷。

§12—3 截切石英晶片時的定方位法

I 石英晶体軸綫和截切的种类及振蕩型

在生产压电晶片的技术中，正确地确定截切的方位，是最重要的也是最复杂的任务。优质产品的净得百分率，大半决定于方位的准确程度上。光滑的石英蛋石，由于毫无一点外在的界面特征可以作为参照的根据，因之，它的截切工作就显得更复杂了。

随着石英晶片的生产日趋发展，如何合理地从经济观点上来利用石英原料，便成为日益重要的问题。

最容易确定截切方位的是那些已经具备了正确晶体形状的石英原料（圖12—301），倘若从这样的晶体上，垂直于六角柱的界面平面（晶面 m ）截切一平面，那末切面将是一个六角形。在这个平面上，有三个晶体軸綫：光軸 Z ，电軸 X 和机械軸 Y 。显然，石英在各个軸綫方向是具有不同的特性的：在 Z 軸方向上，光綫是没有双折射作用的，于是，石英晶体在透过偏振光时，就具有了偏振面的轉动特性。

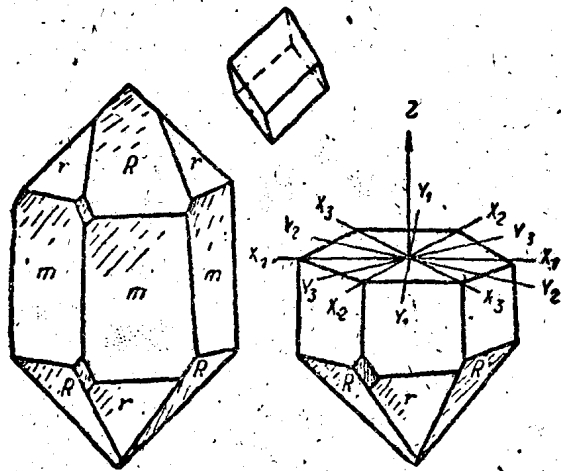


圖12—3) 石英晶体的正常形状（左圖）和垂直于六角柱晶面的切面（右圖）。上角是一个偏菱体。

假如我們在逆对着光綫的方向，来观察偏振面的轉动特性，那末，随着石英結構的不同，它可能是右旋性的（順时針方向）或是左旋性的（逆时針方向）。由此，我們可以分別命名石英晶体为右旋石英和左旋石英。

在电軸（ X ）方向，石英就具有压电特性，这就是說，当我們在正交着 X 軸的平面上，沿着 X 軸对晶体施加压力和松馳压力时，就会产生电荷，所以 X 軸是具有極性的。

机械軸 Y 正交着六角柱的晶面 m 。

构成晶体上下兩終端的菱錐体的各个晶面（圖12—301），都是偏菱体的界面（大偏

菱体的界面是 R ，小偏菱体的界面是 r)。每一个偏菱体有三个界面，大偏菱体界面的特征是小偏菱体的界面更光輝些，偏菱体乃是平行六面体，所有它的界面都成菱形。大偏菱体的界面和小偏菱体的界面是交替的，一个接連着一个安排在晶体的上下两个終端上；而且，每个終端上的大偏菱体界面 R ，总是跟另一个終端上、相对着它、而又平行着它的大偏菱体界面相重合的。同样，小偏菱体界面 r ，也总是跟另一終端的一个界面相对着而又平行着的。这样，在一个晶体上就有了三个平行的大偏菱体界面 R ，并且，在它們之間有三个小偏菱体的界面。

光軸 Z 与它在大偏菱界面上的投影所夾的角度，对于所有的石英晶体都是一样的，它总等于 $33^{\circ}13'$ 。垂直于 Z 軸方向，从六角柱上截出的平面，叫做基准面。

在公元1880年，居里發現石英晶体的压电效应的同时，就有聞名于世的居里截式，或 X 截式，如圖 12—302 所示。在这种截式中，晶片乃是垂直于 X 軸切开的平面所形成的。

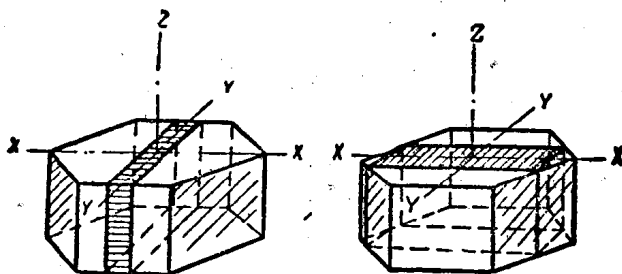


圖 12—302 截式 (左圖) 和截式 (右圖)。

倘若平行于 X 軸切开，那就叫做 Y 截式。現在 Y 截式的晶片应用的比較少了。它的主要缺点是，压电晶体的頻率温度系数很高。 X 截式的晶片的頻率温度系数，随着晶片的厚薄在 $-30 \cdot 10^{-6}/\text{度}^{\circ}$ 上下，而 Y 截式則在 $+100 \cdot 10^{-6}/\text{度}^{\circ}$ 上下。

在目前广泛应用着的还有別种的截式，也同样能使晶片的頻率温度系数在很廣闊的温度範圍內接近于零。在这些截式中最常用的有 AT 截式和 BT 截式，即所謂“斜切式”。

在右旋晶体中，在 X 軸的正極端，以 Z 軸为基綫右旋（順时針方向） $35^{\circ}15'$ 加以截切，就是 AT 截式；左旋（逆时針方向） 49° 截切，就是 BT 截式。在这里，晶片的一条边棱是平行 X 軸的。

在左旋晶体中，各相关的角度恰好与上述相反。（圖 12—303）

AT 截式常用來截切在 150 千周—3 兆周範圍內工作的晶片，而 BT 截式則用于高于 3 兆周中。

除上述的截式外，也还有別种截切式，象 CT 截式、 DT 截式、 ET 截式、 FT 截式和 GT 截式等可資利用來制造适应特种情况的，頻率温度系数小的晶片。

圖 12—303 和圖 12—304 就是各种截法的圖解說明。其中 AT 截式、 CT 截式、 GT 截式和 ET 截式是接近平行于小偏菱体界面（晶面 r ）的，而 BT 截式、 DT 截式和 FT 截式則接近平行于大偏菱体界面（晶面 R ）。在所有这些情形中， X 軸总是平行于晶片的界面

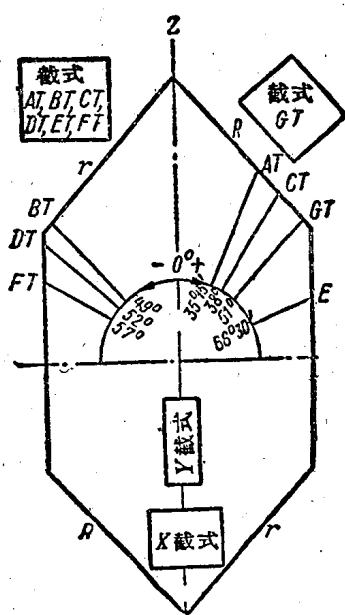


圖12-303 压电晶片主要截切方位。

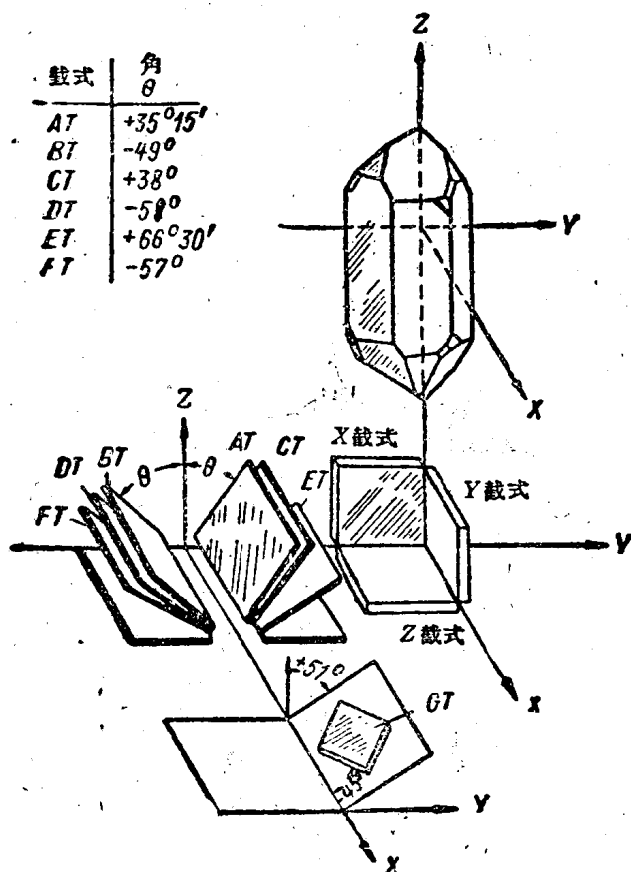
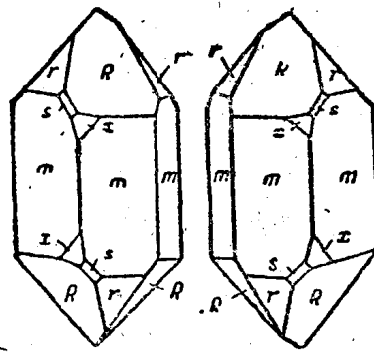


圖12-304 各主要截式的方位。



左旋石英

右旋石英

圖12-305 有理想正碑圖形的石英晶体。

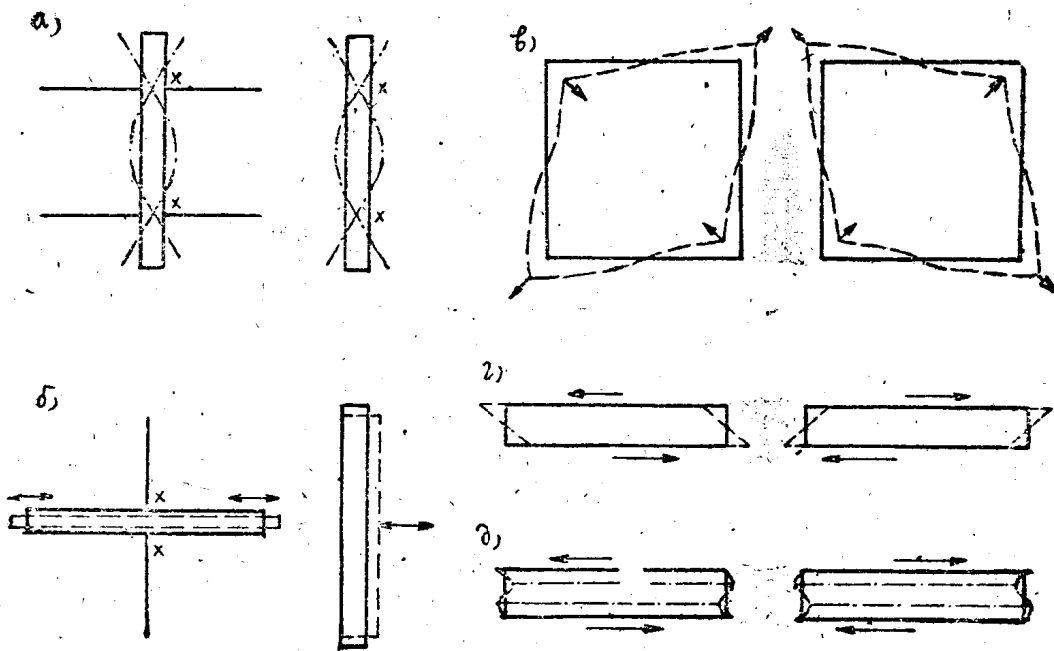


圖12-306 石英片振蕩型

- a) —— 弯曲振蕩； b) —— 縱向振蕩； c) —— 面剪切振蕩；
d) 面剪切振蕩； e) 厚剪切諧波振蕩。

的，只有GT截式例外，它从它平行于X軸界面的片上又轉了 45° 。

II. 石英晶体各种切法的特性及振蕩型

石英晶片不同切割法产生不同的振蕩型，共有四种振蕩型，即弯曲振蕩，縱向振蕩，面剪切振蕩，及厚剪切振蕩，如圖12-306所示。在圖a、c、B內，X点是晶片振蕩时之平衡靜点，就是說，晶片的其他部分都振蕩，独X点处不振蕩。所以晶体面上燒或蒸發銀或金后，就在X点处銀或金面上焊接導線，以备往电路上連接。厚剪切振蕩的

晶片(圖12-306中I与A), 是裝置在帶金屬板片的盒中工作的。

弯曲振蕩的振蕩頻率, 是按下式計算的:

$$f(\text{周}) = 5.42 \times 10^5 \frac{a}{l^2} \quad (12-301)$$

式內 a 表示晶片條的 Z 向寬度, l 表示 Y 向長度, 單位都是厘米。焊接導線的 X 點, 由片條端沿計算起, 是 $0.224l$ 處, 兩個 X 點都是。由公式看出, 這樣切割法, 是為低頻(10千周上下)振蕩用的。

為面剪切型方形晶片的振蕩頻率, 只用邊長度來計算, 如下:

$$f(\text{千周}) = \frac{2071.81}{l(\text{毫米})} \quad (12-302)$$

式內 l 表示正方形晶片一邊之長。這樣的切割法, 是為100千周上下振蕩頻率用的。導線焊接點是在正方形晶片上金屬面層的中心上。 AT 切法就是這一類型。

為厚剪切型晶片, 振蕩頻率計算如下:

$$f(\text{千周}) = \frac{77}{t(\text{吋})} = \frac{1954}{t(\text{毫米})} \quad (12-303)$$

式內 t 表示晶片的厚度。 Y 切法就是這一類型。電極的裝置法可以用兩極片夾上下面。

為縱向長度振蕩, 振蕩頻率計算如下:

$$f(\text{千周}) = \frac{112.6}{t(\text{吋})} = \frac{2870}{t(\text{毫米})} \quad (12-304)$$

式內 t 是晶片的厚度。因為這種振蕩型是厚度變動, 所以兩電極接點, 只能夾寬度兩邊沿, 不能夾兩個平面, 否則停止振蕩。

表12-2表示各種石英晶體的振蕩型、切割角度、頻率常數、零溫度系數的溫度、及應用範圍的頻率等。

石英晶片的振蕩頻率與溫度變化的關係, 是冪級數的關係, 示如:

$$f = f_0[1 + a_1(T - T_0) + a_2(T - T_0)^2 + a_3(T - T_0)^3 + \dots] \quad (12-305)$$

式內 T_0 表示開始溫度($^{\circ}\text{C}$), T 表示任何溫度($^{\circ}\text{C}$), f_0 表示在開始溫度時的晶片振蕩頻率; a_1, a_2, a_3 等是溫度的第一次, 第二次及第三次的導微函數。如果 a_2 及 a_3 與 a_1 之值相比甚小時, a_2 及 a_3 可忽略不計, 則式(12-305)可變為:

$$f = f_0[1 + a_1(T - T_0)],$$

$$\frac{f - f_0}{f_0} = a_1(T - T_0). \quad (12-306)$$

此式是振蕩頻率對溫度的直線函數方程式了, X 一切法與 Y 一切法石英晶片的振蕩頻率就是這樣。

為了求 T_0 溫度時的“零溫度系數”, 式(12-305)的微分系數應如:

$$\frac{df}{dT} = f_0[a_1 + 2a_2(T - T_0) + 3a_3(T - T_0)^2 + \dots]$$

因“零溫度系數”時 $\frac{df}{dT} = 0$, (T_0 溫度時), 所以 $a_1 = 0$, 即得零溫度系數時的振蕩頻率是:

$$f = f_0[1 + a_2(T - T_0)^2 + a_3(T - T_0)^3 + \dots] \quad (12-307)$$

表12-2

切型 名称	定向角度			频率系数 千赫/毫米	频率 应用范围 (MC)	零温度系数 的温度 °C	振荡型	a ₂ 值	a ₃ 值
	φ	θ	ψ						
X	90°	0°	0°	2870	超 音 频	40°C	縱向振蕩	0.031-0.035	—
Y	0°	0°	0°	1954	3.5-28	—	厚剪切 振 蕩	0.04	—
AT	0°	+35°15'	0°	1700	0.25-3.0	—	”	—	—
BT	0°	-49°	0°	2580	3.0-12	—	”	0.055-0.04	—
GT	0°	+38°36'	0°	3080	0.1-0.4	—	面 剪 切 振 蕩	0.035-0.06	—
DT	0°	-51°	0°	2060 2071.81	0.07-0.5	—	”	0.015-0.017	—
ET	0°	+66°	0°	5140	0.25-0.8	—	”	0.05	—
FT	0°	-57°	0°	4710	0.2-0.6	—	分解剪切 振 蕩	—	—
GT	0°	+51°7'	±45°	3202	0.1-0.5	—	—	—	2.6 · 10 ¹¹
MT	90°	±34°	+8.5°	2700	0.05-0.2	—	—	—	—
NT、0°	90°	±38°	+8.5°	283	0.004-0.05	-35°—+38°C 依靠比值 w/L	弯曲振蕩	0.025-0.036	—
0°	90°	0°	0°	2720	滤波和振蕩	—	—	—	—
+5°	90°	0°	+5°	2815	0.05-0.45	—	弯曲振蕩	—	—
-18°30'	90°	0°	-18°30'	2554	0.05-0.5	—	弯曲振蕩	—	—

如果a₁与a₃之值比較a₂可以忽略时,則得:

$$f = f_0 [1 + a_2 (T - T_0)^2]$$

或
$$\frac{f - f_0}{f_0} = a_2 (T - T_0)^2 \dots\dots$$

(12-303)

式 (12-308) 是大多数种类石英晶片振荡频率与温度关系的表示式, 由方程式看出, 凡符合这一方程式的石英晶片的频率温度系数, 都是拋物綫函数的。

在低频切法石英晶片計算里, a₃ 之值是很小的, 它們的频率—温度表示式, 正如 (12-308) 式; 但是GT切法是例外, 在它的振荡频率变化里, a₂ 之值甚小, 它的频率—温度系数表示式是:

$$\frac{f - f_0}{f_0} = a_3 (T - T_0)^3 \quad (12-309)$$

在計算频率温度系数时最特别的是AT切法的石英晶片, 它的温度系数可由下式計算:

$$\frac{f - f_0}{f_0} = a_1 (T - T_0) + a_3 (T - T_0)^3 \quad (12-310)$$

式內a₁是切割系数的特性常数, 它的值是由切割角度决定的; a₃是方程式三次方項的常

数，但它的值不受切割角的限制。

由以上 (12-306)、(12-308)、(12-309) 及 (12-310) 各式，可以体会到石英晶体的温度系数，在计算上是相当复杂的，但类型不外这几种，每种晶片温度系数的含义是彼此不相同的。

1. 对具有正确图形的石英确定各轴綫的方法

由晶体的轴綫——光轴、电轴和机械轴——能够规定出任何一种截式的方位来的。对于“斜截式”，除掉轴綫的方位以外，电轴的極性以及晶体属于哪一种晶面式——左旋的或右旋的，这也是很重要的。

在具有理想正确图形的晶体上 (圖12-305)，确定出 X Y 和 Z 轴是没有困难的。至于晶体究竟属于左旋的还是右旋的一个问题，则在理想正确图形的晶体上，是可以根据晶体的附属特征求得解答。

在右旋晶体上，双锥体的界面(晶面 S)和偏方面体的界面*，(晶面 X)(圖12-305)，是居在大偏菱体界面 R 的右侧上，X 和 S 晶面都居于大偏菱体界面 R 的左侧。

在这个特征上，还能确定出电轴的極性来，这就是：在右旋晶体上，X 轴負極端是从大偏菱体晶面 R 的右方穿出，而在左旋晶体上，则是从晶面 R 的左方穿出的。

假使研究一下晶体的上半部，那末偏方面体的界面 (晶面 X) 总是在大偏菱体的下方的。

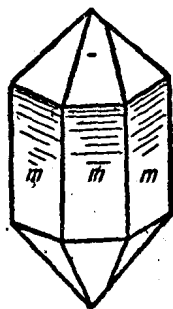


圖12-307 在六角柱上的天然綫紋。

按天然的綫紋来确定方位

倘使石英晶体没有理想完善的图形，而是个带有若干保留下来的残余界面的蛋石，那末，首先应当注意这些界面上的天然綫紋。

当我们缓缓地旋轉蛋石时，在六角柱的晶面 m 上，可以看到一些成平行綫条的天然綫紋 (圖12-307)。研究的结果指出：在六角柱上的綫紋总是同电轴的方向一致的。因此，倘使要制造 X 截式的晶片，那末，就应当垂直着綫紋的方向来截切；同理，我們也知道，机械轴将有垂直于晶面 m 平面的方向，这样，光轴也就不难确定了。

假使在保留下来的残于界面上，不能看到任何綫紋的痕迹，那末，这个界面显然是偏菱体的晶面了。在这种情况下，用剝剖法或裂口法檢驗是能大致地确定出光轴的方向

*，在晶体学上，称具有梯形晶面的多面体，叫做偏方面体。

来的。精确的鑑定只有求諸偏振仪了。

用剝剖法和裂口法来确定光軸方向的方法

剝剖法的要点是：从蛋石晶体上不同的部位处，割剖若干小块試样来鑑定它們的表面。假設剖开的方向垂直于光軸时，也就是說，恰好在基准面中时，那末，晶体就表现出最坏的分裂能力。假如試样有“怀表盖”的特征，那就說明，割剖方向接近基准面的平面，因为，这时在个别地方形成了儼若“怀表盖子”上梁齿似的台阶形表面的緣故。光軸的方向，将近似平行于这两个对峙着的剝剖的联結綫。这个方法是不十分精确的，而且，还要反复做很多試驗才能得出結果。

裂口法：或劈开法是基于获取一些确定着的晶体具有最佳解理性的方向的綫条而建立的。

晶体平行于真正的、或可能的晶面裂开为平面的一种特性叫解理性。譬如，我們熟知的能批成薄頁的云母，就是一个典型的例子，它的解理性很显著，只平行于一个平面。

在石英晶体中，解理性最佳的平面是偏菱体的晶面、循着这个平面，晶体最容易劈开。当运用分裂法时，从石英的試片中截出很薄的、約一公厘的晶片，加以磨平，而后輕微地抛光，再加热到100—150°C，然后徐緩浸到冷水中。这时就会产生平行于电軸的裂口。

用偏振仪来确定光軸的方法

現代的偏振仪如圖 12—308 所示。这个偏振仪包括下列几个主要部分：光的起偏振器 6 乃是一个黑色的鏡子（这是鏡体的玻璃，反面做成麻沙面，并且涂以黑漆，这样，就只有鏡子的上面表面能反射光綫）；檢偏振器 1（是一組薄玻璃片）；毛玻璃 4 和光源 5；透明摺台 3 和玻璃盒 2。黑鏡子 6 和檢偏振器 1 都斜置在架子上，傾斜的角度以对玻璃能有最佳的偏振光为标准（約56°）。光源—电灯 5—用不透光的罩子（圖中沒有繪出）遮蔽着，但露出正对着毛玻璃 4 的一面来。

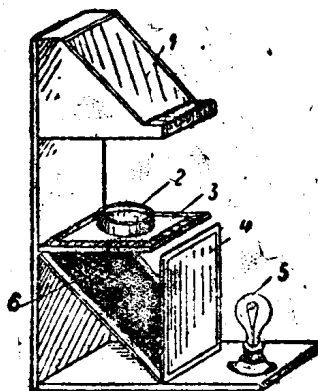


圖12—308偏振仪

一点没有界面特征的蛋石晶体，用偏振仪来鉴定光轴方向的步骤如下：从蛋石上削下一小块试样，在它的表面上不同部位处，粘上二三块白蜡，而后把试样放进玻璃盒2中；玻璃盒内灌注煤油或折射率接近于石英折射率的别种液体，而后慢慢转动试样，直到不再能看到表征着光波干涉现象的虹彩为止。当检偏振器1上出现干涉环象的一瞬间，就表示光线方向已同光轴的方向重合，这时，用一根针插到一块白蜡上，刺入的方向要笔直，也就是说，针在水平面上的投影只是一个黑点。这根插在试样上的针，将就是它的光轴。

这样之后，试样归回到原来的母体（蛋石）上，并且把这母体连同试样，用粘土或特种胶合剂粘固在平放在桌子上的镜玻璃上。母体放置的位置，恰好使小针垂直于母体削下试样的平面上，而后，用支在三角架上的铅笔，围绕母体兜一圈，母体的周围表面上，就画上了一首尾衔接的黑圈。这黑圈就代表蛋石晶体的基准面。最后把这蛋石固定在金刚锯的夹料台上（这时削下的一片试样，已经是除去了的）。按照所绘黑圈锯出平面。

用这种方法来鉴定光轴方向约有 $3-5^\circ$ 的误差。

用锥光镜鉴定光轴方向

图12-309是一个锥光镜的简图。用锥光镜能精确地测量石英晶体的光轴方向，把已经预先用别种鉴定法初步确定了光轴方向但精确度不高（约在 10° 误差之内）的石英试样5固定在载料台7上。这载料台乃是一个三脚台，它的平面能借螺丝6自由调节，使它与仪器的平板8成任何一个角度。

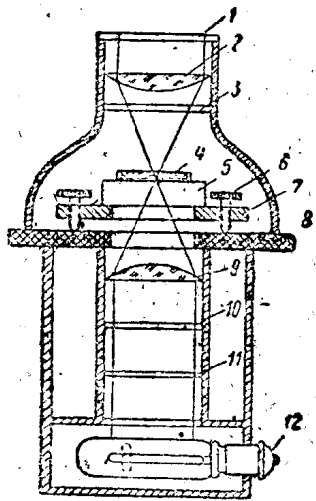


图12-309 锥光镜的简图。

平板8和载料台7上都备有中央孔，以便光线通过。光源是水银灯或钠气灯12。在光源的路程中放置：红滤色器11，下偏振片10（是一种特殊透明塑料制成的片板）和更