

# 高頻通訊用晶體振盪器的技術及發展

\*辻本正美 \*\*廖詩文  
台灣晶技公司  
\*技術副總 \*\*秘書

## 摘要

市場上目前對於攜帶型電子產品所使用的表面黏著型電子零件，越來越期待能夠開發出更輕薄短小的製品。頻率控制元件之一的石英晶體也同樣進入輕薄短小的競爭紀元。石英晶體發展成表面黏著型之後，其耐熱性與衝擊性也更加提升。這都可以歸功於AT CUT技術的突破。在高頻化製程上居獨佔地位的AT CUT之特徵與樣貌，本文將從技術的角度加以介紹。此外本文也將對今後的發展趨勢做一說明。

## 關鍵詞

壓電效應(Piezoelectric Effect)；逆壓電效應(Converse Effect)；AT-CUT；人工水晶(Synthetic Quartz)；厚度振盪(Thickness Shear Mode)；切割角度(Cut Angle)；SMD(Surface Mount Device)；TCXO(Temperature Compensated Crystal Oscillator)；VCXO(Voltage Controlled Crystal Oscillator)；陶瓷基板(Ceramic Package)；容量比(Capacitance Ratio)；輕薄短小(Downsizing)。

## 前言

這幾年攜帶型電子產品對於表面黏著型(SMD型)零件的市場需求始終要求能做到更精密且輕、薄、短、小。即使在電器用品市場上，攜帶型電器也以輕薄短小為競爭利器，製造商紛紛致力研發世界最小、最輕的產品。石英製品方面，行動電話使用的溫度補償型石英振盪器或石英晶體，以及數位相機、筆

記型電腦使用的石英晶體、鐘錶型石英振盪器的輕薄短小化速度也一日千里。民生用電器方面，家用產品也從以往的Dip Type石英製品走向可以帶著走的攜帶型產品。其中SMD型的石英產品更成為今日主流。目前市面上是以價格取向的Dip Type以及具有輕薄短小優勢的SMD型為主，形成兩極化的現象。石英晶體業者正在努力開發更為輕薄短小的SMD型石英產品。本文將介紹高頻領域內最常

被使用的AT CUT石英晶體特色，並且介紹高頻專用SMD型石英晶體的技術與今後的發展。

### 何謂石英晶體？

水晶是SiO<sub>2</sub>的單晶，在電力與物理方面則是具有安定性的壓電物質。利用水晶安定的壓電效應與逆壓電效應來控制頻率的元件就稱為石英晶體。水晶的壓電效應是在1880年由法國的居禮兄弟發現的，而1881年水晶的逆壓電效應更從實驗上得到確認。石英晶體就是利用水晶的「壓電效應」（在結晶板上施壓而在兩面生出逆極性的電荷）與「逆壓電效應」（在結晶板上加上電極會產生機械性的歪曲並產生力量）的元件。

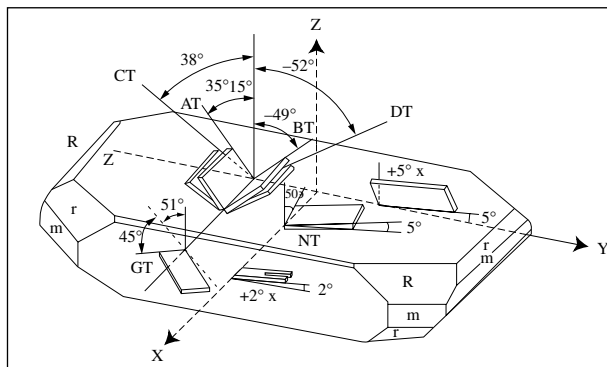
水晶依照切割方向的不同，會得到各種不同的振動模式。圖一為各種切斷圖。

在各種的切割之中，AT CUT在高頻上的利用具有獨佔性的地位。理由說明如下：

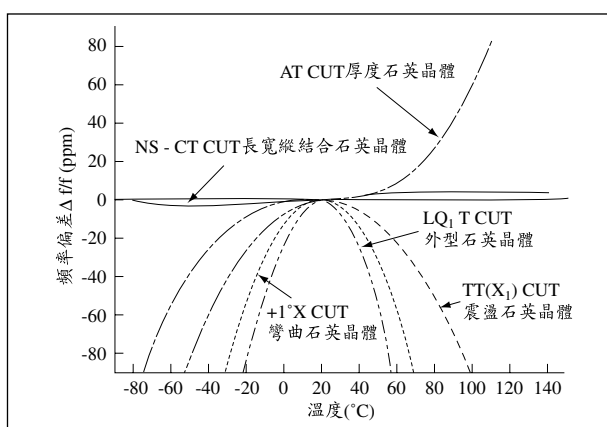
1. 溫度安定性較他種切割方法優異（兩軸迴轉之切割方法除外）。圖二為各種切斷的溫度特性圖。AT CUT的溫度特性為三次曲線，其他的切斷則為二次曲線。在人類生存環境溫度範圍之內以AT CUT的溫度特性較佳。
2. 可以做到小型化。AT CUT為厚度振盪，振動頻率由晶片的厚度決定，因此晶片外型尺寸可以縮小。其他的切斷法由於是輪廓或Bending振動，長邊由振動頻率決定，因此要做到小型化是很困難的。圖三為各種振動模式圖。AT CUT的厚度與頻率關係可由下列公式求得。

$$T \text{ (mm)} = 1670/f \text{ (kHz)}$$

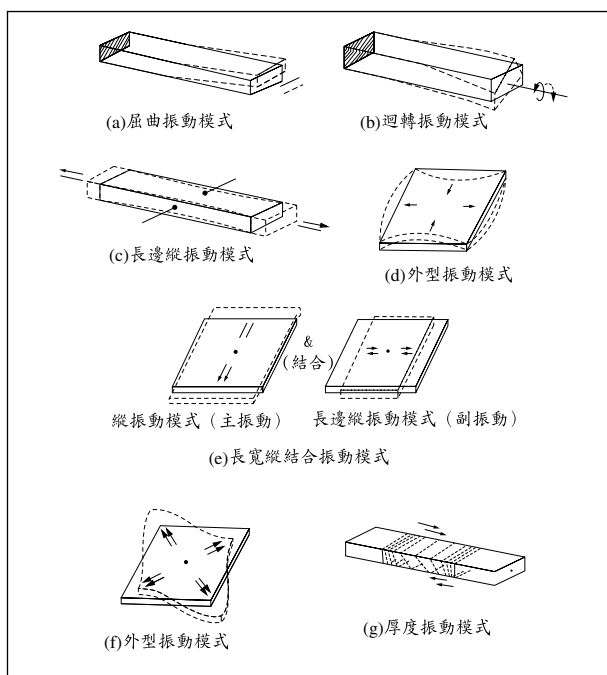
3. 等價串聯抵抗比其他切割法低。表一為



▲圖一 Z板人工水晶與各種切斷[JIS C 6705]



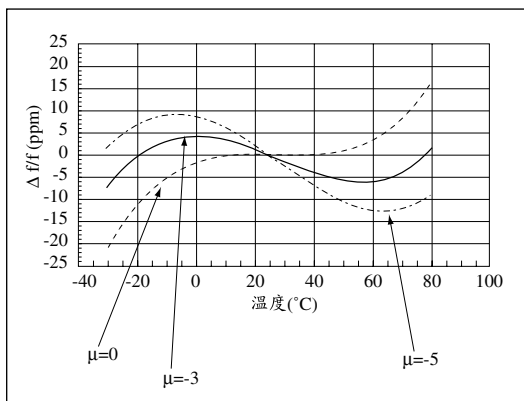
▲圖二 各種切斷的溫度特性圖



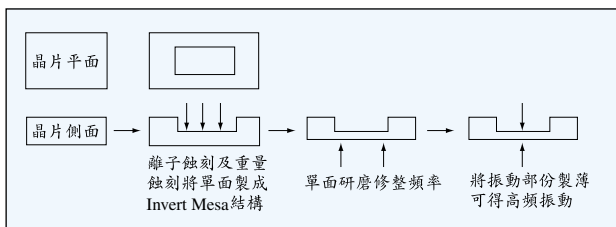
▲圖三 石英晶體振動模式圖

各種切割與阻抗的比較表。等價串聯阻抗低與振盪起動時間短都可能影響間歇動作。

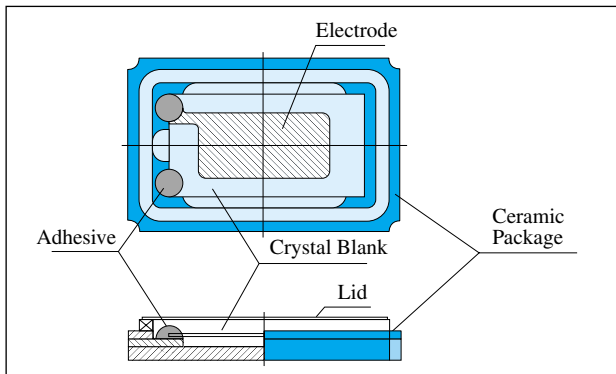
- 溫度特性的管理較易。AT CUT依據切割角度的不同會影響溫度特性。從角度上加以控制，就可得到預期的溫度特性。輪廓與Bending必須要求切割角度以及晶片外型尺寸的邊比管理，在處理上則較為繁雜。圖四為切斷角度與溫度



▲圖四 切割角度與溫度特性



▲圖五 晶片 Invert Mesa 構造概念圖



▲圖六 SMD 石英晶體構造圖

特性圖。

- 可以做到高頻化。AT CUT 的振動頻率由厚度決定，因此加工技術的進步可以使厚度更薄，也能使振動頻率提高。現在已經知道基本波動可以達到 600MHz。由剛剛提到的厚度公式計算，可以得到約  $2.8\mu\text{m}$ 。圖五為 Invert Mesa 型高頻化概念圖。
- 機械性強度優異。由於 AT CUT 是厚度振動，因此晶片的外緣可堅固地加以固定。外型與 Bending 在外緣部份會振動，因此晶片的中心部份(Node)須以細線支撐，要堅固的加以固定是困難的。圖六為 SMD 石英晶體構造圖。
- 電容較小。將石英晶體連接在振盪迴路上，在可變電量可使頻率變動的情況下，石英晶體的電容雖小，但少量的電容變化就能得到極大的頻率改變。表二為切斷與容量比的比較表。TCXO、VCXO 就是這種利用較小的容量比得到的應用製品。

## SMD 型石英晶體的構造

使用金屬封裝的石英晶體以 BANE 等金屬支持晶片。SMD 在使用陶瓷基板的情況是可以直接在晶片上定位的（如圖六）。從人工水晶切出的晶片，在電極上鍍膜，並在基板上定位，以導電性黏著劑加以固定後封裝。整體來說，雖然是相當簡單的結構，但是無論是材料的選擇、製程的條件，都會影響到石英晶體的性能。這幾年，特別是行動電話上使用的石英晶體，相當要求具有防摔特性，其他的特性也都被要求具有可信度。石英晶體在作成 SMD 之後，其落下衝擊性與 Reflow 特性也會大大提升。這是因為 SMD 是以兩端支撐的方式來固定晶片，使石英晶體趨向無壓力的狀態。

表一 切割與阻抗的比較表

振動模式	切割	阻抗 ( $\Omega$ )
厚度振動	AT	5~500
厚度振動	BT	5~500
輪廓振動	CT	500~5000
輪廓振動	DT	500~5000
縱振動	X	500~5000
Bending振動	NT	10K~100K
Bending振動	X	10K~100K

表二 切割與電容(Co/C1)的比較表

振動模式	切割	Co/C1
厚度振動	AT	250
厚度振動	BT	400
輪廓振動	CT	400
輪廓振動	DT	450
縱振動	X	140
Bending振動	NT	800
Bending振動	X	600

表三 石英晶體的一般樣態

Quartz Crystal Unit Specification	
1	Nominal Frequency
2	Mode of Operation
3	Frequency Tolerance
4	Frequency Temperature Stability
5	Load Capacitance
6	Shunt Capacitance
7	Max. ESR
8	Drive Level
9	Max. Drive Level
10	Frequency Aging
11	Equivalent Series Inductance (Motional)
12	Equivalent Series Capacitance (Motional)
13	Co/C1
14	Quality Factor
15	Drive Level Dependence (DLD)
16	Spurious Response
17	Trim Sensitivity
18	Activity Dips (Frequency Perturbation)
19	Operating Temp. Range
20	Operable Temp. Range
21	Storage Temp. Range
22	Reference Temperature
23	Size

## AT-CUT SMD型石英晶體的特性

儘管結構簡單，但是石英晶體的特性還是有難以理解的一面。要理解石英晶體，從它的外觀入手應該是最簡單的。石英晶體一般的樣態如表三所示。

本文將列舉幾種不同的石英晶體來作一技術性的說明。

### 一、Frequency Temperature Stability

經由溫度特性來做角度的切斷。在人工水晶切割之後進行研磨，會造成角度的偏移。特別是在使用研磨速度快的研磨劑時，因研磨而造成的角度偏移會更顯著。使用4Way將晶片從厚磨到薄做到高頻化的情況很多，但是因為4Way研磨機在研磨時沒有基準面，比使用2Way研磨機產生更多的角度偏移。然而若使用2Way研磨機，那麼會使盤面的負擔增大，因此不能用來作厚度較薄的晶片研磨。若要使用同時具有兩者優點的3Way研磨，則要依狀況來選定研磨方法。關於特性請參照圖二。溫度特性可以從公式1以理論求得。

$$\Delta f/f = \alpha t + \beta t^2 + \gamma t^3 \quad (\text{公式1})$$

$$\alpha = 0.085 \times 10^{-6}$$

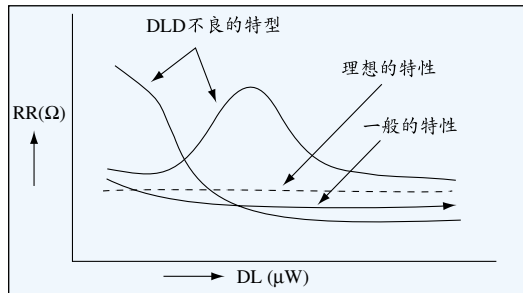
$$\beta = (0.008\mu - 0.270) \times 10^{-8}$$

$$\gamma = (0.002\mu + 1.165) \times 10^{-10}$$

基礎溫度20°C

### 二、Load Capacitance

由於AT CUT電容比較小，會因負載電容的誤差產生在預期頻率內無法振盪



▲圖七 DLD的特性例

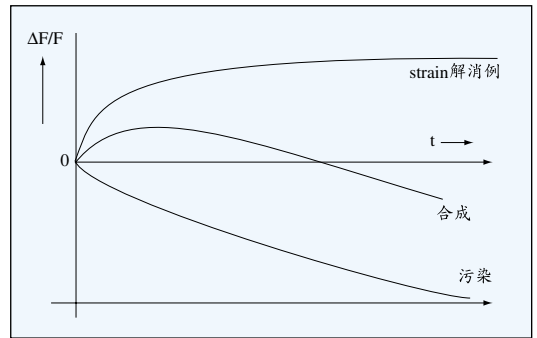
的情況。負載電容是在振盪迴路內的東西，必須在製造石英晶體的時候以指定的數值設定。最近的振盪迴路因為電源電壓較低，負性抵抗變小，造成Load Capacitance小負性抵抗大的傾向。若是負載電容小TS大的話，那麼僅有些許的誤差也會造成頻率的誤差，這是必須要注意的。

### 三、Max. ESR

石英晶體的振動抵抗以電性來表示，這也和振盪迴路有密切的關係。振盪迴路的負性抵抗會因石英晶體的阻抗大而不振盪。石英晶體的阻抗必須保持在某個數值之下，因此先了解振盪迴路的負性抵抗是必需的。最近封裝尺寸越來越小，阻抗因此有增大的傾向。但是從探討能量閉鎖理論以及改良封裝方法，都能維持與以往的數值相近的結果。此外還有許多製造上的問題，都必須特別注意。

### 四、DLD

要使石英晶體振動程度改變就必須測量ESR如何變化。在振盪迴路內使石英晶體振盪，在振盪開始的時候，勵振程度(Drive Level)幾乎是接近於零的狀態，



▲圖八 隨時間變化之說明圖

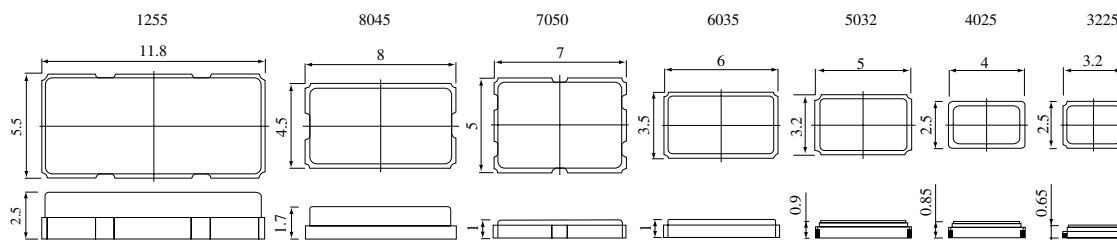
這個時候ESR是沒辦法大幅度振盪的。這種現象沒有再現性的情況相當多，是非常麻煩的問題。IEC指出這是製程不良的問題。因此若希望其可信度高就必須要規定DLD的特性。特性如圖七所示。

## 五、Frequency Aging

它係隨著時間產生的頻率變化。石英晶體若是經過長時間的使用，會因為歪斜或是污染的影響而發生變化。這個特性也和DLD一樣，會因為製程、材料的不同而被影響。頻率變化量若超過規定，在無線通訊上就會產生混訊障礙。混訊是指通訊品質下降而產生通訊機密性的問題。而石英晶體的頻率變化會逐漸出現上述問題。現在通訊器材用的石英晶體（行動電話也包含在內）一年之內的頻率變化量約在正負1ppm以下。頻率變化量一般來說是以指數函數來表現。一年內的變化量即使不測定也能從中預測。圖八是時間變化的說明圖。

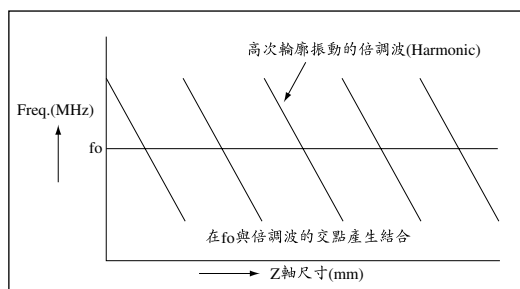
## 六、Activity Dips

又稱為Frequency Perturbation。原本石英晶體的溫度特性是以三次曲線來表示，但是這個現象若發生就不是三次函數了。這是因為晶片在內部和其他的模

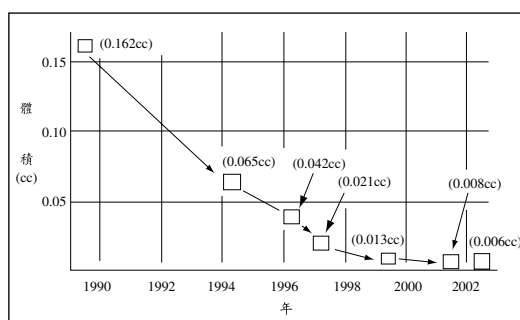


圖十一 Size的比較

式相結合之故。石英晶體在作成SMD時，晶片會出現明顯的短柵結合現象。AT CUT原本是厚度振盪，但是和這個振盪形式結合，就會同時出現高次外型振盪的現象。要排除這個結合現象，對於各種振盪形式的分析能力，依照經驗累積的設計力與晶片加工的準確度等，就成為相當重要的著眼點。在通訊面，類比的方式大致上不會有什麼問題，但在數位的情況下，通話中要是發生激烈的頻率變動，就會因為Bit 錯誤的發生而造成無法通話的狀況。圖九表示與晶片Z軸尺寸結合的關係圖。



圖九 與晶片Z軸尺寸結合的關係



圖十 Size的推移

## 今後的發展狀況

石英產品與其他的電子零件同樣朝著輕薄短小演進。石英產品從1990年開始朝著SMD的方向演進，1998年開始則朝著小型化方向發展。由於市場也需要輕薄型產品，因此輕薄短小的競爭也就從此白熱化起來。今後石英產品也會隨著技術革新而日趨輕薄短小並要求實現高頻化。此外，低階產品今後也因8045生產量的大為提升而可預見3225的量也會擴大。

至於高階產品現在雖然使用5032，但是隨著4025的研發成功，5032將被4025取代。至於行動電話上使用的TCXO則朝向高約1.2mm的高技術競爭紀元。由於以往在使用二段構造和H型構造時有難

以對應的問題，因此今後一體型構造基礎技術的確立將成為重要的研發關鍵。一體型構造的成功也將使得製程的成本降低成為可能。

## 結語

前面已經簡單的提到攜帶用電子產品的生產量以及需要日增的石英晶體，對於AT CUT也做了說明。從上面的探討可以了解石英晶體今後的需求將轉趨強烈。在水晶的壓電現象發現已經歷了120年的今天，終於進入重要的頻率控制元件發展的新紀元。