

石英元件基礎說明

(石英晶體/石英晶體諧振器)

Fundamental of Crystal Unit / Crystal Resonator

產品技術文件系列 – (1)

文：林志遠

目錄

- 石英元件概述
 - 石英(水晶)的特性
 - 切割方式與振動模式
 - 等效電路與參數說明

➤ 石英元件(石英晶體/石英晶體諧振器)概述

石英晶體諧振器(英文：Quartz Crystal Unit 或 Quartz Crystal Resonator，常簡寫成 X'TAL)，簡稱石英晶體。是利用石英(又稱水晶)的壓電效應，用來產生高精度振盪頻率的一種電子元件，屬於被動元件。

石英晶體的用途是什麼呢？當電子設備在積體電路(IC)上運行時，IC 需透過參考時脈做為 IC 系統訊號使用，石英晶體就像是時鐘的基礎信號源。

如果以人體為例，可以把石英晶體想像為心臟跳動時的血液頻率和脈搏率。

◎ 石英(水晶)的特性：

石英有天然石英和人工石英。天然石英和人工石英均為多面體形狀。

目前電子元件所使用的主要是人工石英材料，主要成分為氧化矽之結晶體 SiO_2 ，同時具有(正)壓電效應以及逆壓電效應的物理特性。

由於石英晶體同時存在(正)壓電效應以及逆壓電效應，進而形成週期性振動，所以利用此效應可得到石英晶體振動頻率。

(正)壓電效應，當施加壓力在石英表面時，石英表面的兩邊會產生正電位和負電位，若將壓力改為拉力時，石英表面兩邊的電位會互換，而對於此物理現象，稱之為壓電效應，壓電效應是一種機電能量互換的現象。

而逆壓電效應，則是以電能輸入使之產生機械能或位移(形變)的輸出。

如果把交變電壓施加到石英晶片兩面之間的電極時，當交變電壓的頻率與石英晶片固有頻率一致時，通過逆壓電效應，晶片便會產生機械振動，同時又通過正壓電效應而輸出電信號，如此交互的動作下持續產生頻率，而石英材料的壓電效應是有方向性的，只在電氣軸方向才具有壓電效應。而具有這種特性的材料，我們稱為壓電材料，所以石英元件也稱為壓電元件。

◎ 石英(水晶)切割方式與振動模式：

而石英元件是採用人工水晶做為基本原料，而人工水晶會依各個結晶軸而呈現不同的成長速度，所以外型與我們一般常見的天然石英也有所不同。

石英晶體依照切割角度的不同，會得到不同的振動模式。其切割角度方向如圖 1 所示。

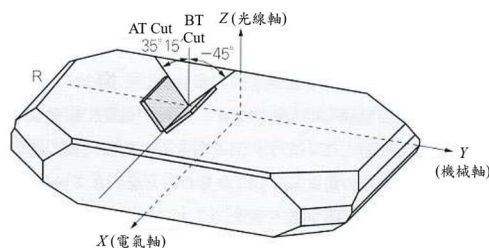


圖 1. 在 Z-plate 石英結構上，有幾種不同角度的切割方式

而其中從 Z 軸以 $35^\circ 15'$ 的角度切割後所得的石英晶片，便稱為 AT Cut 石英晶體(諧振器)，以厚度切變進行振盪動作；而 BT Cut 則是以 -45° 的角度切割後所得的元件。

AT 和 BT 石英晶體切割方式，其頻率範圍和頻率係數(石英晶片厚度和振盪頻率間關係)如表 1。

Orientation angle	Frequency range (MHz)	Frequency (MHz)
AT (Fundamental)	3.5 - 50	$1.67 \times \frac{1}{t}$
AT (3rd. O.T.)	50 - 100	$5.01 \times \frac{1}{t}$
AT (5th. O.T.)	100 - 150	$8.35 \times \frac{1}{t}$
AT (7th. O.T.)	150 - 200	$11.69 \times \frac{1}{t}$
BT (Fundamental)	7 - 38	$2.56 \times \frac{1}{t}$

表 1. 晶片厚度與頻率的關係

石英晶體的頻率溫度特性，依其曲線形狀分為兩種類型；一個是三次曲線，另一個是二次拋物曲線。AT 和 BT 切割方式的頻率溫度特性曲線，則分別顯示在圖 2。然而與 AT Cut 相較之下，BT Cut 在溫度特性精確度上較為不足，因此現在幾乎已不再使用此種切割方式。目前採用 AT Cut 切割方式的石英晶體使用最為廣泛，因為它們能夠根據在以室溫為基準的溫度範圍內，產生更小因為溫度變化所產生的頻率誤差變化量。

- 不同切割模式下頻率變化與溫度關係

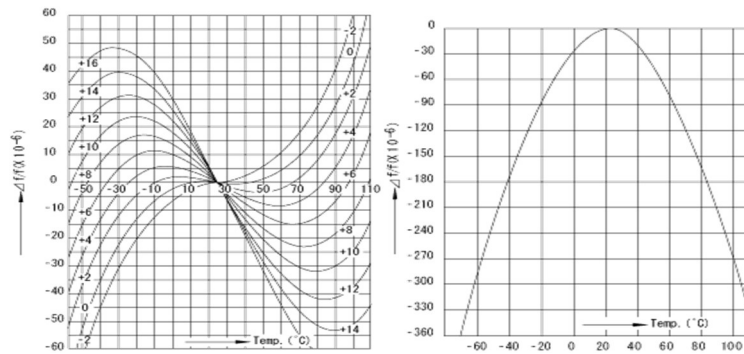


圖 2. 溫度特性曲線
(左圖為 AT-Cut 切割方式；右圖為 BT-Cut 切割方式)

- 依振動模式的區分

目前多以 AT cut 切割方式為主，故以 AT Cut 為例說明，如圖 3 所示。

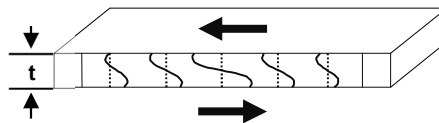


圖 3. 厚度切變振動模式 (AT-Cut, Thickness shear vibration)

◎石英晶體元件等效電路

圖 4 為石英晶體元件簡化後的等效基本電路。

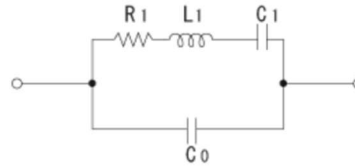


圖 4. 石英晶體等效電路

- 串聯電阻(R1)：Equivalent Series Resistance
石英晶體的等效串聯電阻是以歐姆為單位(kHz range 產品，單位為 $k\Omega$; MHz range 產品，單位為 Ω)。在等效電路中的串聯電感(L1)，和串聯電容(C1)，兩個是相位相反(差 180°)的相等阻抗。在有負載的振盪電路時其結果是相互抵消的，只剩下電阻(R1)特性，來形成串聯諧振。在串聯諧振量測石英晶體阻抗(CI, Crystal Impedance)時，通常會稱此為等效串聯諧振電阻(ESR)，代表振盪能源的損耗(如振盪時所產生的內部摩擦、與石英晶片維持相關的機械性損耗)。
- 等效串聯電感(L1)：Equivalent Series Inductance
石英晶體本身物理性質，與諧振頻率有關，代表振盪部位的質量。又稱為動態電感(Motional Inductance)。
- 等效串聯電容(C1)：Equivalent Series Capacitance
石英晶體本身物理性質，與諧振頻率有關，代表石英晶片的順應性(Compliance)，所以又稱為動態電容(Motional Capacitance)。
- 並聯電容(C0)：Shunt Capacitance
石英晶片的兩面電極間的靜電電容，並聯電容的特性表示與石英的介電係數、石英晶片兩電極的面積大小，以及石英晶片基座的雜散電容量有關，由於與晶體諧振頻率無直接關連，又稱為(靜態電容, Static Capacitance)。

下一系列產品技術文件 - (2)，將會再說明”石英晶體等效電路與振盪頻率特性”