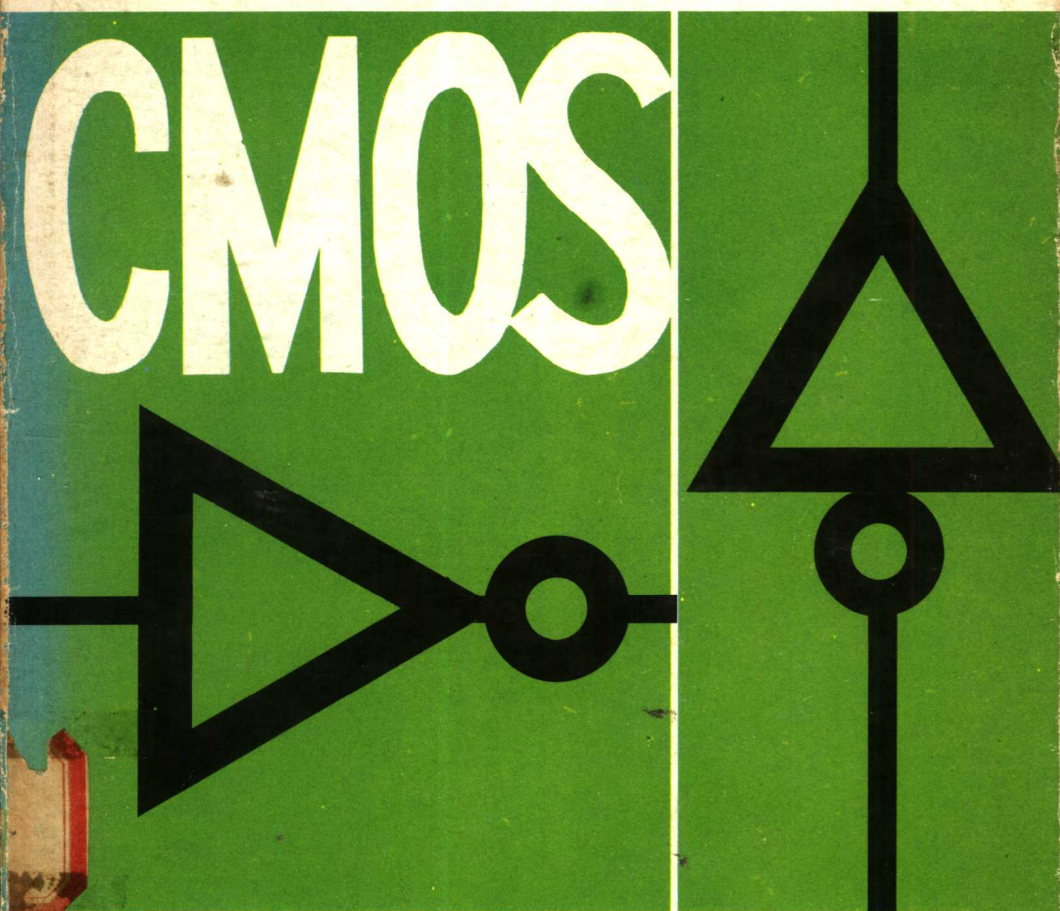


**RCA**

# CMOS 積體電路

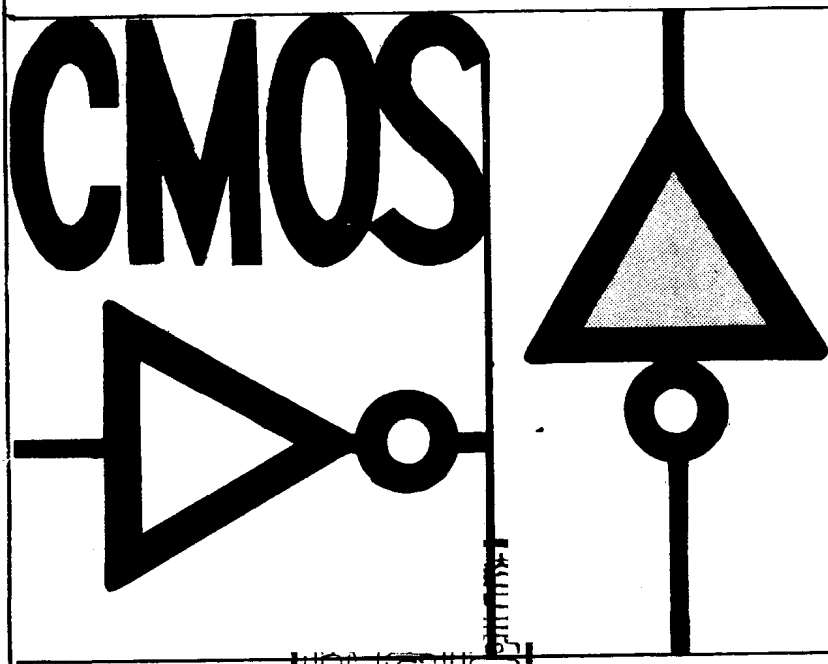
胡曾淵 李海水編著



啟學科技系列 ②⑥

# **RCA** **CMOS 積體電路**

胡曾淵 李海水 編著



# 目 錄

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 使用本書的方式 .....                        | 1  |
| 第一章 基本元件及其特徵 .....                   | 3  |
| 第二章 基本電路及其特性 .....                   | 25 |
| 第三章 RCA COS / MOS 電路 .....           | 42 |
| 第四章 COS / MOS 之封裝及分類 .....           | 65 |
| 第五章 設計因素 .....                       | 71 |
| 第六章 慣用電路和複雜電路 .....                  | 81 |
| 附錄 1975 年 RCA 各類形 CMOS 電路特色及應用 ..... | 95 |

## 使用本書的方式

這本書是以提綱主動式(Programmed Instruction)的教學法，使學者能以事半功倍的效率，按步就班的從每一欄(Frames)的說明中，由淺入深循序去獲得學習的成果，並隨即以所附的問題來自測瞭解的程度；倘若你發現自己的想法未盡與題解吻合，則可重新複習前面的說明，直到自己徹底瞭解，並能正確寫出解答為止。

雖然我們在每欄的問題後面，均把正確的題解附在下面的答案欄內，可是奉勸學者最好在回答問題時以一張小卡片將題解暫時先掩起來；這樣更能測出你真正領悟的程度。

為證實你自己已瞭解這本書的使用方法，請你不妨試回答下面這欄問題。

1. 提綱主動式的學習法，是以深入淺出的原則；由連續性的漸進學習方式來學習的；因此你將可以用下面的那一種方式來獲得本書精髓？

- a. 讀完一本書，再由一次測驗中來獲得。
- b. 聽完一段演講，再由一次測驗中來獲得。
- c. 在肯定瞭解這一欄的說明後，再進入下一欄學習。

Ans. c

你可自上一組的右欄中得到正確的答案是 C。

既然你已經明白使用本書的方法，因此我們可把這本主動學習書籍的幾項特點教授給你，使你有自信能在讀完本書後得到一些心得。

1. 本書進度之安排，是一種完全按照學者自我最佳控制的學習速度來設計的一種最有效方法。
2. 當你循序學到某一欄時，發現自己的想法與題解有出入時，你就應該立即停下來，研究一下自己的思維與這一組說明不合之處。
3. 在未作答之前，先將題解用一張小卡片暫時掩起，等你記下自己的答案之後，再來與題解作一番訂正的作答。
4. 你最好循著每一欄的說明來作答。
5. 無論你用何種方式回答問題務請勾出正確的答案；填入適當的字眼或甚至繪出你心目中的想法，我們建議你最好完全忠實地用筆記下來，因為這才是你要熟習和掌握本書精華的最有效方法。

## 1

# 基本元件及其特徵

## 引言：

近年來，爲了處理數位資料 (Digital Data)，所生產的各種類型的元件，正如雨後春筍般的即時應景。所謂數位資料即是以一串特定電壓來傳送的資料；而類比資料則是靠連續變化的電壓來傳送的資料。

在選用這些使人眼花撩亂的數位元件之時最爲令人注意，而列爲考慮的因素通常有下列幾項：電源供給、功率耗消、各種可靠性、抗雜音力 (Noise Immunity)、成本工作速率、與其他元件的匹配能力、產品來源的多寡等幾個重要因素。

在這本書裡所列舉的許多 CMOS 積體電路均能滿足前述各因素之最高規格要求之上乘產品；目前多數一般數位電路之應用甚至亦只不過 10 MHz，這對考驗 CMOS 的能力是綽綽有餘的，況且還可利用它的低功率消耗，高抗雜音力 (High Noise Immunity) 與對溫度之高穩度等許多優點，可完成許多新的應用和意想不到的好處。

一般對 CMOS (或美國無線電公司 RCA 的專有稱呼 COS/MOS) 的名稱是取「互補對稱金氧半導體」(Complementary-Symmetry Metal Oxide Semiconductor)

的幾個字首縮寫而成的。在本書的各種基本元件說明裡，你可很迅速的從它們的簡單原理中，對金氧半場效電晶體 (MOSFET) 的結構，傳達動作以及如何組成互補對稱型金氧半 (CMOS) 來應用到邏輯電路上，建立一個明晰的觀念。

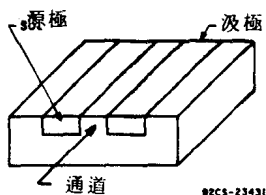
在第一章裡是從最基本的輸入輸出特性，講到最基本的一種 CMOS 設備——反相器 (Inverter) 的接法與動作原理。

Complementary-  
Symmetry  
Metal Oxide Sem-  
iconductor.

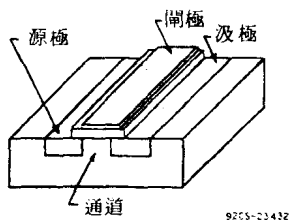
1. 當你讀完上面的說明，你可回憶出 CMOS 或 COS / MOS 是那幾個英文字的縮寫？  
\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

2. 在半導體中的電流我們常是以帶負電的電子 (Electron)，或是帶正電的電洞 (Hole) 來形成的。而電洞確實是由於晶體材料 (Crystalline Material) 中價鍵結構 (Structurally Bound) 或晶格 (Lattice) 上的電子因獲足夠能量散逸而去所造成的，而這個留下來的空缺 (Vacancy)，亦的確能在晶體材料中以傳送正電荷的角色自居，因此我們亦將之視為一種電流載子 (Current Carrier)。在半導體設備裡，若是以電子、電洞兩種同時為電流載子時稱之為雙極性 (Bipolar) 設備，反之若只以一種 (電子或電洞) 為載子時則稱為單極 (Unipolar) 設備，而 CMOS 則以單極性的 MOS 電晶體組成的——亦即是 CMOS 中每個電晶體分別只用一種載子 (電子或電洞) 來達成傳導的動作。

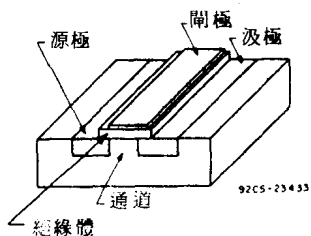
| 繼續讀下一組說明。                                                                                                                                                                                                              | 本組毋須解答 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <p>3. 在MOS 電晶體中是用何種電流載子（選一）</p> <p>a. 只有電子</p> <p>b. 只有電洞</p> <p>c. 電子或電洞</p> <p>d. 電子及電洞</p>                                                                                                                          | c.     |
| <p>4. 是否在任一個MOS 電晶體中可同時用電子及電洞來作電流載子（選一）。</p> <p>_____是</p> <p>_____否</p>                                                                                                                                               | 否      |
| <p>5. 從前面第2組的說明裡，你已明白了電洞是因晶體材料中價鍵結構上的電子散逸而去所形成的，因此它正好形成了一種與電子成異性（帶正電）的載子。若一個電子定它的電荷為（<math>-e</math>），那麼一個電洞應帶有何種電荷？_____</p>                                                                                          | +e     |
| <p>6. 一個金氧半導體場效電晶體（MOSFET）→ 簡稱金氧半電晶體是一個單極（Unipolar）電晶體，它的電流通常是由源極（SOURCE）流經接近於半導體表層的通道（Channel）後，再到達汲極（Drain），試標示出下圖中的通道。</p> <div data-bbox="276 1236 532 1404"> </div> <p style="text-align: center;">92C4-23412</p> |        |



7. 由源極流向汲極電流之多寡，是由流經通道之載子——電子或電洞之數目來決定的；而控制這些通道內載子的工作却是由一個鄰近，絕緣（Insulated）的閘極（Gate）靜電場來完成的。試就下圖中標示出絕緣體（Insulator）的位置。



【答】



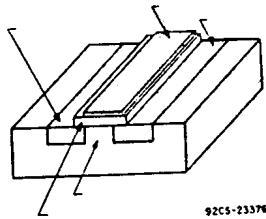
8. 矽的氧化物（Silicon Oxide）是一種非常優異的介電質（Dielectric）或絕緣體（Insulator），在CMOS中正是用它來作為閘極與半導體之間隔離之用；閘極材料是鋁金屬（Aluminium）而晶體本身半導體的

材料當然是用矽。上述之氧化物，金屬及半導體乃是形成金氧半電晶體（MOS Transistor）之主要材料。試說出形成金氧半電晶體，閘極與通道的三種材料為何？

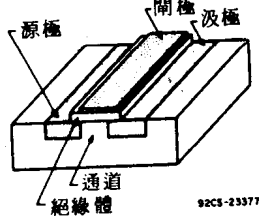
1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

1. 金屬
2. 氧化物
3. 半導體

9. 請你在下圖中標示出源極、汲極、絕緣體及通道的正確位置。



【答】



10. 金氧半電晶體（MOSFET），一般可以用增強式（Enhancement）及乏式（Depletion）二種方法製造而成。其中乏式金氧半電晶體，在閘極電壓為零時，通道內仍有一股電流從源極流向汲極；反之增強式金氧半電晶體中，必須要在閘極上加電壓，方才有電流通過。

|            |                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| a.         | <p>仍有電流自源極流向汲極。</p> <p>a. 乏式金氧半電晶體。</p> <p>b. 增強式金氧半電晶體。</p>                                                                                                                                                                       |
| 不可以        | <p>11. 在互補對稱型金氧半電晶體 (COS / MOS) 的各種製成品中，乃是以增強式為其傳統產品。而我們取增強式的原因，則是利用它可輕而易舉的控制電流的特性——無閘極電壓時無電流通過。</p> <p>因此在 COS / MOS 電晶體中，當閘極電壓為零時 _____ ( 可以；不可以 ) 使電流通過。</p>                                                                    |
| 異性感應<br>通道 | <p>12. 增強式金氧半電晶體的製作原則，乃是當閘極無電壓時，無載子可以在通道內感應一般從源極流向汲極的電流。其真正的原理則是應用加在閘極上的潛位電荷 (Potential Charge)，以異性感應的原理，把閘極下端的異性電荷載子引入通道內；當你發現在通道內有與源極及汲極相同的電荷載子之時，則表示電流可以從源極至汲極暢行無阻了。</p> <p>試問，閘極是用 _____ 原理，來控制源極至汲極的電流，使電荷載子能在 _____ 中流動。</p> |
| 電子         | <p>13. 在通道之中，究竟是由電子或是電洞在流動，則端賴施於被隔離閘極上電壓之正負極性來決定，這裡再請你特別重視這異性感應的原理。</p> <p>試問，若在閘極上施以正電荷，則可在通道內感應何種載子 _____ ( 電子，電洞 )。</p>                                                                                                         |
|            | <p>14. 你可記得金氧半電晶體是單極性 (Unipolar) 的？因此在此通道內只可以正電荷載子 (電洞)，或負電荷載子 (電子)，一次只能單獨一種來形成電流 (即不可</p>                                                                                                                                         |

|                                                                                                                                                                                                                     |                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| <p>二者同時存在通道中)。所以我們定名以電子來形成電流的通道稱為N型通道(N-Channel)金氧半場效電晶體(MOSFET),而由電洞形成電流的通道稱P型通道(P-Channel)金氧半場效電晶體。</p> <p>試問,當一個金氧半電晶體的閘極施以正電壓時,在通道內可感應電子形成電流,則這種電晶體被稱為_____型(P或N)通道設備。</p>                                      | N 型                       |
| <p>15. 試由下列四種可能型式的金氧半電晶體中,選出互補對稱金氧半電晶體(CMOS)所採用的種型(每型你均要考慮)。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. N型通道增強式金氧半電晶體。</li> <li>b. N型通道乏式金氧半電晶體。</li> <li>c. P型通道增強式金氧半電晶體。</li> <li>d. P型通道乏式金氧半電晶體。</li> </ul> | a 及 c                     |
| <p>16. 為使P型通道增強式金氧半電晶體,可有電流流通,則在閘極上應加_____ (正/負)電壓。</p>                                                                                                                                                             | 負(若你答錯了請再複習一下第13、14兩欄的說明) |
| <p>17. 在CMOS的邏輯電路之中你可選用P型或N型通道之任何一種電晶體來完成你的設計;例如你只選用N型金氧半電晶體來完全的邏輯電路,即冠以NMOS的設計,反之,若全部以P型金氧半電晶體來完全的,就稱為_____。</p>                                                                                                   | PMOS 的設計                  |
| <p>18. 我們可儘取以PMOS及NMOS互補形成CMOS之許多長處:例如它的功率散逸低(Lower Power Consumption),反應速度快(Higher Speed)且只須一</p>                                                                                                                  |                           |

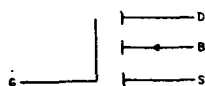
個電源供給（即毋須有兩個以上的偏壓供給）即可順利的工作。其它諸如此類的許多優點，將會在以後的幾欄說明內詳加討論；此地僅先提出三種以加深讀者對這些 CMOS 特性的印象。

試問；CMOS 的有那三種重要的長處：

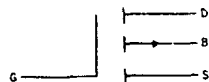
1. 功率耗損低
2. 反應速度快
3. 只需一個電源供給

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

19. 下面是二個增強式金氧半電晶體的符號：



N 通道增強式



P 通道增強式

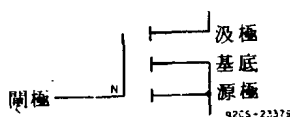
92CS-2337B

你可由圖中箭頭的指向來區別電晶體是屬 P 型或 N 型的；通常在乏式電晶體（非 CMOS 所採取）裡，我們是將源極（S）經基底（B）（Substrate）至汲極（D）以實線（Solid line）連接起來以表示乏式的閘極在零偏壓的狀況下仍可能有電流。

試問，在 CMOS 中的金氧半電晶體是以 \_\_\_\_\_（實線 / 虛線）來表示源極，基底及汲極。

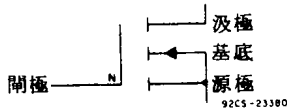
虛線（因 CMOS 是用增強式的）

20. 以下圖繪出你心目中認為是最正確的 N 型通道增強式金氧半電晶體。



92CS-2337B

【答】

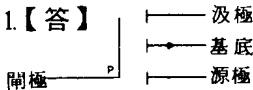


註：基底在元件的內部就已經先與源極連接在一塊，  
在P型通道乃是將它倆再與正電源端  $V_{DD}$  接上；  
而在N型通道則是再與負電源端  $V_{SS}$  接上，即如  
上圖所示之情形。

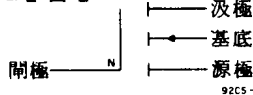
21. 請你繪出下面兩種元件的符號，並在圖上標示出開極、基底、源極及汲極。

1. P型通道增強式金氧半電晶體。
2. N型通道增強式金氧半電晶體。

1.【答】



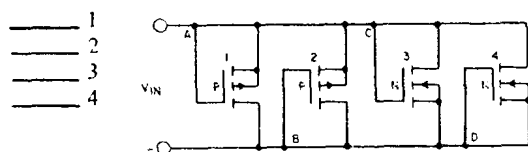
2.【答】



22. 我們可以在增強式金氧半電晶體的開極，（如圖中的A，B，C，D各點），施以不同的電壓，而使之動作宛如啓（OFF）閉（ON）靈巧的開關。

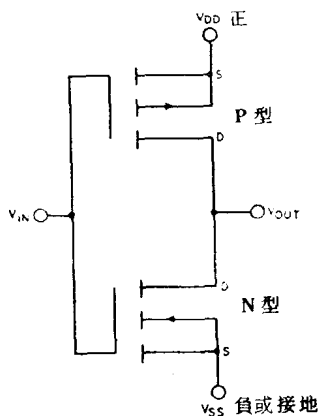
在開極加正電壓則可使N型金氧半電晶體ON；反之在P型金氧半電晶體的開極上須加負電壓方可使之ON。

在下圖中那幾個金氧半電晶體是會在ON的狀態？



2 及 3.

23. 下圖是一個基本的互補式金氧半反相器電路(BASIC COS/MOS INVERTER)。



請你特別留意圖中的兩個互補的電晶體（一個是 P 型，另一個是 N 型）；它們在二個電源供給( $V_{DD}$  與  $V_{SS}$ )之間，正好是串聯在一塊兒；而它倆的閘極被聯在一道作為輸入端；倆個汲極聯成輸出端，試問反相器電路中的 P 型與 N 型電晶體的閘極及 \_\_\_\_\_ 極是分別聯在一塊兒的。

汲極

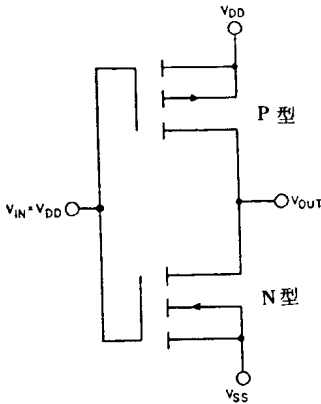
24. 試問；在反相器電路中 P 型電晶體的源極是與 \_\_\_\_\_ 端相聯接。

$V_{DD}$

25. 試由第23組的圖形中指出， $V_{SS}$ 端是與 \_\_\_\_\_  
型電晶體的 \_\_\_\_\_ 極聯接。

N；源極

26. 通常我們將CMOS的 $V_{DD}$ 當作邏輯的1， $V_{SS}$ 當作邏輯的0，來表示各種邏輯的訊號（即 $V_{IN}$ 及 $V_{OUT}$ ）。  
在下圖裡若 $V_{IN} = V_{DD}$ 。



試問；此電路中，P型電晶體是屬於何種狀況 \_\_\_\_\_  
(ON/OFF)；N型電晶體則又是屬何種狀況 \_\_\_\_\_  
(ON/OFF)。

P 型 OFF  
N 型 ON

27. 正如前圖所示；當P型在OFF時，它的源極與汲極之間有一個高的阻抗(High impedance)；反之N型在ON狀況下，源極與汲極只有一個低阻抗。  
試問，在上述的狀況之下 $V_{OUT} =$  \_\_\_\_\_ ( $V_{DD} / V_{SS}$ )。

$V_{SS}$  (與 $V_{IN}$ 相異)

28. 回憶一下前面兩組說明給你的電路工作概念——輸入 $V_{DD}$  (邏輯1)，輸出 $V_{SS}$  (邏輯0)此不正是一個反相器的功能具體表現嗎？

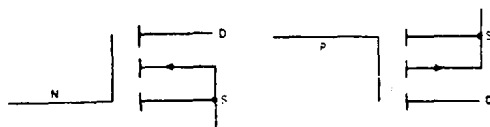
試問；若對反相器使 $V_{IN} = V_{SS}$ ，則在輸出端 $V_{OUT} =$  \_\_\_\_\_

$V_{DD}$ (與  $V_{IN}$  相異)

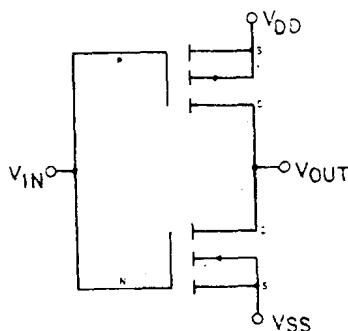
電容  
5 pF

29. 在第 7, 8, 9 組說明, 你可還記得, 在金氧半電晶體上, 閘極是以一層氧化物與其他部份隔絕的 (Insulate), 由這層特性良好的介質, 使閘極至源極或汲極形成一個無窮大的電阻, 因此使閘極與其它部份形成了一個電容的特性; 在一般典型的反相器內, 這種電容大約值是 5 微微法拉 (pF)。
- 試問; 反相器輸入端的阻抗, 在基本上是屬\_\_\_\_\_性, 其值為\_\_\_\_\_。

30. 請你將下圖的電晶體, 作一個反相器標上  $V_{IN}$ ,  $V_{OUT}$ ,  $V_{DD}$  及  $V_{SS}$  的位置。



【答】



若你的答案錯了, 請  
你再複習第23 欄說明