

硬式磁碟機的物理技術進展

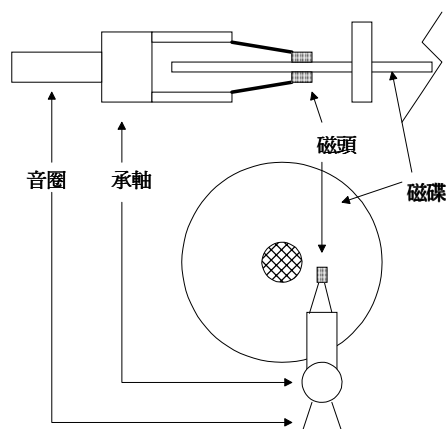
鍾華福

中央研究院原子與分子科學研究所

隨著電磁、薄膜、機械、及電子技術的進展，硬式磁碟機的儲存密度已經超越了每平方吋 10 GB；並且正在以每年加倍的速度增長。相信大約一至兩年之後，大家不難在市面上以低廉的價錢買到 100 GB 的硬式磁碟機。由於硬碟機涉及的物理及技術領域甚廣，要維持儲存密度近乎瘋狂的增長，就必須在各物理及技術領域及整合各領域的能力上，不斷尋求進步及突破。本文將會簡介硬碟機的重要物理技術進展。

一、硬碟機技術

硬碟機包含三個主要部份——讀寫磁頭組 (HSA)，磁碟，以及電子控制板。一般硬碟最少有一片磁碟及一組 HSA (圖一)。每組 HSA 可以接上一隻或以上的磁頭。由於磁碟有上下兩面可以使用，所以一般硬碟機也裝上兩隻磁頭。當磁碟轉動時，碟面的空氣會被帶動，當這一層高速運動的空氣碰上磁頭時，就會產生一層空氣潤滑層，把磁頭輕微地推離碟面。這時，磁頭就可以在碟面上飛馳而不會有摩擦的問題。因為有磁碟轉動而產生的相對運動，磁頭只要在碟面保持不動，便可以讀寫一條圓形的磁軌。而讀寫另一條磁軌時，只要往碟中心或邊緣移動一下便可以。



圖一：硬碟機的基本配備

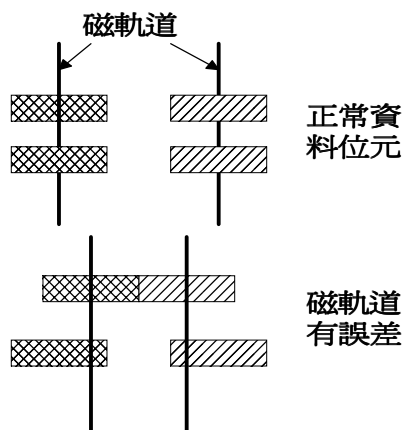
資料是以水平磁化方向的變化，記錄在碟面資料區內的磁性材料層。儲存密度(AD)可以用式(1)計算

$$AD = TPI \times BPI \quad (1)$$

其中 TPI = 每吋含有磁軌道數目

BPI = 每吋含有資料位元數目

在現今的磁碟技術中，TPI 大約是三萬至五萬，而 BPI 則從四十萬至五十萬^[1]。或許大家會問為甚麼 BPI 比 TPI 要大上十倍？這是由於 TPI 的增長受到讀寫元件的物理寬度及磁軌定位精準度的限制。當中涉及幾個高科技範疇，因此發展比較慢。而 BPI 只涉及各元件的運作頻率，因此發展比較快。例如，若 $TPI = 40000$ ，磁軌之間的距離就只有 600 奈米。假若能容許磁軌定位有 20% 至 30% 的誤差，那麼資料位元的寬度，就只有大約 300 奈米，而讀寫元件也要有相應的寬度(圖二)。這些參數已經接近音圈力矩驅動定位方法^[2]以及薄膜刻蝕法的現今技術限制^[3]。其實要製造細小而複雜的元件並不容易，而要令這些元件有足夠的敏感度，讓讀寫無誤就更加困難。以下為大家介紹硬碟機主要物理技術的進展。

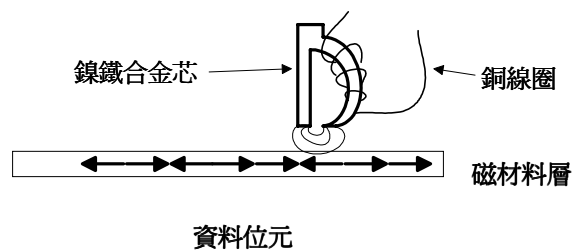


圖二：當磁軌有誤差時，為了避免資料重疊，位元的寬度要相應地減少。

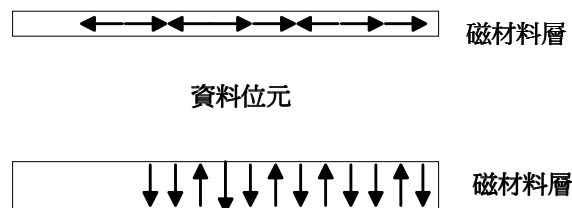
二、讀寫物理技術

現今的讀寫元件，都是用薄膜方法製造。讀和寫元件是使用完全不同的物理機制。在寫方面，是

沿用古老技法——電磁感應。如圖三(a)所示，用銅線圈纏繞鎳鐵合金芯，當有電流通過銅線，合金芯就會產生磁場，只要在芯中製造一個細小缺口，磁場便能夠被引導到芯外，從而到達磁碟面，做出寫的動作。這一種寫訊號的方法被廣泛地應用在磁帶、磁光碟系統內。相對於讀資料的技術發展，寫的技術未免顯得落後。而由於受到材料內磁力線密度的限制，當寫的元件越來越小的時候，就會有磁力不足的問題。因此，這方面的發展是極需要新的寫訊號方法或新的材料配合。另外，訊號記錄的方法亦會影響這方面的發展。現在的磁化方向是平行於碟面，這種方式容許的儲存密度有限。因此，運用磁化方向垂直於碟面的記錄方法正在開發中^[4]。



圖三 (a)：電磁感應磁原件

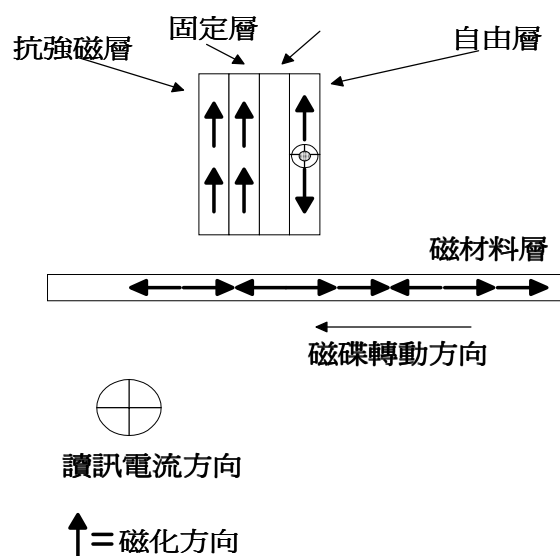


圖三(b)：垂直記錄法容許更高的儲存密度

在讀訊號方面，則運用了較為新的物理原理——巨磁電阻自旋閥^[1,5]。典型的自旋閥含有四層薄膜，分別是抗強磁層、固定層、非磁性層及自由層(圖四)。自由層的磁化方向會受到外加磁場的影響，而自旋閥的電阻又取決於自由層的磁化方向。固定層的磁

化方向是垂直於磁碟面，而當自由層的磁化方向與固定一致時，自旋閥的電阻最小。而當兩者方向有 180 度差距時，電阻最大。

由於巨磁電阻技術不斷發展，它的磁電阻變化已達到十多個百分比^[6]，相信在新的技術能夠被應用之前，巨磁電阻是足夠應付硬碟的發展。而在眾多的替代材料中，最有潛力被應用的，是穿隧式磁電阻^[7]。由於這種新材料對於長晶技術的要求十分之高，相信仍需要多方面技術突破，才能夠達到應用階段。



圖四：巨磁電阻結構

三. 磁頭飛行及定位

若果沒有飛行及定位技術的配合，薄膜磁頭也不能應用在硬碟中。現代硬碟的轉速可達到每分鐘一萬轉，而磁頭就是要在這樣高速運動的碟面上，利用空氣流動所產生的浮力，與碟面保持大約 20 奈米的間距(飛行高度)。太高與太低的飛行高度也會

直接影響讀寫訊號。或許大家可以從以下的比喻中，更了解這是甚麼樣的要求。假若將磁頭放大到好像波音 747 飛機般大小，當磁頭運作時，就好像 747 飛機在一毫米的飛行高度飛行一樣，而且飛機不能飛高或飛低 0.3 毫米。可以想像，要達到這樣的要求，飛機控制飛行高度的能力要十分之強，而地面亦需要十分平滑。

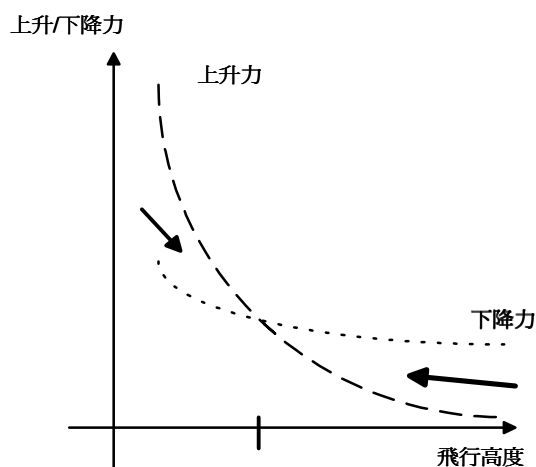
磁頭與碟面接觸的面，名叫空氣承托面 (ABS)。它是一面刻有圖案的面(圖五(a))。當這一面在碟面飛行時，就會產生上升及下降的浮力。若這些力，與地心吸力及從連接磁頭的懸臂外加的力，互相抗衡而達到平衡，磁頭便會保持一定的飛行高度(圖五(b))。

隨著飛行高度不斷下降，相信不久將來，飛行高度就會下降到達空氣分子的平均自由路徑長度，或許那就是最低的飛行高度吧。



(a) 典型 ABS

圖五：空氣承托面 (ABS) 的特徵



(b) 空氣承托面(ABS)的力平衡點

圖五：空氣承托面(ABS)的特徵

除了飛行高度外，磁頭的定位也是一項困難工作。現代磁碟都是用音圈力矩來定位，這種方法是依賴回饋訊號來確定磁軌的位置。精準度可以達到接近 100 奈米，再密一點的磁軌便要用上 PZT 原件輔助定位^[8]。PZT 原件的長度是會隨著外加電壓而改變。很多現代精密儀器也要用上。例如原子力顯微鏡、掃描穿透電子顯微鏡等。

四. 薄膜製造

無論是磁讀寫原件或是 ABS，都是透過薄膜刻蝕法或是薄膜生長來製造。而且這些原件對表面或介面的厚度、結構及平滑度，都有十分之高的要求。因此，薄膜及表面物理知識，對於磁頭的製造，是十分重要。要製造磁讀寫原件，需要十多個光罩，與製造半導體原件相似，彼此都涉及繁瑣工序及尖端科技。用光罩方法可以在平面刻劃出大約 100 奈米寬的原件。再窄一點的原件，便要應用別的方法。

而其中聚焦離子束顯微鏡最有可能被應用在製造磁頭上^[4,9]。原因是這種技術現在已經能夠被有限度使用。如圖六所示，筆者的奈米寬名字便是用聚焦離子束顯微鏡，刻劃在磁讀寫原件上。



圖六：用聚焦離子束顯微鏡刻劃出奈米寬字體

至於 ABS，由於有機會與磁碟面接觸，因此，需要加上一層大約 5 奈米厚的類鑽石(DLC)薄膜。使用 DLC 是因為它的堅硬度及平滑表面。

五. 總結

由於硬碟所涉及的技術十分廣泛，實非三言兩語可以一一說明。本文集中介紹了硬碟的重要物理技術進展，望能對讀者有所啓思。作者認為，以硬碟機的優點——快、平、容量大、體積可以小、可靠以及技術進展快，是不容易被其他現有的儲存技術所取締。反之，由於硬碟技術不斷改進，或許它能夠在資訊年代中，進佔新的應用市場^[10]。

參考資料

- [1] IBM website, <http://www.storage.ibm.com>;
Seagate website, <http://www.seagate.com>;
Engelke, R, Electronic Design, **47**, Is7, 24(1999).
- [2] Oboe, R., Murari, B., “6th International Workshop on Advanced Motion Control”, Proceedings: IEEE, Piscataway, N. J., USA, XXXVIII+635, 479(2000).
- [3] Bartholomew, D., Industry Week, **249**, Is15, 33(2000).
- [4] Shizroev, S.K., Kryder, M.H., IEEE Transactions on Magnetism, **35**, Is3, 2544(1999).
- [5] Binasch, G., Grunberg, P., Saurenbach, F.,
and Zinn, W., Phys. Rev. B **39**, 4828(1989);
Nesbet, R.K., IBM Journal of Research &
Development, **42**, Is1, 53(1998); Geppert,
L., IEEE Spectrum, **35**, Is3, 24(1998).
- [6] Sining, M., Zheng, G., Journal of Applied
Physics, **87**, No.9, 6662(2000).
- [7] TDK Corporation, Nikkei Electronics, **774**,
177(2000).
- [8] Tang, Y., Chen, S.X., IEEE Transactions
Magnetism, **32**, Is5, 3851(1996).
- [9] Gorman, G.L., Vo, L., IEEE Transactions on
Magnetism, **33**, Is5, 2824(1997).
- [10] Wakabayashi, T., Serita, Y., IEEE
Transactions on Magnetism, **33**, Is5,
2659(1997); IBM Website:
<http://www.storage.ibm.com> .

