

# 中央處理單元與 主記憶體

人類是「萬物之靈」，主因在於我們有顆能思考、計算、記憶……等的 "大腦"。電腦也有 "大腦"—CPU，讓它也能榮登「萬機（機器）之王」寶座。

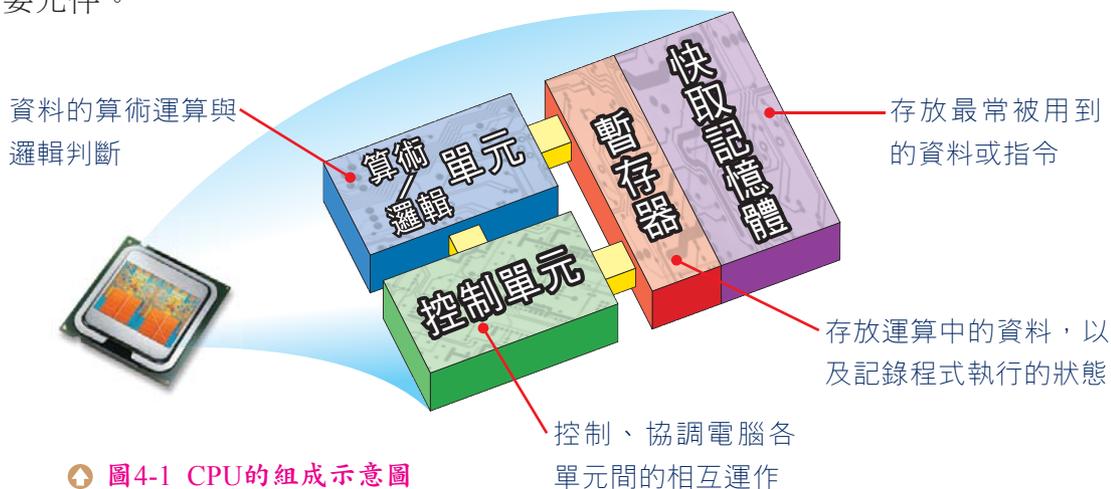


## 4-1 中央處理單元 – CPU

CPU是電腦進行資料處理及運算的主要元件，也是整部電腦運作的核心。電腦處理速度的快慢，關鍵就在於CPU的效能。

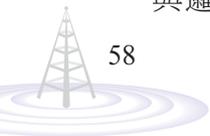
### 4-1.1 CPU的功能及結構

CPU主要是由**控制單元**與**算術/邏輯單元**所組成（圖4-1），另外用來存放運算時所需使用的指令及資料之**暫存器**（register）、**快取記憶體**（cache memory）等，也是CPU內部的重要元件。



#### 控制單元、算術/邏輯單元

**控制單元**的功能是控制與協調電腦各單元間的運作；**算術/邏輯單元**則負責資料的運算與邏輯判斷，此兩單元已在第3章第1節說明。





## 暫存器

**暫存器**是內建在CPU中的記憶體，容量雖小（每個暫存器約16~64bits），但存取速度很快，專門用來存放CPU運算過程中的資料及程式執行的狀態。CPU內部有幾個用途不同的暫存器，例如：

- **指令暫存器**（Instruction Register, IR）：暫存正在執行中的指令。
- **程式計數器**（Program Counter, PC）：存放下一個待執行之指令的位址。
- **一般用途暫存器**（General-Purpose Register, GPR）：存放運算用資料及位址資料。

## 快取記憶體

**快取記憶體**是一種存取速度比主記憶體快的記憶體，這種記憶體可用來存放常被CPU使用到的資料或指令，以減少CPU到主記憶體讀取資料或指令的次數，因此可提升電腦的處理效能。但因其製作成本昂貴，故快取記憶體容量通常不大。

快取記憶體運作的原理是：CPU到主記憶體擷取資料時，會將一整個區塊的連續資料複製到快取記憶體中，當CPU需要再使用此一區塊中的資料時，即可直接到快取記憶體中讀取。

快取記憶體常分為L1、L2、L3等3種，其中L1、L2位於CPU內部；L3則位於主記憶體與CPU之間（部分新款CPU已將L3內建在CPU中，如Intel Core i7內建有8MB的L3），圖4-2為CPU到L1、L2、L3與主記憶體間的存取速度比較。

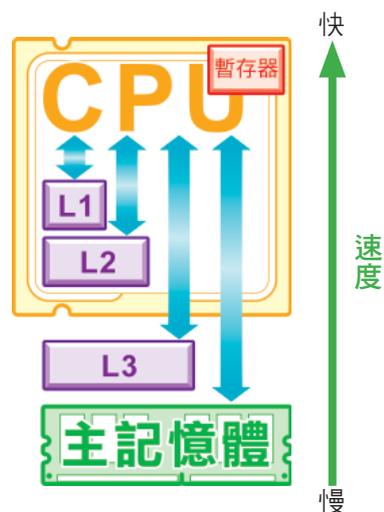
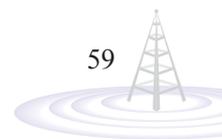


圖4-2 CPU到快取記憶體、主記憶體間的存取速度比較

### ※4-1.2 指令運作週期

CPU在執行指令時，必須先透過**控制單元**從記憶體中擷取指令及資料，再將指令進行轉換，使**算術/邏輯單元**瞭解指令的意義，才能進行運算處理的工作，運算完成之後，運算結果會儲存至記憶體中或在螢幕上顯示出來。因此CPU執行一個指令的過程主要包含有**擷取**、**解碼**、**執行**、**儲存**等4個步驟（圖4-3），這4個步驟合稱為**機器週期**（machine cycle）。



其中**擷取**及**解碼**兩階段合稱為**指令週期**<sup>註</sup>（Instruction cycle，簡稱I-cycle）；**執行**及**儲存**兩階段則合稱為**執行週期**（Execution cycle，簡稱E-cycle）。

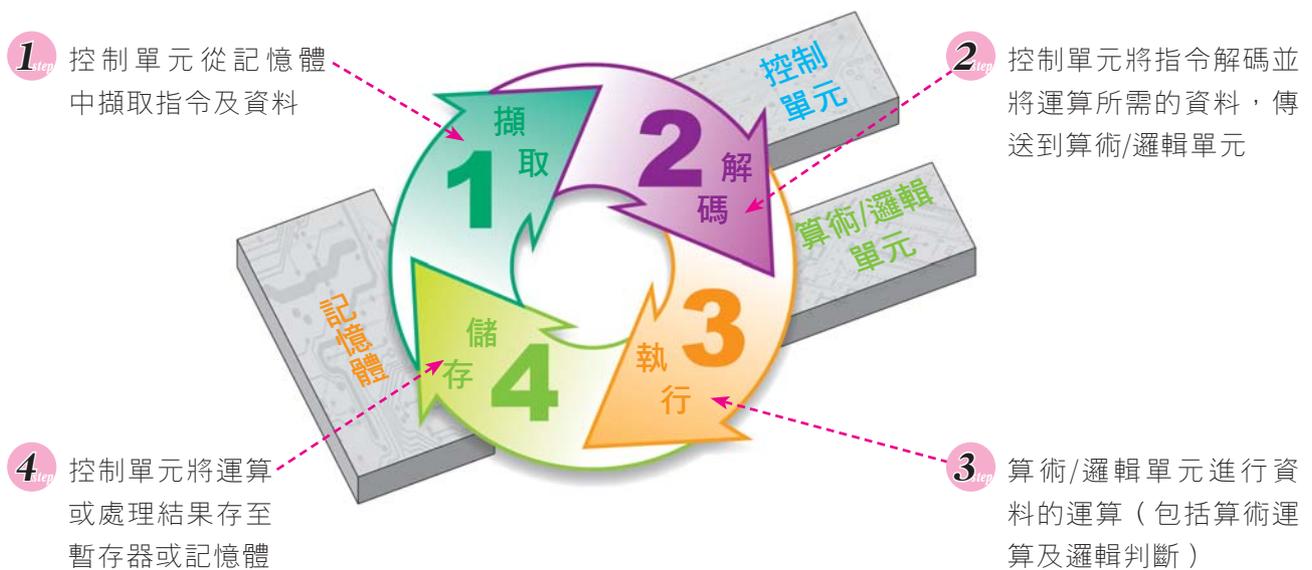


圖4-3 CPU執行指令的步驟示意圖

每一個機器週期通常只有幾百萬分之一秒（甚至更短）的時間，因此也有人使用MIPS（Million of Instructions Per Second，每秒百萬個指令）為單位，來表示CPU每秒可執行多少百萬個指令。MIPS值越高，表示CPU執行的速度越快。

### 4-1.3 個人電腦常見的CPU

Intel與AMD是生產個人電腦CPU的主要廠商，生產許多效能等級不同的CPU，例如適用於文書處理、網頁瀏覽等需求的一般CPU；適用於玩3D遊戲、進行影音處理的較高階CPU等。

隨著筆記型電腦（Notebook）、平板電腦（Tablet PC）等可攜式設備日趨普及，CPU廠商也針對可攜式設備設計專用的CPU，例如輕省筆電（Netbook）使用的Atom系列、Ultrabook使用的Ivy Bridge系列（圖4-4）、平板電腦使用的Tegra系列等CPU。



(<http://www.hardcore-hardware.com/>)

圖4-4 Ultrabook使用的CPU



#### 小辭典-Ultrabook筆電

2011年Intel提出了兼具輕薄、效能與省電的「超薄筆電」概念，依此概念設計出來的筆電稱為「Ultrabook」筆電。

註 有少部分的原文書籍將指令週期（instruction cycle）稱為擷取週期（fetch cycle）。



## 多核心CPU

**多核心CPU**是指含有多個運算核心的CPU，每個運算核心都包含有控制單元、算術/邏輯單元、快取記憶體及暫存器。例如四核心CPU即含有四個運算核心。圖4-5是使用Windows作業系統的**工作管理員**，來檢視多核心CPU的使用率。

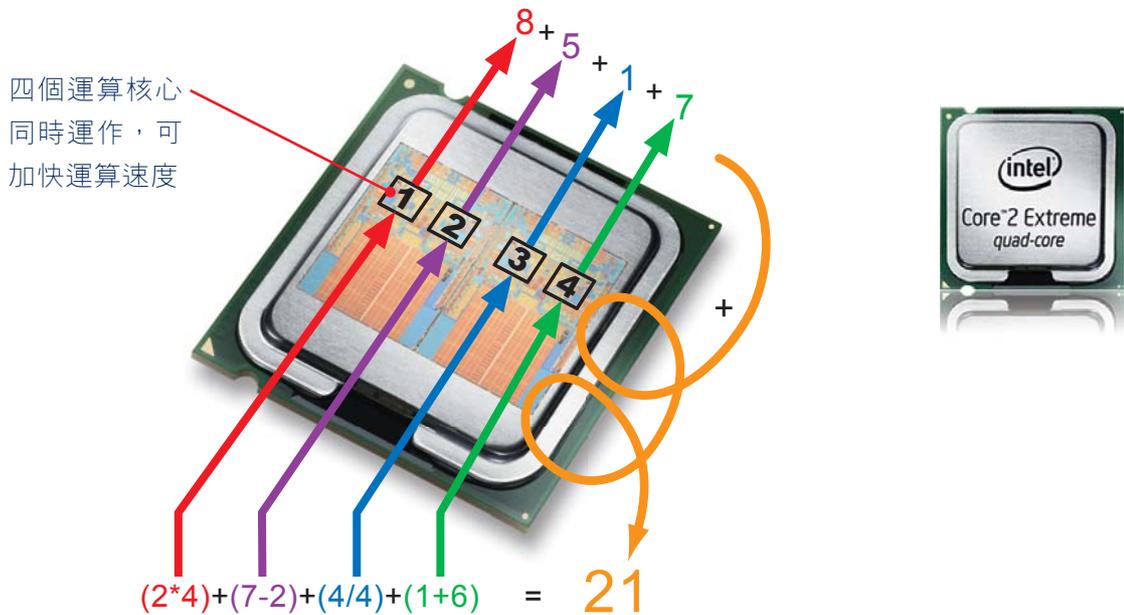


圖4-5 檢視CPU各個核心的使用率

我們可以透過CPU的型號或規格表，來瞭解CPU的核心數。例如AMD生產的CPU可透過型號來判斷其核心數，如型號為Phenom II X6其核心數為六核心、Phenom II X4其核心數為四核心；而Intel CPU的核心數則需連上Intel網站來查詢，才能得知。

## 多核心CPU的運作原理

多核心CPU內的多個運算核心，可同時進行不同的運算工作，因此多核心CPU的效能較單核心CPU高。圖4-6是以四核心CPU為例，說明其運作原理。



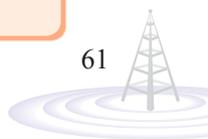
假設每1個核心在一時間內（如機器週期）只能進行1個運算，單核心與4核心的運算時間比較如右：

時間	C1	C2	C3	C4	C5	...
單核	2 * 4 = 8	7 - 2 = 5	4 / 4 = 1	1 + 6 = 7	8 + 5 = 13	...
4核	2 * 4 = 8	8 + 5 = 13	13 + 8 = 21			
	7 - 2 = 5	1 + 7 = 8				
	4 / 4 = 1					
	1 + 6 = 7					

算完囉！

還有好多要算的

圖4-6 四核心CPU及運作示意圖





## 多核心 vs. 多CPU

若以廚房來比喻CPU，多核心CPU就像是一個廚房裡有多位廚師，可同時烹煮多道菜，烹煮速度自然比一個廚房裡只有1位廚師（單核心）來得快。

多CPU就像是有多個廚房，每個廚房都有自己的出餐口可用來出餐，而多核心CPU雖然可同時烹煮多道菜，但由於廚房的出餐口多半只有1個，煮好的菜必須依序送出，所以多個廚房（多CPU）出菜的速度理論上會比一個廚房（多核心）來得快。

市售個人電腦多半以多核心為主；而伺服器專用機種則多半配有多個CPU。如果電腦安裝有多顆CPU，且每顆CPU皆為多核心，那麼運算效能就會更佳。

### 4-1.4 CPU的規格

在購買CPU時，我們應注意標示在產品包裝盒上的**名稱**、**速率**及**快取記憶體**等主要規格的標示（圖4-7）：



圖4-7 CPU包裝盒上的規格標示

#### 名稱

**名稱**是CPU的製造廠商及產品型號，例如Intel Core 2 Extreme Processor QX9650；其中Intel代表廠商的名稱，其餘的字元代表產品的型號。

#### 快取記憶體容量

目前市售的CPU通常都內建有512KB ~ 12MB的**快取記憶體**。



## 速率

包裝盒上標示的**速率**是指CPU的**時脈頻率**（clock rate），俗稱為**內頻**（internal clock），目前多半以GHz（Giga Hertz，十億次赫茲）為單位。

以3GHz的CPU為例，其內部的石英震盪器每秒會產生30億次的震盪（圖4-8），每震盪一次所花用的時間約為0.33奈秒（ $\frac{1}{3 \times 10^9}$ 秒）。石英震盪器產生一次震盪所花用的時間稱為**時脈週期**（clock cycle），時脈週期越短，即CPU的處理速度越快。

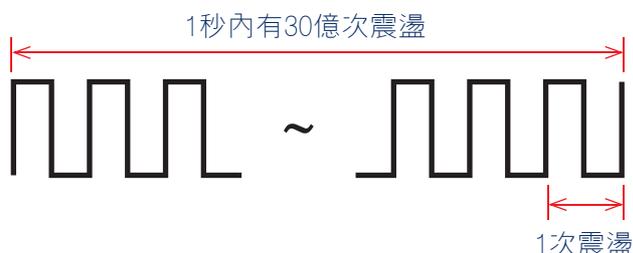


圖4-8 3GHz的CPU時脈頻率示意圖



圖4-3中，CPU執行一個指令通常需花用一次或多次震盪的時間



### 內頻與外頻

早期CPU的時脈頻率並無內、外頻之分。但CPU運作速度不斷提昇，週邊設備的速度卻無法跟上，只好採用不同的時脈頻率來運作。**內頻**指的是CPU內部的時脈頻率；而**外頻**（external clock）指的是CPU與晶片組之間的資料傳輸頻率，常見的外頻有200、266、333MHz等。內頻除以外頻所得的數值，稱為**倍頻係數**（clock multiplier factor）。

## 4-1.5 影響CPU效能的因素

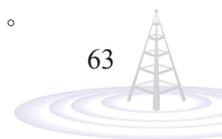
影響CPU效能的因素，除了核心數之外，還包含時脈頻率、字組大小、快取記憶體大小等3項：

### 時脈頻率

CPU的時脈頻率是衡量電腦執行速率的主要指標，通常CPU的時脈頻率越高，CPU在每一單位時間所能處理的指令數量就越多，電腦執行速度也就越快。

### 字組的大小

**字組**（word）是CPU一次能處理的資料量，也就是一般用途暫存器的位元數，字組越大的CPU其處理效能越好。市售的64位元電腦，即是指CPU的字組大小為64位元。



## 快取記憶體的大小

快取記憶體是設計用來存放常被CPU使用的資料或指令，容量越大，CPU的執行效能通常越高。



- \_\_\_ 1. 一般衡量電腦執行速率，主要是比較下列哪一個單元？ (A)輸入單元 (B)輸出單元 (C) 記憶單元 (D)中央處理單元。
- \_\_\_ 2. 下列哪一因素，不會影響CPU的執行效能？ (A)快取記憶體的大小 (B)電壓 (C)CPU的位元數 (D)CPU的內頻。
3. CPU執行一個指令的過程稱為 \_\_\_\_\_ ( machine cycle ) 。

## 4-2 主記憶體

在日常生活中，對於需要短暫記憶的事物（如某個商品的價格）通常會默記在大腦中，對於需要長久記憶或大量的事物（如全班同學的聯絡電話），則通常會記錄在筆記本中。

電腦的記憶體是電腦存放程式和資料的地方，可分為用來儲存暫時性資料的**主記憶體**（main memory，又稱內部記憶體），與用來儲存長久性資料的**輔助記憶體**（secondary memory，又稱外部記憶體）兩大類（圖4-9）。

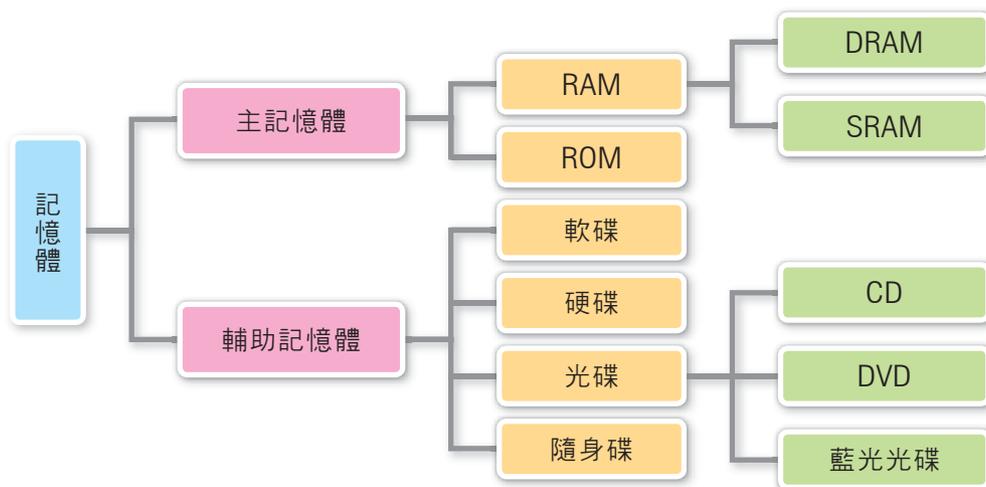


圖4-9 記憶體的分類



主記憶體分為**隨機存取記憶體**（Random Access Memory, RAM）及**唯讀記憶體**（Read Only Memory, ROM）兩大類，分別說明如下；有關輔助記憶體的部分，將在下一章介紹。

## 4-2.1 隨機存取記憶體

**隨機存取記憶體**用來儲存電腦正在執行中的程式和資料，當電腦關機時，這些資料就會隨著電源一起消失，因此又稱為**揮發性記憶體**（volatile memory）。市售的隨機存取記憶體大多製作成**記憶體模組**（RAM module）的型式（圖4-10）。

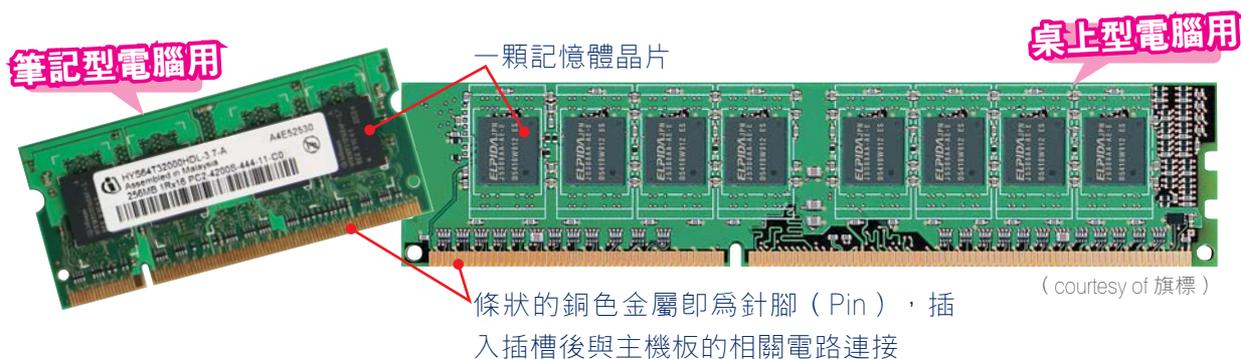


圖4-10 記憶體模組

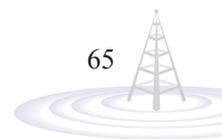
隨機存取記憶體依製作元件的電子特性，又可分為**動態隨機存取記憶體**（Dynamic RAM, DRAM）及**靜態隨機存取記憶體**（Static RAM, SRAM）兩種：

- **DRAM**：必須持續充電更新，儲存於其內的資料才不會消失，所以被稱為「動態隨機存取記憶體」。當我們在購買個人電腦時，所看到的「記憶體」規格通常指的就是**DRAM**的規格。
- **SRAM**：不需持續充電更新，即可保存儲存於其內的資料，所以被稱為「靜態隨機存取記憶體」。此種記憶體的製作成本較高、存取速度較快，常被用來作為快取記憶體。

表4-1為DRAM與SRAM的比較。

表4-1 DRAM vs. SRAM

項目	DRAM	SRAM
是否需持續充電	是	否
存取速度	較慢	較快
應用	主記憶體	快取記憶體
價格	便宜	較貴





## DDR 2 vs. DDR 3

DDR 3是目前主流的DRAM記憶體模組（圖4-11），它比上一代的DDR 2技術具運作效能高、傳輸速度更快、記憶容量更大、耗電量卻更低等特色。表4-2為DDR 2與DDR 3的比較表。

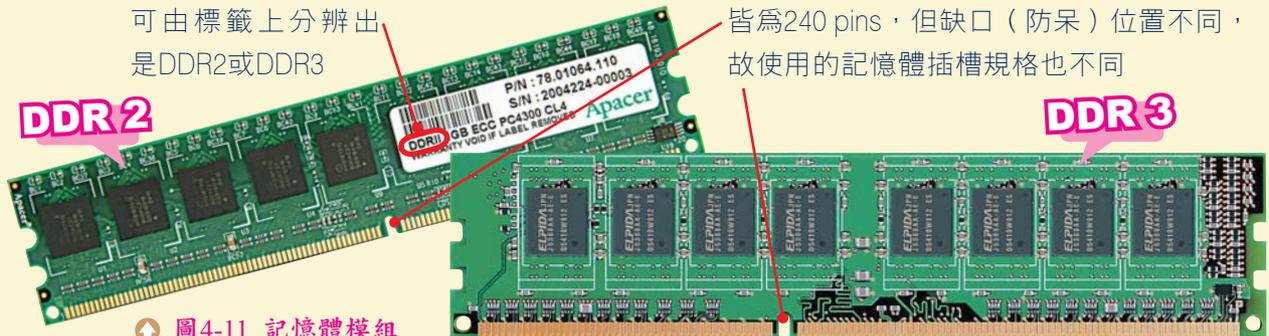


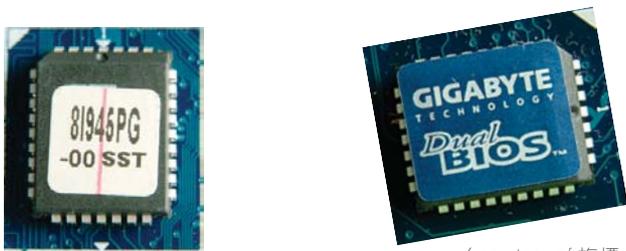
圖4-11 記憶體模組

表4-2 DDR 2 vs. DDR 3

項目 \ 類別	DDR 2	DDR 3
傳輸速度	3.2 GB/sec ~ 5.3 GB/sec	8.5 GB/sec ~ 12.8 GB/sec
單條記憶體容量	256 MB ~ 4 GB	1 GB ~ 16 GB
耗電量	高	低
價格 (1GB)	較貴 <sup>註</sup>	便宜

### 4-2.2 唯讀記憶體

**唯讀記憶體**是一種只能讀取而不能寫入資料的記憶體，因儲存於其內的資料不會隨主機電源的關閉而消失，又被稱為**非揮發性記憶體**（nonvolatile memory）；此種記憶體通常用來存放永久性的程式或資料，例如開機必備的啟動程式（BIOS）等（圖4-12）。



(courtesy of 旗標)

圖4-12 BIOS晶片

#### 小辭典-韌體

**韌體**（firmware）是指燒錄在ROM中的程式；這些程式多半是電腦需經常使用的程式，如BIOS。

為了改善唯讀記憶體無法寫入資料的限制，電腦廠商研發出數種除了讀還可以寫的ROM，其中以**快閃記憶體**（flash memory）的使用最為廣泛，此種記憶體是利用電流訊號來刪除或寫入資料，常應用於智慧IC卡、隨身碟、記憶卡等產品上（圖4-13）。



圖4-13 智慧型手機、隨身碟、記憶卡

課外閱讀

常見記憶體存取速度及容量比較

不同記憶體的存取速度及容量有所不同，如圖4-14所示。

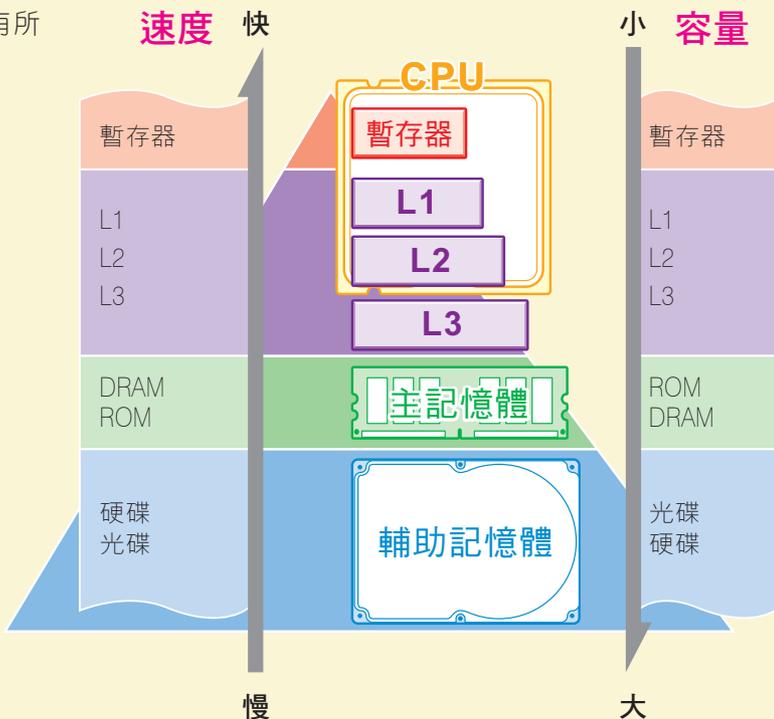
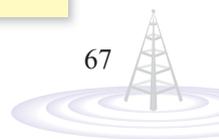


圖4-14 常見記憶體存取速度及容量比較

Tip

由於軟碟已式微，故未列入圖4-14的比較中。



### ※4-2.3 記憶體體的讀寫原理

記憶體是由許多**記憶格**（memory cell）所組成，每個記憶格包含了一個電晶體和一個電容器，並以電容器是否儲存電量來表示二進位的資料0或1。圖4-15為資料寫入記憶體的運作過程。

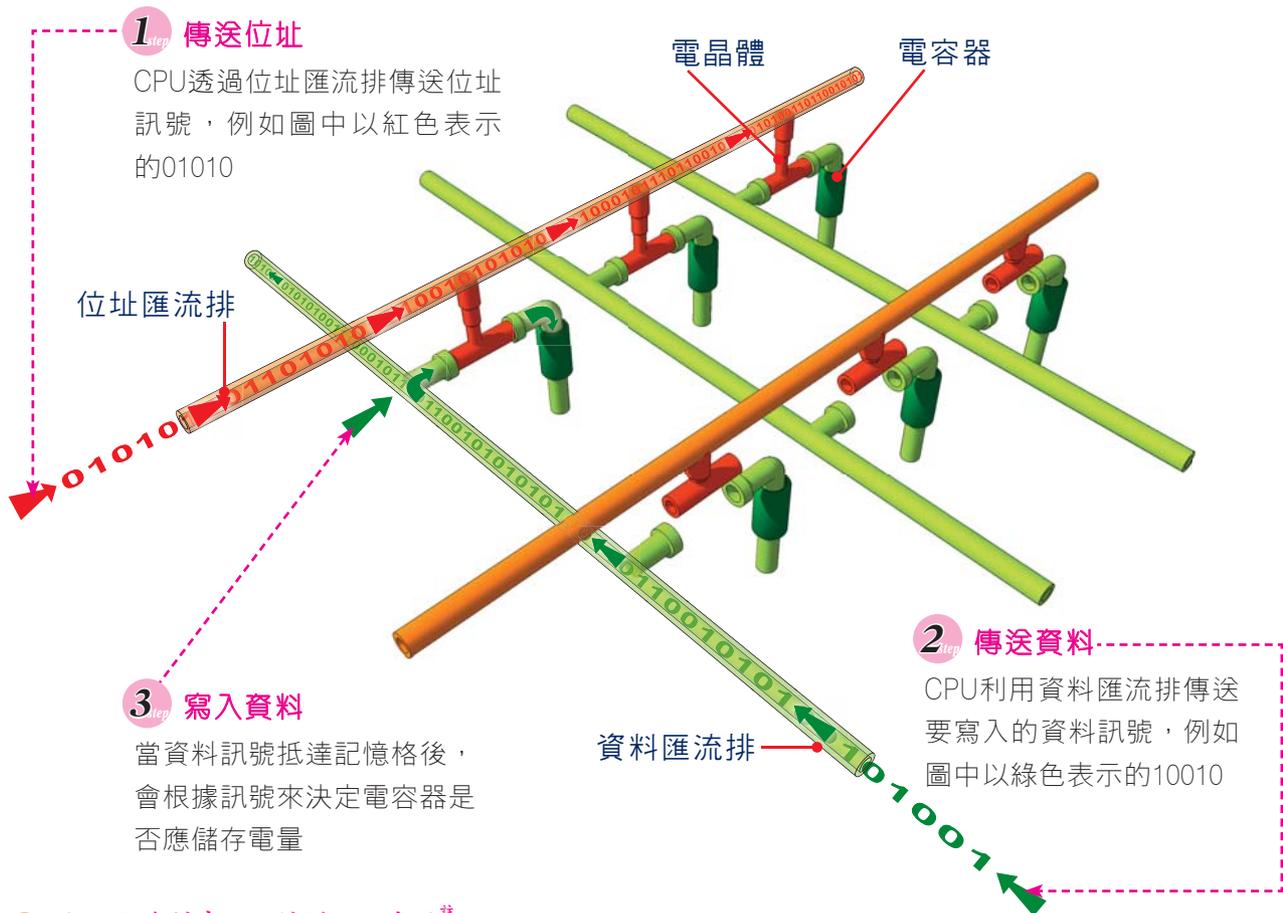


圖4-15 資料寫入記憶體的示意圖<sup>註</sup>

### 節練習

- 下列記憶體類型中，哪一種需要週期性充電？ (A)快閃記憶體 (B)唯讀記憶體 (C)靜態隨機存取記憶體 (D)動態隨機存取記憶體。
- 下列何種記憶體，具有可雙向讀寫，以及電源關閉時資料仍保留的特性？ (A)DRAM (B)SRAM (C)Flash Memory (D)ROM。
- 記憶體是電腦存放程式和資料的地方，可以概分為用來儲存暫時性資料的 \_\_\_\_\_ 與用來儲存長久性資料的 \_\_\_\_\_ 兩大類。

註 此圖參考Ron White "How Computers Work"。QUE Publishing (p.120 ~ p.121)。



## 本章習題



### 選擇題

1. 以翔買了一顆Intel Core i7-990X 3.46GHz的64位元CPU，該款CPU內建12MB的L3 cache。請問下列有關該CPU的敘述，何者有誤？ (A)一次可處理64bytes的資料 (B)內建的L3快取記憶體容量為12MB (C)製造廠商為Intel (D)GHz為CPU時脈頻率的單位。
2. 爾康在購買電腦時，看見產品規格表中有一項規格為4G DDR3，請問此規格是用來描述下列哪一種硬體設備？ (A)硬碟 (B)中央處理器 (C)記憶體 (D)光碟機。
3. 當我們覺得電腦的執行速度不夠快時，下列哪一項作法可能無法改進電腦的執行速度？ (A)更換較快速率之CPU (B)增加記憶體 (C)改用轉速較快之硬碟 (D)加裝Office套裝軟體。
4. 學校電腦教室將全面更換電腦設備，老師強調這些全新電腦設備，都具有雙核心的技術，請問雙核心是下列哪一種電腦元件所採用的技術？ (A)匯流排 (B)快取記憶體 (C)CPU (D)暫存器。
5. 中央處理器（CPU）在處理指令時，運作的先後步驟依序為： (A)擷取→解碼→儲存→執行 (B)解碼→擷取→執行→儲存 (C)擷取→執行→解碼→儲存 (D)擷取→解碼→執行→儲存。
6. 下列有關影響CPU執行效能的因素，何者有誤？ (A)內頻越高的CPU執行速度越快 (B)快取記憶體的容量會影響CPU的效能 (C)CPU的核心數越多，通常處理速度越快 (D)CPU的位元數不會影響執行效能。
7. 一般非硬碟型式的隨身碟採用何種記憶體？ (A)DRAM (B)ROM (C)SRAM (D)Flash Memory。
8. BIOS（Basic Input/Output System）是儲存在下列哪一種記憶體中？ (A)隨機存取記憶體 (B)唯讀記憶體 (C)輔助記憶體 (D)快取記憶體。
9. 下列哪一種記憶裝置，其資料儲存容量最小，但其資料存取速度最快？ (A)隨機存取記憶體（RAM） (B)快取記憶體（Cache Memory） (C)暫存器（Register） (D)硬碟（Hard Disk）。
10. 有關電腦軟硬體知識的描述，下列何者正確？ (A)1GB = 1000MB (B)CPU是作業系統，可被視為電腦的心臟 (C)ROM是唯讀記憶體，只能讀取資料 (D)RAM的存取速度比ROM慢。
11. 下列關於DRAM（動態隨機存取記憶體）與SRAM（靜態隨機存取記憶體）的敘述，何者正確？ (A)DRAM不需要充電 (B)DRAM比SRAM貴 (C)SRAM速度較DRAM速度快 (D)DRAM是一種輔助記憶體。
12. 快取記憶體（Cache Memory）的主要功能是： (A)作為輔助記憶體 (B)可以降低主記憶體的成本 (C)可以增進程式的整體執行速度 (D)可以減少輔助記憶體的空間需求。

### 多元練習題

1. 假設你要買一顆CPU，要如何查詢CPU的規格與價格呢？請連上『光華商場』網站（<http://www.arclink.com.tw/>），找到你想購買的CPU，並將相關資訊填入下列空格。

型號：\_\_\_\_\_ 速率：\_\_\_\_\_ GHz 核心數：\_\_\_\_\_

快取記憶體：（種類）\_\_\_\_\_（容量）\_\_\_\_\_ MB 價格：\_\_\_\_\_元

