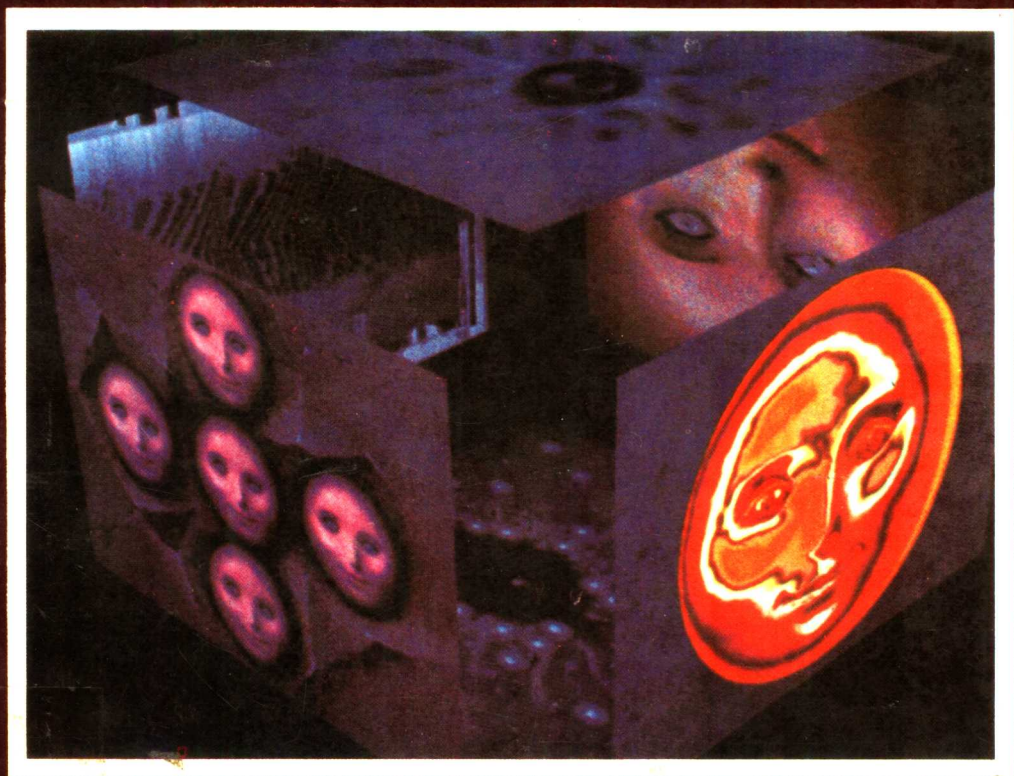


電腦輔助設計及製造 (CAD/CAM)

陳至剛 編著



第 3 章

微處理機與 CP / M

3-1 微處理機簡介

(本文摘自 Computer Quarterly, Autumn, 1982)

3-1.1 導論

自從電腦帶來了第二次工業革命之後，其技術之發展與廣為應用，不但改變了整個世界的社會與經濟結構，對這幾十年來整個人類科技文明的加速提昇，更是主要的驅動力。任何重大的經濟行為或人類文明的行動，諸如大企業的策略決定，商業上的成本分析，銀行、旅館、航空公司的經營管理，石油探勘、工廠的生產管理與控制，航業上的領航導向，太空探險等，任何一項皆脫離不了電腦。在現代化的過程中，電腦扮演了最主要的角色，其影響所及無遠弗屆。

電腦歷經數代的改革，由於電子材料幾次突破性的進展，由真空管、電晶體演進至積體電路（ IC ），使得元件體積大為縮

小，而相反的工作績效卻非往日所可比擬。積體電路出現之後，半導體技術的進步更是突飛猛進，數平方釐米的矽片已可容納數萬至數十萬個電晶體，這項高密度的大規模積體電路（LSI）技術與電腦科學密切結合下，在1971年首度出現了革命性的微處理機。這項號稱是第二次電腦革命的技術結晶，實質上就是傳統電腦結構中的中央處理單元，利用LSI技術將之濃縮在一小塊矽片上，成為一個單獨、通用性的IC元件。

自從微處理機出現以來，它迅速的侵入了各個應用範疇，以體積小，工作績效高，設計單純化而取代了往日繁複龐雜的控制，而且在不高於以前的成本下，還能增加許多新功能及智慧度。因此，在短短的十年發展中，其應用範圍包括了工業控制、測試、儀器、數值控制、通訊、醫療設備、各種事務機器、各種消費產品及其他許許多多應用，不勝枚舉。由於微處理機具備了優越的性能，不但取代兼改良了許多既有的應用，也帶來了許多新的應用及產品，而未來尚有更大更多的範疇等待我們去開發。

微電腦時代已經來臨，挾其高性能，低售價的優勢無遠弗屆的深入人類生活的每個角落。身處這個時代的人，皆有必要了解微處理機的來龍去脈，才能體認其時代意義與重要性。底下將分段介紹微處理機出現的背景、結構、特性、應用範圍、發展潛力及相關之技術，希望提供讀者一個全面性的初步了解。

1944	MARK-1 (繼電器)
1945	VON NEUMANN MACHINE
1946	ENIAC (真空管)
1948	電晶體發明
1951	EDVAC (內儲程式計算機)
1955	TX-0 (電晶體)
1959	積體電路 (MOS)
1960	照相製版用於積體電路製造
1963	CMOS
1964	SSI
1968	MSI
1971	LSI
	INTEL 4004 - 第一個商用微處理機 (內含 2250 電晶體)
1972	INTEL 8008
1973	INTEL 8080
1974	8 bit: M6800 16 bit: CP1600 (第一代) PPS8 (第一代) PACE 2650 TMS9900
1976	: 8 bit: Z-80 (第二代) 8085 :
1978	8086 16 bit: Z8000 (第二代) M68000 :
1980	32 bit μ P

3-1.2 微處理機發展經緯

1944 年，由繼電器（RELAY）所完成的電力機械式計算機 MARK-I，代表電腦新紀元的來臨。二年後，以真空管造成的 ENIAC，是第一部完全由電子電路所控制的計算機，也就是第一代電腦。就在同一時期，Von-Neuman 發表了革命性的內儲程式觀念（Stored-Program Concept），主張將程式指令也儲存於記憶體中，視同資料不加區分。這個觀念一直延用至今，微處理機的產生亦脫胎於此。1951 年，第一部內儲程式計算機 EDVAC 出現。

就在 EDVAC 出現前三年（1948 年），電子材料有一項重要的突破，就是電晶體的首度試驗成功。1955 年由電晶體製造成功的計算機 TX-0，代表電腦的一次重要改進，是為第二代電腦。1959 年，電子材料的演進又往前跨越了一大步，積體電路（IC）首次由 TI 公司製造成功，稍後發展的照相製版與平面處理過程，使積體電路得以大量製造。此時，代表積體電路新紀元的開始。

積體電路是利用半導體技術將整個元件的電路長在一小塊矽質基片上，再製成一個單獨的晶片（Chip）。此項技術深具發展潛力，其製造密度與電路複雜度隨著技術的進步愈來愈高。

1964 年製造的小規模積體電路（SSI），可將一至十個電晶體的電路製於一個元件晶片中。1968 年的中規模積體電路（MSI）是代表 10 至數百個電晶體組成的元件晶片。而包含數百至上萬個電晶體的大規模積體電路（LSI）產品，到了 70 年代初才發展成熟。

LSI 技術早期是由美國軍方投資發展的，1970 年代初期

美國軍方不再支持此項發展計畫，製造商只有另尋出路。1971年初，最早的兩種LSI產品出現，即是記憶裝置和串列通訊元件。後半年，第一個通用型微處理機（INTEL 4004）公開推出，此產品是由一個日本計算機製造商委託INTEL發展研製。這個4 bit 微處理機是特為計算機而設計，故在作一般運算及控制應用時，其功能稍有不足。

次年（1972年），微處理機又有了新的進展，INTEL推出第一個8 bit 的通用性微處理機（8008）。此產品的問世也是一個偶然，起因是有一家端末機公司（原是Display Terminal Corp，改為Datapoint）決定發展單晶片的CRT處理器，TI與INTEL兩家公司同時取得合同。數月之後TI退出，INTEL繼續發展，其成果即為8008微處理機。不幸的是8008雖然符合各種功能上的要求，但其速度卻太慢。當時速度較快的雙極性元件因彼此競爭而價格降得很低，故Datapoint決定採用雙極性元件，使得INTEL苦心研究的8008沒有市場。INTEL原是以記憶裝置為主要產品，為了促銷記憶裝置，INTEL決定還是推出8008。然而，出乎意料之外的是，8008的銷路迅速增加。

由於這個奇蹟，INTEL才了解此項產品的潛力，乃重組其設計人員，再加研究改良，而於1973年推出了8080。緊接的兩年中（1974-1976），各家半導體廠商急起直追，相繼推出了motorola 6800, Rockwell PPS8, Signetics 2650, ...等。這些微處理機雖然均不相同，但其結構設計之主要藍本，大都還是依循INTEL程品。同一時期內，16 bit 微處理機也開始出現了，如GI CP1600, NS PACE, TI TMS9900等，但其市場需求卻遠比不上8 bit 微處理機。這有兩個原因，其一是8 bit 微處理機的功能很強，不但足以應付當時的各種應用，至今尚有餘裕應付各種複雜的需求。其二則是大部份的

半導體製造機器，其最大包裝限制為 40 腳，8 bit 微處理機使用 40 腳訊號已顯勉強，16 bit 微處理機只得利用有限的輸出接腳，分次送出不同的訊號。因此，其成本績效自然比不上 8 bit 微處理機了。

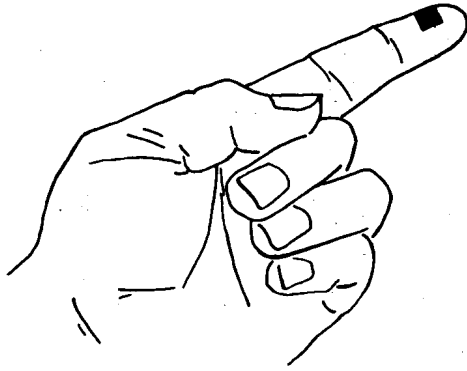
1976 至 1978 兩年期間，改良的 8 bit 微處理機如 Z-80，8085，……及新的單晶片微電腦如 Fairchild F8，INTEL 8048，……亦相繼出現，這些 8 bit 微處理機至今仍然佔據絕大部份的市場。1978 至 1980 年間推出之 16 bit 微處理機如 8086，Z8000，M68000，……等，其工作績效大為改進，其功能已有取代甚至凌駕迷你型電腦的趨勢。值得一提的是，Motorola 推出的 16 bit 微處理機（M68000）採用 64 腳包裝，更加拓展了微處理機的發展潛力。

最近幾年來，微處理機的應用範圍更廣，市場需求更大，其廠商對微處理機性能的拓展依然不遺餘力。雖然 32 bit 微處理機已經步入了實驗階段，但是 16 bit 微處理機之市場依然不大，這可能是因為軟體發展的比重加大及人們對 16 bit 微處理機的功能認識不夠。這個起飛緩慢的 16 位元微處理機，可能因此影響以後微處理機進展的速度。

3-2 微處理機元件技術的發展

微處理機的誕生與發展，和半導體技術有密不可分的關係。由第一個實驗成功的積體電路以來，半導體歷經 SSI，MSI 走向 LSI 及 VLSI。這種發展趨勢的意義，主要在於提高技術密度及元件晶體的電路複雜度（通常以元件所含的電晶體數衡量之），增加速度，降低消耗能量，提高雜訊容忍度，並使成本降低

大型積體電路



，工作績效增強。微處理機與其相關的支援性元件可由許多種不同的半導體技術製成，因此該元件技術就決定了微處理機或其他元件的特性。

元件技術包含那些特性？底下列出其中主要的 8 項。

- * 速度 (speed)
- * 密度 (density)
- * 成本 (cost)
- * 消耗能量 (power consumption)
- * 雜訊容忍度 (noise immunity)
- * 環境忍受度 (ruggedness)
- * TTL 互通性 (TTL Compatability)
- * 成熟度 (maturity)

下文介紹不同之半導體技術時，將著重其中幾項特性探討之。

半導體技術大致可分為兩類：雙極性 (Bipolar) 及單極性 MOS (Metal Oxide Semiconductor)。雙極性技術發展較

早，並有多種變化，如 TTL, S-TTL, LS-TTL, I^2L , ECL ……等。最先發展的是 TTL (Transistor-Transistor Logic)，速度較快的一支是為 S-TTL (Schottky-TTL)，但因其電能消耗較多，又有 LS-TTL (Lowpower, Schottky-TTL) 出現。雙極性技術有兩個主要缺點：電能消耗較多及密度較小，故單晶片式的微處理器均不採用這項技術。通常是應用較為特殊（如速度要求高）的切割式元件（Bit-Slice device）才採用此項技術，因為雙極性元件的最大特色就是速度快。近期又有 I^2L 及 ECL 出現，前者以電能消耗特別少著稱，其密度亦高，唯速度尚不夠快，後者則以速度快著稱，但相形的消耗量也大，適合特別高速的應用。最近雙極性技術的新發展還在進行中，包括了 CML (Current-mode Logic)，STL (Schottky Transistor Logic)，ISL (Integrated Schottky Logic) ……等，此乃因為雙極性元件在速度上仍較現行 MOS 技術略勝一籌，但其密度小與能量消耗多之缺點，加上 MOS 技術逐漸迎頭趕上，已使發展至極限的雙極性技術漸走下坡。然而目前，雙極性元件在高速應用方面仍有其一席之地，如大型電腦，類比微處理機，軍事應用等，均以切割式元件組合之。

微處理機的主要技術是單極性 MOS。由於密度高及消耗能量小，初期的微處理機皆為 PMOS 作成，其密度可達每晶片中含 15000 個電晶體，唯速度較慢。稍後即有 NMOS 出現，速度較 PMOS 快，密度也很高，故成為目前微處理機的主要製造技術。較晚出現的 CMOS，是組合了 PMOS 與 NMOS 技術而成，故其特性也介於兩者之間，主要優點是消耗能量非常低，容忍高雜訊，已有部份微處理機採用此種技術。最近，半導體廠商均極力研究，相繼又有 SOS, HMOS, VMOS, DMOS, MNOS ……等，皆走向密度更高或速度更快的趨勢，有些元件速度已可

高達 10^9 Hz，其技術仍有相當發展的潛力。

現在以表 3-2.1 表示半導體技術的特性比較。

半導體技術	閘面積 * (mil ²) **	閘延遲 * (ns)	閘耗能量*	閘成本 * (cents)	雜訊 容忍度 (Volts)
PMOS	3	100ns	0.2mW	0.1-2	1.0
NMOS	2	50ns	0.2mW	0.1-2	0.4
CMOS	12	25ns	10 μ W	10-30	4.0
TTL	13	10ns	10mW	5-15	0.4
Schottky	5	3ns	20mW	25	0.3
TTL					
Low-Power	5	10ns	2mW	25	0.3
Schottky					
TTL					
ECL	8	2ns	30mW	30-40	0.125
I ² L	1	25ns	50 μ W	5-50	0.2

* 以一般典型閘為準

* 1 mil² = 6.45×10^{-6} cm²

表 3-2.1 半導體技術特性比較表

在選擇微處理機作某一應用時，必須考慮微處理機的製造技術，下表列出數種情形以供參考。

條	件	最適合之半導體技術
成本低		PMOS, NMOS
體積小		PMOS, NMOS
速度高		STTL, ECL
消耗能量低		CMOS
環境惡劣		CMOS
多種選擇		PMOS, NMOS
有相同技術之標準元件		STTL, CMOS, ECL
有相同技術之大型記憶		PMOS, NMOS, STTL
支援最多		PMOS, NMOS
通用性：	TTL	STTL, CMOS
	CMOS	STTL, CMOS
	ECL	ECL

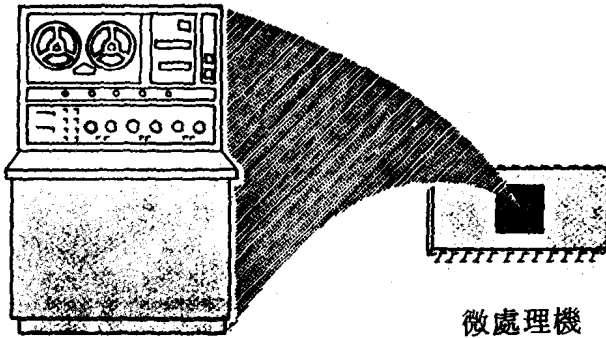
表 3-2.2 半導體技術之選擇表

其他還有一些新技術，尚未完全成熟，如 CCD (Charged Couple Device) 及磁泡記憶體 (Bubble memories)，可能在不久的將來取代次級性記憶裝置 (如磁碟)。尚在萌芽階段的 Josephson 元件技術，代表另一個新的領域，其發展潛力不可限量，唯幾年內尚不可能加入商業市場。

3-3 微處理機的定義及分類

何謂微處理機呢？簡單的說就是電腦系統中負責各種算術 /

電腦體積縮小



邏輯運算，指令解碼執行及系統時序控制的「中央處理單元」，利用 LSI 半導體技術製作在一小塊矽質基片上，包裝成爲一個單獨的元件晶片。這項革命性的成果，取代了以前可能由數拾或上百個 SSI/MSI 的積體電路元件所構成的 CPU 電路，使得電路體積大爲縮小，系統組合與設計也容易得多。

微處理機必須和記憶單元、輸出入單元，經由地址線、資料線及控制線連接起來，才是一個完整的工作系統，統稱爲「微處理機系統」(microprocessor system)。微處理機系統可分爲兩類：專門作某項應用的叫「專用式微處理機系統」(dedicated microprocessor system)，用來作一般資料運算、處理及控制的微型計算機(或稱微電腦)(microcomputer)，是屬於「通用式微處理機系統」(general purpose microprocessor system)。

微處理機廠商甚多，每家雖不相同，但主結構均相類似，皆屬單漚流排兼累進器(Singlebus, Accumulator-based)的 CPU 系統。然而，按照形系統組合形態，微處理機可分爲三類：

1. 單石微處理機 (monolithic microprocessor)

最早微處理機即屬此類，整個元件晶片就是一個獨立的中央處理單元。功能上可分為兩個部份：邏輯運算單元 (ALU) 及控制單元 (CU)，包含了數個暫存器，內部資料幹道，指令解碼與執行之控制邏輯，系統時序控制線路等。通常系統組合還需要外加的記憶單元及輸出入單元，如圖所示。

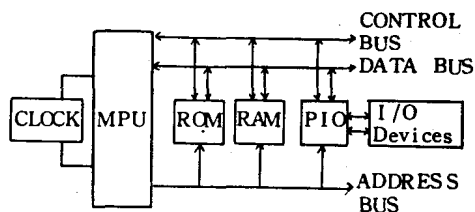


圖 3-3.1 單石微處理機

2. 單晶片微電腦 (1-chip microcomputer)

有些簡單的控制應用，僅需少量的記憶 (ROM / RAM)，和一些與外界裝置作界面連結的輸出入埠，因此單晶片微電腦除了提供 CPU 之外，還包含少量 ROM, RAM 及輸出入埠，自成一個功能完備的微電腦，可直接控制外界裝置，並不需要其他元件。

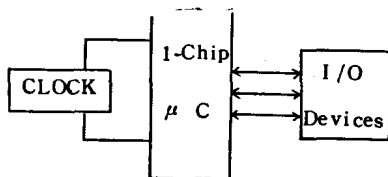


圖 3-3.2 單晶片微電腦

以上兩類微處理機，又可按照字長分為 4 bit , 8 bit , 16 bit 及目前尚在實驗階段的 32 bit 等，各適合不同的應用範疇。

3. 切割式元件 (bit - slice device)

有些特殊應用，現成的微處理機不能滿足其於結構上、速度上的要求，因而出現了切割式元件。事實上，這些元件是邏輯運算單元 (ALU) 的一小部份 (例如其中 4 個位元)，由數個相同的晶片串接起來，即可組成任意字長的 ALU 。另外，控制部份的電路 (CU) 約需 20 到 50 個 IC 組合，通常是屬微程式控制 (microprogram controlled)。切割式元件採用最快速的 LSI 技術，如雙極性的 S - TTL 及 ECL 等，適合各種高速應用。

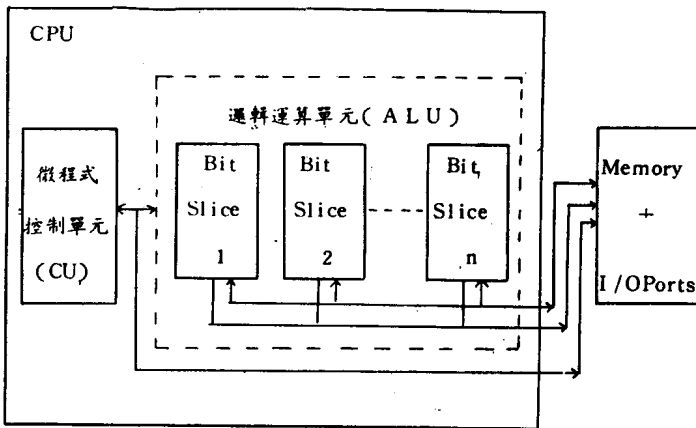


圖 3-3.3 切割式元件

3-4 微處理機的支援性元件與記憶元件

大部份的微處理機系統，除了簡單的單晶片微電腦應用系統之外，基本上均需要週邊界面控制元件與記憶元件。比較複雜的應用系統還有次級處理機或輔助處理器借以擴充主 CPU 的功能。除了記憶元件之外，其他統稱為支援性元件。這兩者皆利用 LSI/VLSI 的高度半導體技術製造，除了提供一般記憶功能之外，可負責處理各種專門性的工作，以協助或減輕中央處理器的工作，使得系統績效得以提高。

(一) 支援性元件可分為三類(1)週邊支援 (Peripheral support) (2)次級處理機 (Slave processor) (3)輔助處理機 (Coprocessor)。微處理機出現之後，最早發展的是週邊支援性元件，這是大部份微處理機系統必備的單元，所以這類元件最多。自從第二代的 16 位元微處理機推出之後，由於應用系統本身愈趨複雜，所需處理的工作愈加繁重，才有第二及第三類的元件出現。

(1) 週邊支援——主要負責週邊的界面與控制功能，有的僅提供單純的輸出入埠基本功能 (如 PIO)，有的本身就是專用式的單晶片微電腦，具備很強的功能，可處理相當複雜的輸出入控制，例如磁碟、CRT，……等之控制器。還有一些雜項功能也屬此類，例如 DMA 控制器，通訊處理元件，IEEE - 488 界面電路……等。

(2) 次級處理機——可接受 CPU 的控制並協助 CPU 處理一些複雜的工作，例如數學處理機可處理浮點資料的運算。

(3) 輔助處理機——通常具備自己的指令群，可與 CPU 並行工作，但配合的 CPU 必需具備二者之間的協調功能。例如數

值資料處理機可處理整數，浮點及BCD等各種資料型態的各種加、減、乘、除、指數、對數……等之運算。

按照支援性元件的詳細功能分類，可分為底下數種：

- 數學及訊號處理機 (math-signal processors)
- 記憶裝置控制機 (memory managers, refresh controllers, error correctors)
- DMA 控制機 (DMA controllers)
- 串列輸入與通訊處理元件 (serial I/O and protocol handling ckts)
- 並行輸入及輔助控制功能 (parallel I/O with/without aux. fcts)
- 軟、硬磁碟控制機 (Floppy and hard disk controllers)
- IEEE-488 界面電路 (IEEE-488 interface ckts)
- 資料加碼電路 (data encryption ckts)
- CRT 端末機控制電路 (CRT-terminal support ckts)
- 多重控制功能及雜項功能 (Multiple control fcts on a chip plus misc. fcts)
- 高效率乘除運算功能 (high performance multiply divide fcts)

(二) 有關微處理機系統常用的半導體記憶，主要可分為兩大類：

(1)唯讀記憶 (ROM) 及(2)讀寫記憶 (RAM)。這兩種記憶元件的密度已隨半導體技術的進步愈作愈高，目前已可達到每個晶片內含 64 K 位元的水準，128 K 位元的密度不久即可實現。由於大量製造，其價格愈來愈低，內含 32Kbit 的 2532 (4 K × 8, U.V. EPROM) 已降至單價新台幣 400 元～500 元之間，未來

還會繼續降低。

(1) 唯讀記憶 (ROM)：此種記憶近乎永久儲存，不因電力消失而使其中內容破壞，大都用來儲存系統監督程式。此種記憶可分為兩類：由半導體工廠生產製造的 MASK ROM 及使用者可自行燒製的 PROM (Programmable ROM)，PROM 又有可重新燒製及不可重新燒製之分。

(2) 讀寫記憶 (RAM)：此種記憶的特性是可讀可寫，一般用來儲存資料或作為工作記憶區 (working area)，也是微處理器系統不可缺少的一部份。通常可分為靜態 (static) 及動態 (dynamic) 兩者，其區別是在後者需要作週期性的充電，以保持資料不變，但製造密度通常較靜態 RAM 為高。

在微處理機的發展歷史中，其支援性元件及記憶元件佔有相當重要的地位，兩者有相輔相成的密切關係。微處理機之所以能在今日數位系統中佔據如此重要的地位，還是此後具備了無限量的發展潛力，均有賴於這兩種元件的協助。因此，微處理機的介紹不能不提及這些功臣。

下圖即是一個半導體記憶體的分類圖，僅繪於此以供讀者們參考。

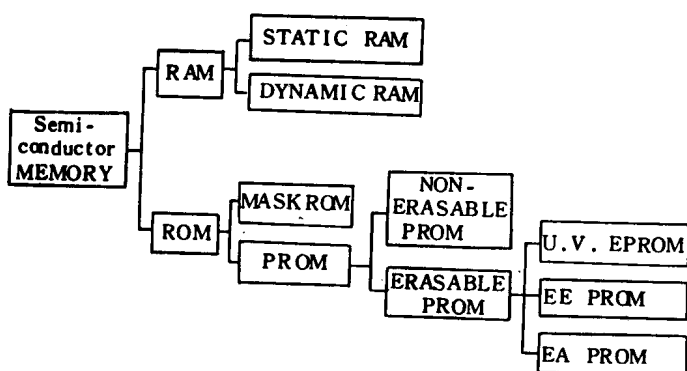


圖 3-4.1 半導體記憶分類圖