為台灣加油打氣專欄(256)國人自製的掃描式電子顯微鏡

李家同

吳政龍

這次要介紹的公司是專門製作掃描式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope: SEM)的公司，這種電子顯微鏡的原理是利用電子束發射到量測的物體表面上，並由感測器接收電子或原子受激發反射的波(電子本身有波粒二象性，讀者可以詳閱量子力學)，並解析信號成像，由於電子波長比可見光短，最短可達100,000倍，因此解析度最高可以到大約0.1奈米，相較於可見光的解析度200奈米，可以說高很多，因此可以用來觀測原子等級大小的物體。

這家公司的電子顯微鏡可以用在半導體製程上，所以不僅有電子顯微鏡，還要配上機械手臂以及定位設備。

掃描式電子顯微鏡的原理如圖一。

磁力透鏡

s

s

n

n

s

s

n

n

s

s

n

n

電子束

電子感測器

反射之電子或放射線

待測物

圖一、掃描式電子顯微鏡示意圖

電子顯微鏡的原理講起來很簡單，但工程上卻非常困難。首先，必須很精準地控制電子束，加上空氣會吸收電子，因此必須保持在高度真空環境下操作，如何精確地控制電子束以及保持高度真空是很困難的事情。

這間公司利用磁力透鏡的方式來控制電子束，這架電子顯微鏡電子束的直徑是20奈米(1奈米等於10億分之1米)。所謂的磁力透鏡聽起來很玄，實際工程上是利用多個磁力環去控制電子束，如圖二。

s

s

n

n

s

s

n

n

s

s

n

n

圖二、磁力透鏡組示意圖

第二個困難點是真空腔體製作難度高，由於這種電子顯微鏡需要用兩種不同的金屬進行異質銲接，同時保持腔體的高真空度，整個腔體如圖三所示。

電子發射源+磁力透鏡腔體

放置待測物之腔體

圖三、電子顯微鏡腔體示意圖

不同材質的金屬焊接在材料工程上是高難度的事情，尤其是需要高真空度的情況下特別棘手，除了要克服不同金屬材料間的融合問題，還得避免材料內部產生空隙，破壞真空度。之所以要用不同的材料，主要是磁力透鏡的部分必須使用不導磁也不殘磁的金屬材料，而待測物腔體一般則是用不銹鋼製作，因此工程實務上必須克服很多問題。

第三個困難是真空的控制問題，在磁力透鏡部分的真空度必須保持10的-7~-9次方Torr (1 Torr~=1mmHg )的真空度，而待測物的部分則約 10的-3次方 Torr，由於這種電子顯微鏡是放在半導體產線做產線上量測的，因此能夠快速地從一大氣壓(76Torr)快速變成真空狀態，是高困難度的事情，一般抽真空需要十多分鐘到數個小時不等，但半導體產線無法忍受如此久的抽真空時間，因此，要如何快速並有效地控制真空是需要很多巧思的。

第四個困難點是待測物的定位，由於電子顯微鏡的電子束部分是固定的，因此待測物是放在待測物腔體內的XY移動平台上，這種平台的定位誤差為200奈米，重複誤差為1~2um(1um等於100萬分之1米)，可以說是精密的機械，但這樣的精度還是無法應付電子顯微鏡的需要，因此他們還使用了定位點辨識的方法來確認待測物的位置。

第五個困難點是，製作電子束發射源，電子發射源主要是以燈絲和萃取電極組合而成，燈絲是市售品，容易取得，但是萃取電極則得自行設計製作，這個也是需要很多的理論基礎和設計能力。

第六個困難點，也是困難度最高的部分，如何感測並分析信號，受控制的電子束打到待測物體的表面時，會產生反彈或是能量躍遷激化的回波，也有機會被原子吸收掉或是穿透，因此感測器收集到的信號是很複雜的，要如何把這些複雜的信號解析並重建成待測物的表面樣貌，是非常困難的一件事，這間公司厲害的地方是自己製作感測器，並擁有完整的信號分析能力。

這間公司的電子顯微鏡放大倍率可以到8萬倍，已經可以被晶片製造公司所接受。

值得大家知道的是，這個電子顯微鏡很多的元件都是在國內製造的，電子束發源器中的燈絲是要買來的，但是萃取電極是國人自行設計及製造的。除此以外，磁力透鏡、感測器、機械手臂、定位設備以及感測器內的軟體，都是國內工程師設計製造的。由此可見，我國工程師的水準是相當高的。

要能製作這種精密的設備，工程師必須很懂得物理中的電磁學。希望大學能夠注意電機系學生對於電磁學的程度。

世界上能製造電子顯微鏡的國家是不多的，我國能有這種自製的設備，值得大家感到鼓舞。也希望大家知道，我們已經進入精密工業的時代。我們應該感謝這家公司工程師的埋頭苦幹。我們也應該鼓勵這家公司的工程師們下定決心將放大率更加提高，以能夠和先進國家的電子顯微鏡媲美。

希望政府知道，這種設備對於半導體製程是相當重要的，政府應該有計畫的扶植國內發展這一類精密的儀器。