為台灣加油打氣專欄(209)石英晶體的製作

李家同

 石英晶體(crystal)在通訊上是非常重要的，我在此用一般人所能懂的名詞來設法解釋這一點。請看圖一。



圖一

 圖一中的訊號是一個正弦波，它有一個頻率。以圖一的訊號而言，這個頻率是3，因為在1秒鐘內，這個訊號震盪了3次。

 如何產生這個訊號?這牽涉到電子學，大家不妨到下面的網站看我的講義。

<http://rctlee.cyberhood.net.tw/rctlee/analogcircuit>

 震盪器的基本原理是需要一個電容和電感組成，當然也可以用電阻和電容。請看圖二。



圖二

 假如我們將開關關閉，電流就可以流通。而這個電流的形狀是正弦波，如圖三。



圖三

 這個正弦波的頻率是由電感和電容的值決定的，我們只要調整L和C的值，就可以得到我們所要的正弦波。可是天下沒有這麼好的事，你可以注意到圖二中沒有任何電力供應，電子線路中總有一些電阻的，電阻會消耗能量，所以圖二的線路所產生的訊號其實像圖四。



圖四

 所有的電子震盪器都要有所謂回授的觀念，也就是說，訊號要能夠送回來。圖五是一個震盪器示意圖。



圖五

 我們假設放大器的輸入端有很多訊號進來，它們都被放大了，但是回授線路中有電感和電容，這個電感和電容決定了哪一個頻率的訊號可以通過，所以只有我們要的訊號可以再回來被放大。我們可以說電感和電容扮演的角色是選擇訊號。如果電感和電容的值不夠精確，我們就很難做到頻率非常準確的訊號。

 可是在通訊中，我們必須要有能力產生我們所需要的訊號，也就是說，我們訊號的頻率要完全符合規格。這不是容易的事，這種線路叫做phase lock loop(PLL)。在PLL中，我們還是要有一個非常準確的電感和電容，這個線路是由石英晶體提供的。我們有時候將它稱為石英晶體震盪子，它並不是一個震盪器，它是震盪器中的一個被動元件。

 石英晶體是由天然石英所製作而成的，以後我會解釋這個製作的過程。至於為什麼石英晶體可以被用來當作電感和電容，請看圖六。



圖六

 石英晶體用兩片金屬將它包住，可以使它的震盪的更好。假設我們在石英晶體的金屬上加上一個刺激電壓，所謂刺激電壓乃是一個極短的電壓，我們可以說這個電壓稍縱即逝。石英晶體是一個壓電材料，也就是說，電壓會使得石英晶體內產生一個機械波，這個機械波有如聲波，可以使得石英變形。這個變形又會使得石英內電子的分佈改變，因此石英內部有了一個電壓，如圖七所示。這個電壓又可以使得石英變形，如此周而復始，我們會在石英內部產生一個正弦波。



圖七

 當然這個正弦波不會持久的，因為任何物質總會有一些阻抗，所以這個正弦波充其量會像圖四的訊號。雖然如此，我們可以將這個石英晶體看成電容和電感，所以我們將這種石英晶體稱為晶體震盪子。它們也有一個等效電路，如圖八。



圖八

 石英的來源是礦物，我們不能用天然的石英來製成震盪子。石英的製程相當複雜，圖九可以大概地顯示這個製程。



圖九

 天然的石英是沒有壓電效應的，要使得石英材料有壓電效應，使用的方法是水熱合成法，這種方法是要將石英晶體透過高溫和高壓製成的。我們首先需要一種種子的石英，原始的種子來自礦物。種子石英必須品質非常良好，現在我們所用的種子石英是人造的，當然是透明、沒有雜質，晶片內的組織非常整齊。

 圖九的爐子有3~4層樓高，直徑2公尺，爐壁不能有任何焊接縫，必須一體成型。如果一個國家的國防工業非常好，一定會造這種爐子，因為這種爐子等於炮管。

 人造石英的製程大約如下:

(1)要將石英清洗

(2)要加化學物品，使得石英溶解

(3)將被製造的石英放在爐子下面，將種子石英放在爐子上層。

(4)將下層的石英加熱，使石英熔解化成氣體，往上升沉積到種子石英，使其變厚。

(5)種子石英成長厚到一個程度以後就可以停止

 一個製程需要3~4個月。

 所製成的石英可以對應一個電容和電感的線路，電容和電感的值決定一個頻率，以上的製程做完以後，其實頻率不可能是符合我們規格的。要達到我們所要的規格，就必須再利用石英的一個特別性質，那就是石英內部的電容和電感與質量有密切關係。

 我們並不知道石英的電容和電感值，但是我們可以測量電感(L)和電容(C)的乘積(LC)，因為LC的值就決定了頻率。這可以用電子電路來測量，石英的質量如果有些微的改變，它的LC值就會改變。石英的質量如果改變了1兆分之1克(1兆等於1萬億)，LC就有所改變。

 因此，我們的做法是將石英的金屬片利用非常精密的設備，每次刮掉非常薄的金屬，對於石英來講，就是質量改變了，當然LC值也就改變了。我們當然需要一個設備可以精確地量測LC值，如果仍然不滿意，可以再刮一層金屬，每一層的厚度都是奈米級的(1奈米等於十億分之1米)。

 希望大家知道，我們的目的是要製造一個材料，它等於一個電感串連一個電容，而它的LC值是可以非常精確的，用任何別的方法都不可能做到。從以上的討論可以看出，要得到如此精確的LC值，是要有能力刮掉一層奈米級厚度的金屬，而且也能測量非常精確的頻率。我們可以說，我們的工程師是在從事精密工業的。

 當然，我沒有辦法能夠再詳細的介紹石英震盪子的製程，因為還有切割的問題。我們都應該知道，每一個步驟都牽涉到很多物理上的問題，只有學材料科學的人能夠懂得這些學問。值得大家知道的是，這些工程師不僅對於零組件的製程有所了解，也知道電子電路。這裡的電子電路當然都是類比電路，而且都是複雜的類比電路。

 我們常常提到5G工業，5G有關通訊，通訊設備中不可能避免一個準確LC的零組件。我們國家有能力製造石英晶體震盪子，乃是一件很好的事情。這種製造工業是需要相當多有學問的工程師做研究的，不僅僅要懂得電子學，也一定要對材料科學有相當的了解，而材料科學又建築在物理上，所以我們實在應該鼓勵工程師好好地將物理念好。