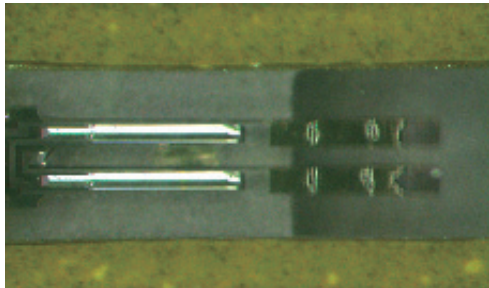


石英元件的過去、現在與未來



石英元件具有穩定的壓電特性，能夠提供精準且寬廣的參考頻率、時脈控制、計時功能與雜訊過濾等功能。此外，石英元件也能用作運動及壓力等感測器，以及重要的光學元件。因此，對於電子產品而言，石英元件扮演著舉足輕重的地位。本系列文章將介紹石英元件的技術關鍵、新興製程與應用領域，並對這些重點進行整體性的剖析介紹。

作者 Hans Chang

在電子產品的市場上，處理器、控制器或基頻、射頻等IC元件，總是因其具有特殊性的功能而備受重視。然而，就如同一餐飯中有米也要有鹽，若說IC是電子產業之「米」，那石英元件就如電子產業之「鹽」，同樣是不可或缺，具有舉足輕重的地位。

今日電子產品中的IC元件要能正確無誤地進行工作，仰賴的正是由石英元件所提供的準確時脈信號（即參考頻率），而一旦時脈信號出錯，將導致整個系統大亂和當機的嚴重狀況。從這個角度來看，提供時脈訊號的石英元件就如同動物的心臟一樣，主宰著系統運作的穩定性。因此，為電子系統選用高精確度、高可靠度的石英元件，正是電子產品能穩定工作的前提。

雖然不是每顆IC都得配上一顆石英元件，但只要是電子產品，都免不了需要用到一至多顆的石英元件，由此可以推想這是一個多麼龐大的市場。事實上，石英元件是一個年產量超過百億顆的市場，被廣泛應用於資訊、通訊、消費性及汽車、工業等領域。近來通訊產業蓬勃發展，尤其

是行動電話市場，早已從人手一機轉變為人手多機的情況，加上新產品不斷整合更多的無線及應用功能，相對地需要採用更多的石英元件，自然也帶動石英元件市場持續成長。

不過，電子產業的演進也為石英元件的開發帶來挑戰。目前電子產品市場朝著可攜性的消費性應用及寬頻無線/行動網路發展。當這些產品要求更輕薄、長時間使用和高效能的同時，石英元件同樣也必須朝小型化、低耗電、高精確度、高可靠性的方向不斷前進，其中最顯而易見的趨勢是小型化的要求。以音叉型（Tuning Fork）晶體單元為例，在過去二十年中，其體積從約150mm³縮小到只有1.5mm³，體積縮小幅度達到1/100，而且此微型化之趨勢仍在不斷地進行當中。

當石英晶體愈做愈小，機械式的傳統研磨切割製程已面臨技術瓶頸，而採用半導體光顯影製程（Photolithography process）的QMEMS技術也就應運而生。QMEMS採用先進的精密加工技術，除了讓石英晶體能做得更微小、生產良率更高外，同時也能製作出特殊的結構，並提高

振盪的頻率，讓石英元件得以拓展其應用領域到更廣泛的高頻、感測及光學等領域。

石英晶體特性

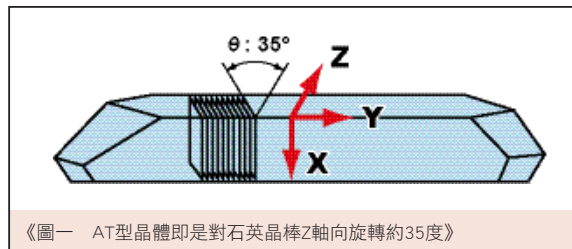
石英又稱水晶（Quartz），它的應用發展其實由來已久。早在1880年法國的居禮兄弟就發現石英晶體具有壓電效應，並逐漸被應用到生活中，其中最為人熟悉的就是鐘錶。今日的石英元件大廠，有很多都是歷史悠久的石英鐘錶大廠，例如Epson Toyocom的母公司Seiko集團，早在1969年即發表了全球第一支石英錶，而Seiko的鐘錶品牌迄今仍是家喻戶曉。他們把製作鐘錶的精密技術延伸到今日電子產品時脈控制所需的高精確性，將其深厚的技術確實傳承下來。石英技術的發展史如下：

- 1880年：皮埃爾·居里（Pierre Curie）發現石英壓電現象
- 1905～1909年：義大利人喬治·史佩茲（George Spezi）成功以高壓釜培育人工水晶
- 1922年：美國學者凱帝（Cady）發明石英晶體振盪器
- 1969年：世界首款石英手錶：革命性的Seiko Quartz Astron 35SQ正式發售
- 1980年代：錄放影機及個人電腦興起，使得石英元件也大放異彩
- 1990年代：個人電腦、行動電話以及車用導航系統需求大幅成長



在石英元件的製造上，早期是以天然水晶為基礎作加工處理，但天然水晶除了十分稀少外，本身還存在混入雜質、裂縫、形狀大小不均勻，以及雙晶現象等問題，使得元件品質難以確實掌控，一直要到人工水晶出現後，石英元件才稱得上開始普及。日本自1960年代開始發展出高性能的人工水晶：採用天然水晶的碎片做為原料，在被稱為「高壓釜」的大型超高壓力容器中長出晶棒，進而能得到大量且品質穩定的石英晶體。

石英其實是由矽原子和氧原子所組合而成的二氧化矽（Silicon Dioxide； Si_2O_2 ）結晶型態，具有高硬度和高熔點的特性。更重要的是石英晶體的壓電效應，可以透過晶體變形和振動來控制發生頻率的快慢。所謂的壓電效應是指當晶體兩側外加電壓，會使得晶體本身產生變形；反之，當晶體受到機械



應力的作用，其兩側亦會產生電位差。利用這種壓電效應，就可產生循環的晶體振盪，並對外提供精準的參考頻率。

另外，溫度變化有時也會影響石英晶體的振盪特性，因而產生頻率訊號的誤差。相較於矽、陶瓷等材料，石英的頻率對溫度（frequency vs. temperature）參數特性相當良好；在適當的設計控制下，石英晶體元件可以實現百萬分之一（ppm）單位等級的頻率誤差範圍。當然，透過電感、電容、電阻所組成的LCR無穩態振盪迴路也可以提供振盪頻率，但此做法除了精確度不佳之外，在頻率對溫度的特性上也遠遠不及石英晶體。

在石英晶體的切割處理方面，對同一顆人工水晶採用不同的切割角度，所取得的晶體切片也會具有不同的振盪及溫度特性。目前主要有AT、BT、CT、DT、NT、GT等不同切割角度，而廠商會針對不同的用途或頻率，從中選擇需要的切割方位角。其中，以AT角度（對石英晶棒Z軸向旋轉約35度）切割的石英晶片稱作AT型晶體，可透過引起厚度變形振盪，產生數MHz到數百MHz頻帶的頻率，是目前應用範圍最廣的一種切割方式。

另外，若石英晶體做成音叉（U字）形，當施與電壓時，音叉型的振盪片會左右振盪，產生kHz頻帶的頻率。這類石英晶體稱為「音叉型晶體」，最常用於為鐘錶或真時時鐘（Real Time Clock；RTC）提供32.768kHz的頻率。圖二為音叉型晶體的局部放大圖，可以看到照片右方的音叉部分因振動（每秒32768次）而顯得模糊。

除了定時的功能，石英晶體的壓電特性更能廣泛的應用在感測領域，例如感測角速度變化的陀螺儀，或利用壓力感測器來衡量氣體及液體的壓力變化。此外，石英晶體也具有特殊的光學特性，例

如能讓極寬波長區的光通過、將光分為兩束（分離／雙折射性）、或改變光的性質（相位／旋光性）等，使石英晶體成為重要的光學元件。目前市面上之光學低通濾波器（OLPF）、偏光板、稜鏡、光柵等等，都是石英產品之應用。

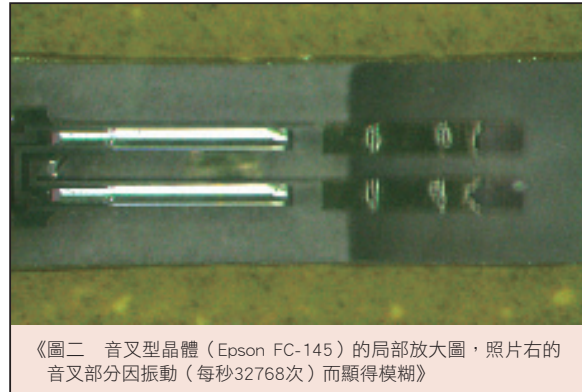
手錶、時鐘及其他的計時器所使用的頻率都是32.768KHz。32768是2的15次方，若將32768除以2，重複十五次即得1。在時計的IC中，只要將32.768KHz（代表石英晶體每秒振盪32768次）的輸入端加入15個除以2的迴路，即可得一秒鐘。早期的石英錶使用8192Hz（8KHz）的石英振盪器，後來為了追求精準，計時的頻率由8192Hz（8KHz）一直提高到65536Hz（64KHz）。業界最後發現，32KHz即可滿足一般對時間精準度的要求，所以32.768KHz便成了廣泛被使用之計時頻率。

石英晶體製程技術的演進

石英振盪頻率的穩定性，主要由切割角度、晶體厚度及晶體Q值等參數來決定。在傳統製程上是靠切割、研磨等方式來製作，因此需要相當精密的機械加工技術才能控制石英晶體元件的生產品質。除此之外，每一顆石英晶片均需獨立進行調校。以音叉型晶體為例，在出廠前需要用雷射切削工序，再對每一顆晶體振盪片前端的電極部分進行精微的頻率調整（請參考圖二右方的晶片音叉前端，有雷射蝕刻的痕跡），而這也是品質管理的關鍵。

除了透過切割的角度外，也能藉由控制石英晶體的厚度來改變振動的頻率，當石英晶體切片的厚度愈薄，晶體單元就能振盪出越高的頻率。不過，以傳統的技術來進行薄片切割卻存在著局限性。然而，高頻的通訊應用愈來愈重要，隨之要求提供時脈控制的石英元件必須有所突破。除了薄型化的限制外，石英元件也被要求做到更小，但傳統製程下的小型化石英晶體卻面臨晶體阻抗（Crystal Impedance；CI）增大所造成的振盪穩定性下降，以及頻率敏感性提高導致振盪頻率偏移等問題。

為了要讓石英晶體更小，同時還保有高精度、高穩定性、高頻和低功耗等特性，因此將微機



《圖二 音叉型晶體（Epson FC-145）的局部放大圖，照片右的音叉部分因振盪（每秒32768次）而顯得模糊》

電（MEMS）技術應用到石英（Quartz）生產製程中的QMEMS製程也因此誕生。QMEMS的核心在於採用半導體製程的光蝕刻（Photolithography）技術，相較於以矽為原料的MEMS，QMEMS以石英為原料來進行微型顯影蝕刻的精密加工，可以使石英晶體的晶片形狀保持均一，進而避免石英晶體元件的CI值、頻率精確度等特性不均。

不僅如此，新的QMEMS製程還能做到許多傳統製程做不到的事，例如在小型化音叉型晶體時，採用微機電技術能夠實現更複雜的晶體成形結構，使音叉的振動臂上形成三維槽體，透過增加電極面積來降低CI值。Epson Toyocom也利用QMEMS做出精細的雙T結構陀螺儀感測器，進而能運用石英晶體振盪的高精確性，來實現高性能的角速度變化感測功能。

此外，透過將晶體晶片的激振部分進行薄型化加工處理，可以在保持晶片強度的同時，實現高頻中的基本波振盪（High Frequency Fundamental；HFF）。相較於以奇次諧波實現高頻振盪的方式，激發基本波高頻振盪的HFF具有高穩定性的特色，適合要求頻率穩定性和高頻化的光傳輸裝置、手機或WiMAX的基地台骨幹網路。

石英元件應用領域

石英元件具有產生頻率、控制時脈和過濾雜訊之功能，其應用範圍涵蓋通訊、資訊、消費性、工業、軍事、醫療等各個領域，其中以通訊領域的應用最廣，成長也最為快速，其產品包括手機、網路設備、基地台等，而以手機應用為最大宗。由日本石英工業協會的統計中可以發現，近幾年石英元件需求數

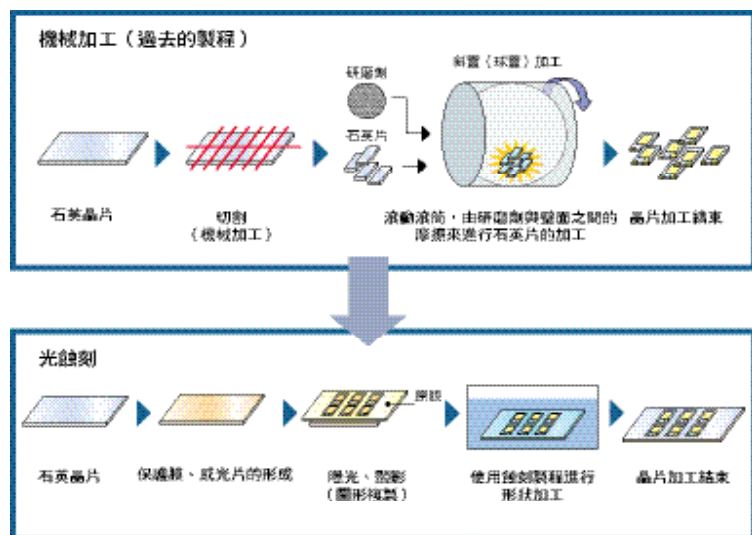
量的成長幅度大於手機出貨量成長數，原因即在於當手機增加越多功能，每支手機所需求的石英元件往往較陽春型機種多出數顆以上。

目前一支多功能手機中往往配置多顆石英元件。在行動通訊方面，射頻（RF）、基頻（Baseband）和應用處理器各需要一顆石英元件，分別是提供MHz範圍的電壓控制，亦即溫度補償晶體振盪器（VC-TCXO）、RTC模組上之KHz等級石英晶體振盪器、GPS端之溫度補償晶體振盪器（TCXO），及用於負責處理其他功能的處理器之石英晶體（Crystal）。至於照相模組、多媒體播放功能、藍牙、Wi-Fi、RFID、USB、行動電視等功能，也需要配置至少一顆石英晶體。此外，目前風行的照相模組本身還需要配置低通光學濾波器，因此石英元件使用量相當大。當然，手機業者也能透過多重時脈產生器等方式來減少單一手機中石英元件的用量。

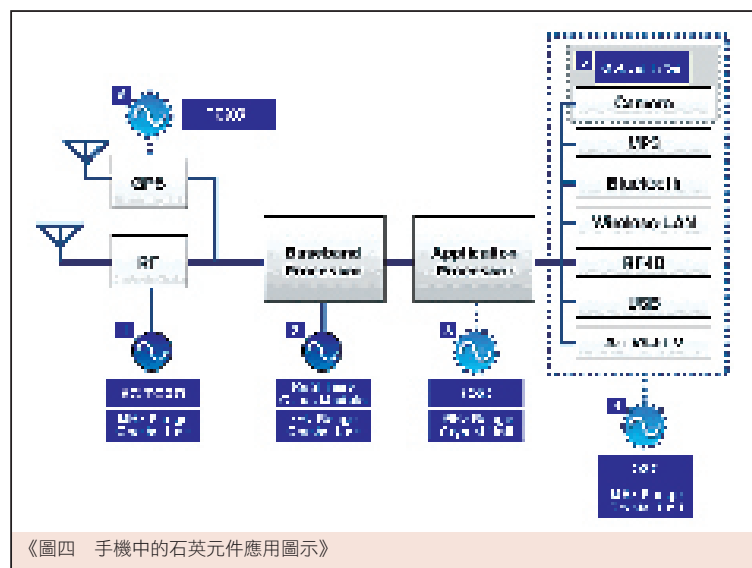
在資訊與消費性領域，石英元件的數量和產值都在穩定成長中，原因是包括小筆電、遊戲機、數位電視、數位相機等市場規模仍在擴大中，對石英元件的需求也隨之增加，未來相當具有成長潛力。另一個值得注意的市場是汽車電子，舉凡車用遙控系統、電子收費系統、胎壓偵測、安全氣囊、溫度控制、還有各種安全偵測設備等，皆須使用數量不等的石英元件。在汽車控制電子化的潮流下，市場成長幅度極為快速，是僅次於通訊市場的石英元件需求來源。

結語

自第一支石英錶面世以來，石英元件在人們的生活中扮演重要角色已逾半個世紀，其功用除了參考頻率與定時功能外，也能提供感測與光學上的關



《圖三 機械加工與QMEMS光蝕刻製程比較》



《圖四 手機中的石英元件應用圖示》

鍵性功能。這也使得其應用範圍愈來愈廣，包括通訊、資訊、消費性及汽車電子等市場皆在穩定成長中。在此同時，微型化與高頻應用的需求，也迫使石英晶體的製造從傳統的切割研磨製程轉向微機電製程。

（本系列文章將繼續介紹石英元件關鍵技術與新興應用領域，下期將探討電子產品中不可或缺的時序元件，敬請期待。）

… 本文作者任職於Epson電子零件事業群 …