

第 1 章

薄膜與新科技技術

- 1.1. Internet 與薄膜技術
- 1.2. PDP—電漿電視
- 1.3. 發展迅速的 TFT-LCD
- 1.4. 生物電腦與薄膜技術
- 1.5. 正在進展中的人造大腦
- 1.6. 微機械使重症患者起死回生
- 1.7. 加速度感應器
- 1.8. 實現 MEMS 的薄膜與微細加工技術
- 1.9. 薄膜製作簡介
- 1.10. 氣化源種種
- 1.11. 薄膜加工簡介
- 1.12. 原子的人工組裝
- 1.13. 碳奈米管和富勒烯

1. 1. Internet 與薄膜技術

當今資訊社會，人們藉由電視機、收音機、手機、Internet 等，可即時看到或聽到世界上所發生的「鮮」、「活」新聞，如同人們長上了千里眼、順風耳一樣。

之所以能做到這一點，首先需要攝影機、數位相機、錄音機、儲存裝置等採集圖像及聲音資訊，並對其進行編輯加工。更重要的是，需要由微波、光纖、通訊衛星、電腦等構成的 Internet，並藉由天線及光纖等將這些 Internet 與一般家庭、辦公室、車輛等交通工具相連接，構成通訊網路（圖 1-1）。在上述採集、處理資訊及通訊網路設備中，都需要數量巨大的電子元件、電子迴路、積體電路等。而薄膜技術是製作這些電子元件、電子迴路、積體電路的基礎。

經過通訊網進入家庭、辦公室乃至車輛之類交通工具等的資訊，再由收音機、電視機、電腦、錄放影機、傳真機、電話機、手機等多媒體終端等傳遞到用戶。所有這些機器的心臟部分，也都離不開以薄膜技術為基礎而製作的電子元件、電子迴路、積體電路等。

此外，現在電視機、空調、電子爐、洗衣機都具有遙控功能，採用筆記型電腦及手機等可攜終端設備，從出差或上班地點也能操作上述家電設備，這種系統有些已達到實用化。今後，隨著 Internet 的進展擴充以及數位家電價格的持續下降，這種遠距離控制系統會逐漸普及。按計畫、遠距離、隨心所欲地操縱自宅家電已不是遙遠的事情。

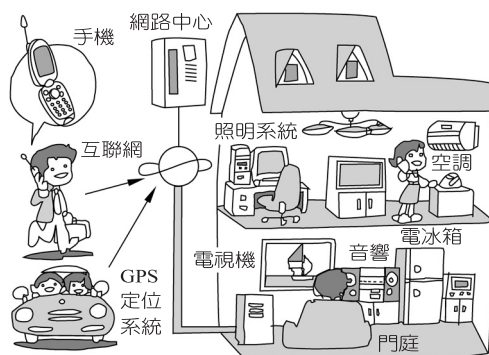


圖 1-1 通過互聯網可以按計畫、遠距離、隨心所欲地操作自宅家電

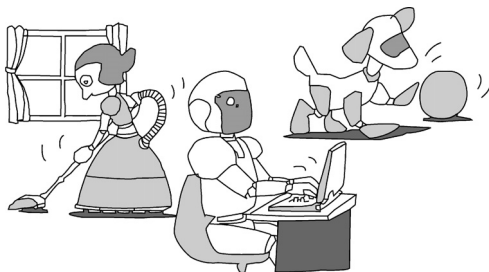


圖 1-2 可代替人工作的機器人將出現在我們面前

如果著眼於未來，那麼接近人類步行方式的機器人、能表現感情的機器人也將紛紛登場。不久的將來，隨著具有更優秀的控制能力，具有與人類相同五官能力的機器人開發成功，它們可以從事家務及車間勞動，從而大大減輕人類的負擔。屆時，可代替人工作的機器人將出現在我們面前（圖 1-2）。為實現這些夢想，薄膜也產生舉足輕重的作用。

1. 2. PDP—電漿電視

人們天生喜愛圖像。藉由作為人一機界面的顯示器，人們可以獲得資訊，交流情報，參與社會，享受生活樂趣。在資訊社會飛速發展的今天，顯示器行業充滿活力，並已成為世界電子資訊工業的一大支柱產業。

21 世紀進入了以電漿顯示器（plasma display panel, PDP）、液晶顯示器（liquid crystal display, LCD）為代表的平面顯示器（flat panel display, FPD）時代。畫面對角線超過 1 m（到 2005 年已有超過 2.5 m 的產品），厚度僅有幾公分，圖像清晰、逼真的壁掛式 PDP（圖 1-3）已在機場、車站、會議室乃至家庭中廣泛採用。目前，可折疊捲曲的顯示器正在研究中，而且人們欣賞立體畫面的時代已為期不遠。與此同時，發光二極體顯示器（light emitting diode, LED）、有機電致發光顯示器（organic electroluminescent display, OLED，又稱有機 EL）等也在急速發展之中。

21 世紀將是平面顯示器的春天，在電子顯示器的百花園裡，各種類型的平面顯示器將大放異彩。要進行影像逼真的動態顯示，都需要數以百萬計的顯示單元—像素；要製作這些像素並實現每個像素的開斷，需要採用厚度在數微米以下的金屬電極、透明電極、

4 ■ 薄膜技術與薄膜材料



圖 1-3 畫面對角線 106 cm (42 型) 的電漿壁掛彩色電視
(2005 年已有 102 型產品問世)

半導體膜及絕緣膜等。而這些都離不開薄膜技術和超微細加工技術。

讀者在體育場、繁華街道也許都見過數十米寬的巨大電視牆。過去，這類電視牆一般是以 1~2 平方公分的小型布勞恩管或映像管構成一個個的像素，總計要用近百萬個，藉由畫面組合，實現動態圖像顯示，但其重量要達數噸以上。目前這種巨型電視牆多由一個個發光二極體 (LED) 組合而成。但上述這些電視牆的圖像解析度不高，難以精細顯示。今後，PDP 和 LCD 也有可能在此領域大顯身手。

圖 1-4 表示 PDP 截面結構的實例。這種顯示器的工作原理如下。藉由顯示電極 (匯流電極) 和選址電極 (數據電極) 上施加的電壓 (脈衝形電壓)，在二者交點處引起氣體放電；藉由控制放電位置和放電的強弱，實現豐富多彩的動態顯示。由上述氣體放電產生的電漿中射出紫外線，該紫外線照射塗佈於放電胞壁的螢光層 (發射 R (紅)、G (綠)、B (藍) 三原色光的螢光層)，發出相應彩色的光，由此實現全色壁掛電視。

實際上，室內照明用的日光燈也利用了氣體放電的原理，只是其玻璃管內壁上塗佈的是發白光的螢光體，在放電電漿產生的紫外線刺激下發白光而已。

製作 PDP 的關鍵是在對角線 1 m 以上大尺寸玻璃板表面形成數以百萬計的放電胞。放電胞的節距一般為 200~400 μm ，胞間障壁寬度為 50 μm ，高 150 μm 。匯流電極由透明導電膜作成，選址電極由 Cr-Cu-Cr, Cr-Al, Ag 膜作成。為保證電極壽命，需要在前玻璃基材表面塗佈 MgO 保護膜。要製作這些電極及各種膜層，顯然離不開薄膜技術及微細加工技術。

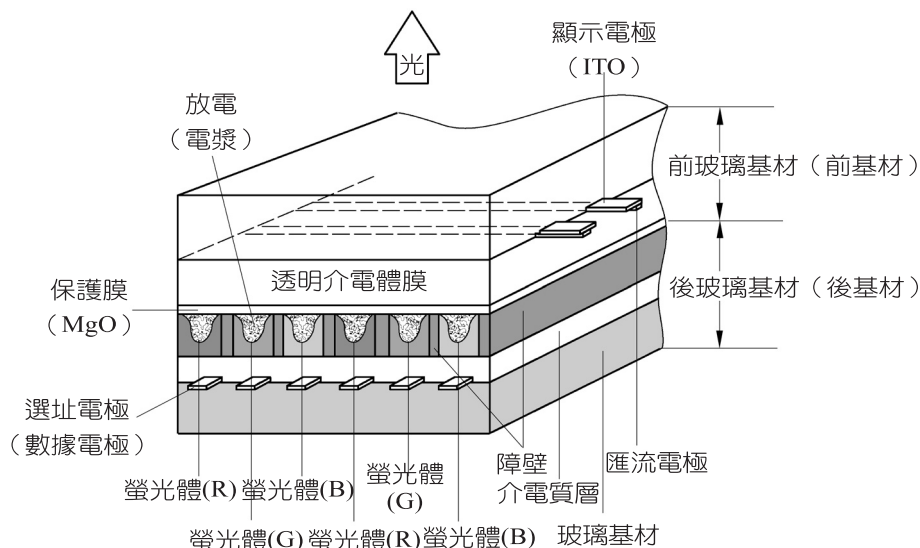


圖 1-4 PDP 斷面結構的實例

(電漿顯示器，各示出 RGB 兩個像素，實際產品中有數十萬至數百萬個像素)

1. 3. 發展迅速的 TFT-LCD

一般認為，PDP 在大螢幕彩色電視機領域沒有競爭對手。正當 PDP 天馬行空、獨來獨往，準備在大螢幕彩色電視機領域大顯身手時，近一兩年卻突然殺出大螢幕 TFT-LCD 彩色電視機。先是 Sharp 推出 37 吋液晶彩色電視機，Sony 在 30 吋以上型奮起直追。正當 Sharp 發表「50 吋液晶彩色電視機也能製造」時^①，LG 在 2004 年推出 57 吋，韓國三星卻在 2005 年 10 月展出 82 吋液晶彩色電視機試製品。目前大螢幕 TFT-LCD 顯示器發展迅速，預計從現在起 30 吋以上液晶彩色電視機的年平均增長率將超過 200%。韓國三星和 LG 公司的第八代生產線（2300 mm×2600 mm）將於 2007 年第 3 季運行。

我們對液晶顯示器並不陌生，電腦電視牆、電子錶等早已成功應用。TFT-LCD (thin film transistor liquid crystal display) 即薄膜電晶體液晶顯示器。所謂液晶是指在某一溫度

^① 2004 年 10 月，Sharp 公司在日本橫濱舉行的展覽會上，展出 65 吋產品。

6 ■ 薄膜技術與薄膜材料

範圍內，從外觀看屬於具有流動性的液體，但同時又是具有光學雙折射性的晶體。液晶的流動性和各異方性正好為圖像顯示所利用。

在液晶顯示裝置中，需要組合利用兩塊偏光板。如圖 1-5(a) 所示，偏光板具有僅使沿光的透過軸（偏光軸）方向振動的光透過，而阻斷沿其他方向振動的光透過的功能。因此，若佈置兩塊偏光板，使其偏光軸垂直，則光不能透過兩塊偏光板。在液晶顯示器中，如圖 1-5(b) 所示，液晶灌入如上佈置的兩塊偏光板之間的空間中。液晶分子依靠與其接觸的取向膜（見後面的圖 1-7）呈定向排列。取向膜一般由聚亞醯胺製作，在其表面藉由定向摩擦等形成縱向劃傷，液晶分子趨向平行於此劃傷定向排列。若使兩塊這樣的取向膜正交佈置，如圖 1-5(b) 中心部位棒狀液晶分子排列的那樣，液晶分子取向逐漸發生 90° 旋轉。如圖 1-5(a) 所示，藉由第一塊偏光板的偏光，在沿液晶分子傳輸的過程中，其偏光軸會發生 90° 的旋轉，所以該偏光也能藉由第二塊偏光板。

那麼，當在電極上外加電壓，情況又將如何呢？如圖 1-5(b) 四周的四根垂直棒所示意，液晶分子呈垂直排列。在這種情況下，由於光的透射軸不發生旋轉，因此光不能透過。換句話說，藉由外加電壓的有和無，就可以實現光的透過與截止，即由電開關實現光開關。

上述外加電壓的控制，是藉由圖 1-6(a) 所示的薄膜電晶體（thin film transistor, TFT）完成的。圖 1-6(b) 表示與液晶分子運動相關的 4 個像素的實例。

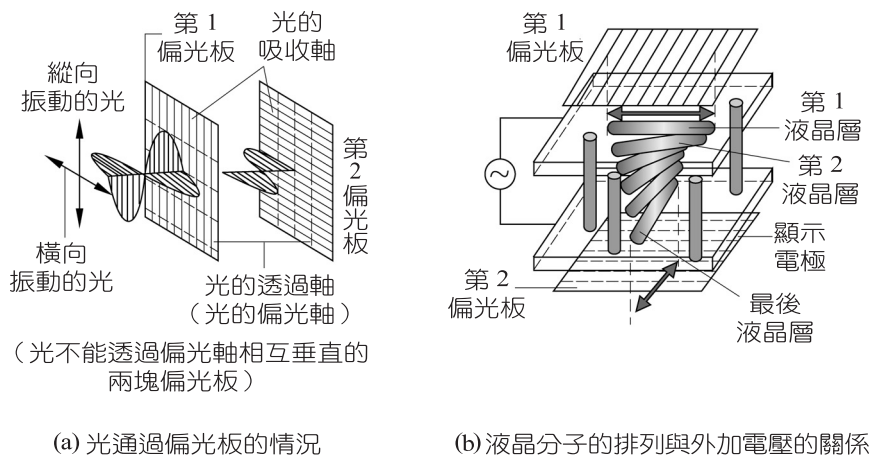


圖 1-5 液晶顯示器的工作原理

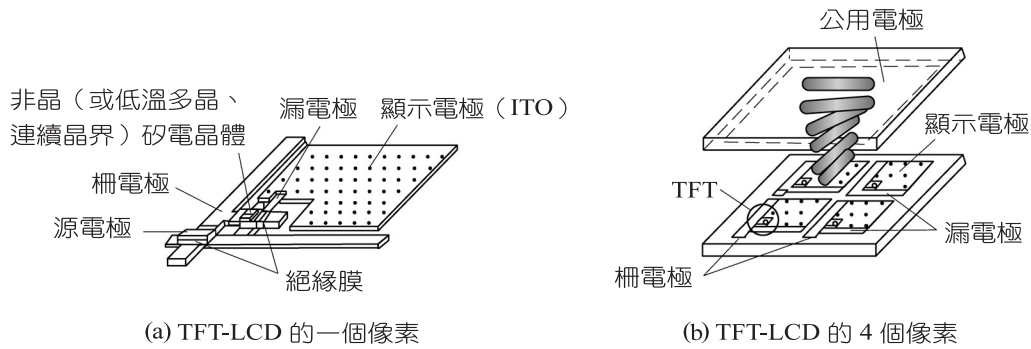


圖 1-6 薄膜電晶體 (TFT) 與顯示像素

圖 1-6(a) 所示一個像素的大小大致在數十微米，薄膜電晶體的特徵尺寸一般為 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 。製作薄膜電晶體需要在玻璃基材上形成非晶矽或多晶矽半導體膜，還要形成源極、柵極、汲極，每個像素都要有共用電極和顯示電極 (ITO 膜)。此外還需要產生 RGB 三原色的濾色膜等。所有這些都離不開薄膜技術和微細加工技術。

圖 1-7 表示實用化液晶顯示裝置的實例。偏光板、取向膜及電極等都要做在上、下兩塊玻璃板上。兩塊玻璃板由塑膠或玻璃微球（或棒）隔離子隔開，隔離子的尺寸決定兩塊玻璃板的間隙。由背光源發出的光經導光板遍佈整個顯示裝置，最後由圖 1-7 中所示的正面射出。這種光在液晶開關的控制下，藉由濾色膜可顯示出全色動態畫面。

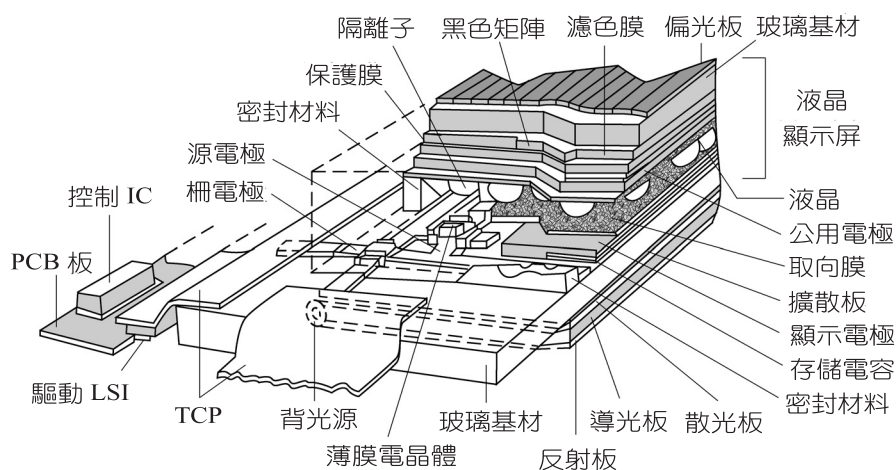


圖 1-7 TFT-LCD 製成品中的一個顯示像素
(每一個顯示器中有數萬至數百萬個像素)

8 ■ 薄膜技術與薄膜材料

近年來，TFT-LCD 在提高亮度、擴大視角、提高圖像解析度、響應速度及增大畫面尺寸等方面都獲得突破。作為平面顯示器的代表，液晶顯示器在可攜式產品（包括手機、數位相機等），筆記型電腦、監視器、家用電視及超大螢幕顯示器等領域的應用正迅速擴展。

1. 4. 生物電腦與薄膜技術

科學技術的前瞻課題之一，是製作與人類大腦相近的記憶（儲存）系統，實現人工智慧。

關於記憶，已由矽半導體等構成的儲存器來實現。但到目前為止，還未達到具有創造能力和人工智能的水準。目前，科學工作者正藉由小老鼠及兔子的小腦等神經細胞的培養，以實現神經網路功能。進行這項研究，離不開薄膜技術。

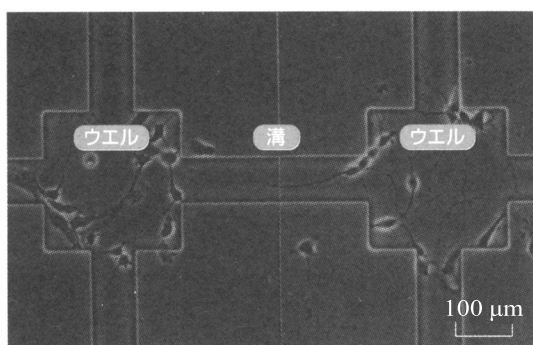
如圖 1-8 (a) 所示，先利用薄膜技術在石英板上製作 $150\ \mu\text{m}$ 見方的阱（well）以及連接阱的 $10\ \mu\text{m}$ 深的溝槽，再在阱中放置大白鼠腦的海馬神經細胞。圖中表示經過 7 天培養後，這些神經細胞的生長情況。可以看出，若在平面上（阱中）培養，神經纖維（synapse，突觸，神經腱）會向四面八方伸出，而在設有溝槽的位置，神經纖維會在溝槽中生長。這樣，隨著神經纖維沿溝槽生長，神經細胞與神經細胞之間實現接觸、連接，進而形成迴路網路。

這些神經是否具有生命活動呢？為了回答這一問題，用螢光顯微鏡對細胞內的鈣離子濃度進行了觀察（圖 1-8(b)）。發現細胞中標有 1~4 位置的亮度，大致以 10 s 左右為週期，發生週期性變化，這說明細胞是有生命活動的。

上述明暗的變化是藉由電氣信號實現的。如圖 1-8(c) 所示，阱中僅神經細胞的尖端露出，藉由設置由氧化鋁或聚亞醯胺等絕緣膜覆蓋的電極，可將其產生的電氣信號取出。探測結果如圖 1-8(d) 所示， $40 \div (100 \times 10^4)\ \text{V}$ ($=40\ \mu\text{V}$) 的極微小電氣信號，大約以 10 s 為週期，以 $10^{-3}\ \text{s}$ 的時間延遲進行傳輸。這說明細胞與細胞之間確實構成了迴路網路。相反，若在電極 1 上輸入 1 mA 的電流脈衝，其他電極上的脈衝也會同步出現。

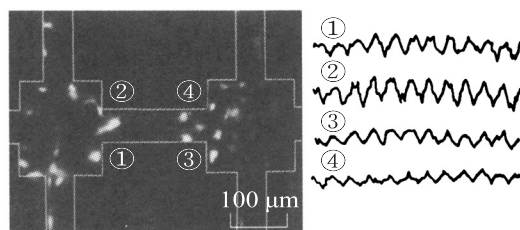
隨著這種生物電腦技術研究的進展，實現相當高度的智能化已不是夢想。

在表面形成阱及連接阱的溝槽的基材上，透過掩模在阱中放置細胞。經過 7 天培養，由這些細胞生長出簡單的神經迴路



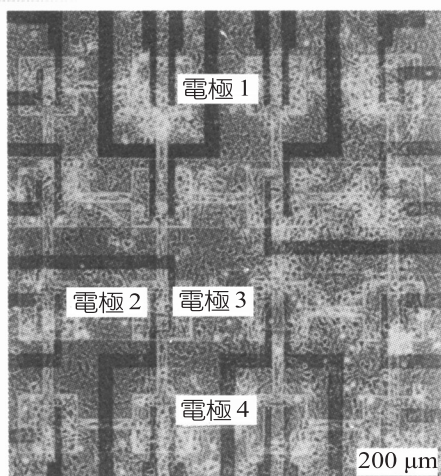
(a) 通過人工培養，由大白鼠腦的海馬神經細胞，生長出簡單的神經迴路

細胞 1、2、3、4 內的鈣離子濃度（如右邊的圖所示），以大約 10 s 為周期同步振動。表明這些細胞間通過神經纖維傳遞訊息



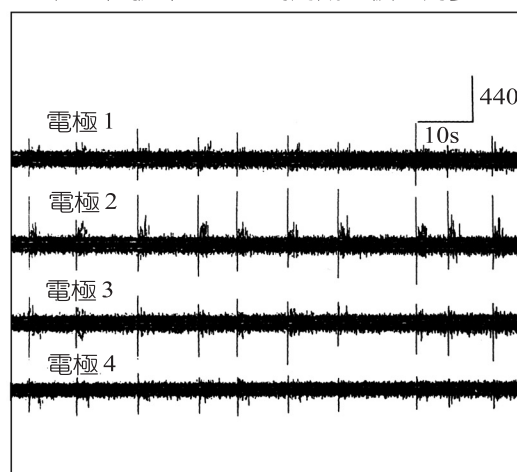
(b) 在簡單神經迴路中的細胞中，由螢光顯微鏡觀察到鈣離子濃度的變化

照片中黑點部位為神經細胞。大部分電極上大概有 10 個左右的神經細胞



(c) 在帶有微小電極陣列的基材上培養的大白鼠大腦皮質神經元（neurone）的顯微鏡照片

由圖 (c) 所示的培養神經細胞的基材上的 8 個不同位置的電極上接收到的短脈衝群狀信號。圖中的信號是由圖 (c) 所示電極 1、2、3、4 記錄的信號。各電極的信號都以 10 s 為周期，彼此同步



(d) 由微小電極陣列記錄的電氣信號

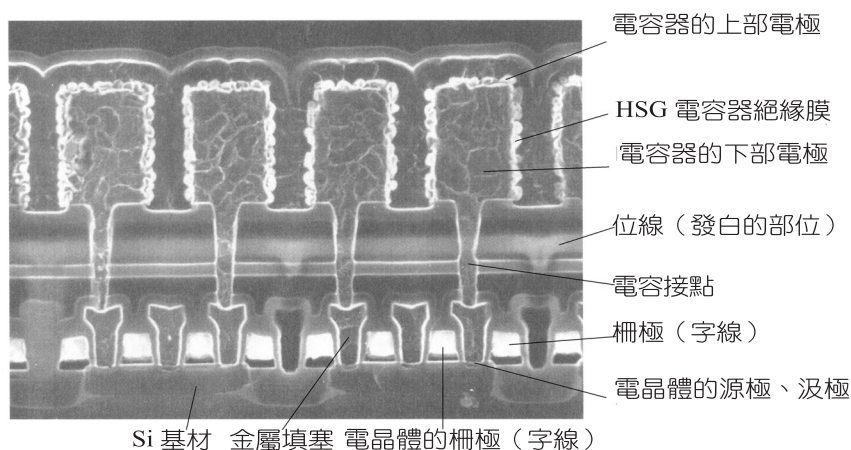
圖 1-8 利用薄膜技術進行生物電腦研究

1. 5. 正在進展中的人造大腦

人的腦細胞大約有 150 億個，而其中的 10%，即 10~15 億個腦細胞時常工作的人，據說屬於天才之列。一個電晶體是否與一個腦細胞產生相同的作用，目前尚沒有定論。但是，就目前的水準而言，在積體電路中， 1 cm^2 的矽片之上已經成功地製作出 2.5 億個電晶體，並已實現製品化。10 億個電晶體的試製品也已經出現（圖 1-9(a)）。10 億個電晶體的積體電路，可以儲存 4000 張報紙的資訊。進一步，儲存容量為 16 倍，即 160 億個的積體電路也在人們的計畫中，估計到 2010 年即可實現（圖 1-9(b)）。

如果將這樣的積體電路放入人的大腦那樣大小的容器中（大約 1 L），其可收容而且能工作的電晶體的數量與人的腦細胞相比，已達到僅有一個數量級的差別。

在記憶、計算速度和容量等方面，人還比不上電腦。近年來機器人進展很快，不僅能兩條腿走路，而且能表現出感情，其智力達到 1 歲兒童的水準，越來越接近人的程度。原來機器人所不具有的創造能力也正在逐步攻克中。看來，製成各種各樣形式的人造大腦已不是遙遠的事情。



(a) IGB-DRAM 中電晶體及存儲電容器部位的斷面放大圖

圖 1-9 正在進展中的人造大腦