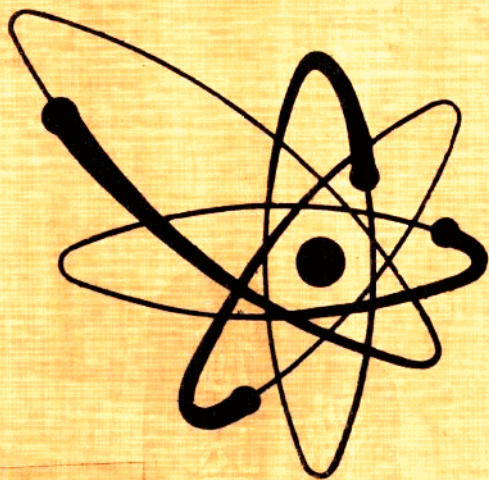


電晶體電路分析

松 明 編著
村 鑑 校閱
鄒 黃



無線電界雜誌社 印行

電晶體電路分析

目 錄

第一章 電晶體之基本原理.....	(11)
(壹) 物質之結構	(11)
(一) 概 述	(11)
(二) 物質通論.....	(11)
(三) 原子之結構	(12)
(四) 電子、質子、中子.....	(15)
(五) 電的平衡及不平衡.....	(17)
(六) 自由電子.....	(18)
(七) 導體，半導體及絕緣體.....	(18)
(貳) 晶體，施體，受體及孔	(20)
(一) 概 述	(20)
(二) 純 晶體.....	(21)
(三) 雜 質	(23)
(四) N 型 與施體	(23)
(五) P 型 與受體	(25)
(六) 孔之移動.....	(29)
(七) 孔之性質及特徵	(29)
(八) 正電荷之移動	(29)
(九) 以孔作為載流體	(32)
(叁) PN 接合	(36)
(一) 概 述	(36)
(二) P N 接合通論	(36)

(2)

(三) 接口障壁	(38)
(四) P N 接口與逆向偏壓	(38)
(五) P N 接口與順向偏壓	(40)
(六) 二極體之工作	(42)
(肆) 電晶體	(43)
(一) 概 述	(43)
(二) P N P 電晶體	(44)
(三) N P N 電晶體	(47)
(四) 電晶體與電子管	(47)
第二章 各種二極體簡介	(55)
(一) 及 之電特性	(51)
(二) 普通 P N 接合二極體	(51)
(三) 稽納二極體	(53)
(四) 稽納二極體之應用	(54)
(五) 接口電容之應用	(54)
(六) 透納二極體	(56)
(七) 點接觸或及其他二極體	(56)
第三章 電晶體放大器基本論	(59)
(一) 參考代號及圖解符號	(59)
(二) 電晶體放大器分析通則	(60)
(三) 電晶體在電路中之基本配置	(60)
(四) 偏壓供給法	(61)
(五) 電晶體各極之電流分配	(64)
(六) 共同基極電路之信號相位關係	(65)
(七) 共同射極電路之信號相位關係	(65)
(八) 共同集極電路之信號相位關係	(65)
(九) 基極引線電流	(66)

第四章 利用電阻器之偏穩定法... (69)

(一)總論... (69)

(二)逆向偏壓之集極電流 (I_{CBO})... (69)

(三)射基接合電阻... (70)

(四)偏壓穩定電路... (71)

(五)電阻器穩定電路 (通用偏壓電路)... (71)

(六)電流穩定因數... (72)

(七)基極電阻與射極電阻... (73)

(八)其他偏壓供給法... (74)

(九)電壓穩定因數... (75)

第五章 利用熱力變阻器之偏穩定法... (77)

(一)概 述... (77)

(二)射極電壓控制... (77)

(三)基極電壓控制... (78)

(四)熱力變阻器之缺點... (78)

第六章 利用二極體及電晶體之偏壓穩定法... (80)

(甲) 二極體穩定電路... (80)

(一)概 述... (80)

(二)順向偏壓單二極體穩定法... (80)

(三)雙二極穩定法... (81)

(四)逆向偏壓單二極穩定法... (83)

(乙) 電晶體穩定電路... (84)

(一)概 述... (84)

(二)用前級之集極電流調節後級之順向偏壓... (86)

(丙) 供電電壓穩定法... (87)

(一)潰決二極體電壓調整法... (87)

(二)潰決二極體溫度補償法... (89)

(4)

(三)用接合二極體擔任湧浪保護 (90)

第七章 利用特性曲線及圖表作分析與比較..(92)

(壹) 一般分析 (92)

(一)輸出特性曲線與增益之計算 (92)

(二)動態轉移特性曲線 (95)

(三)恒定功率消耗線 (97)

(四)極際電答 (100)

(貳) 各種基本電路之比較 (102)

(一)電阻之比較..... (102)

(二)增益之比較 (103)

(三)總比較 (105)

第八章 聲頻放大器.....(107)

(壹) 聲頻放大器簡介 (107)

(一)概 述 (107)

(二)放大器依工作點之分類 (107)

(貳) 前置放大器 (108)

(一)概 述 (108)

(二)雜音因數 (108)

(三)前置放大器之輸入電阻 (110)

(四)兩級直接耦合前置放大器 (113)

(五)三級電阻電容耦合前置放大器 (114)

(叁) 耦合網路、音量控制、音調控制 (116)

(一)概 述 (116)

(二)電阻電容耦合 (117)

(三)變壓器耦合放大器 (117)

(四)阻抗耦合..... (118)

(五)直接耦合 (118)

(六)電子管與電晶體音量控制器之比較	(119)
(七)音量控制之要求條件	(120)
(八)不滿意之音量控制電路	(120)
(九)滿意的音量控制電路	(122)
(十)變壓器耦合電路之音量控制	(123)
(十一)音調控制	(125)
(肆) 倒相及推動級	(125)
(一)概 述	(125)
(二)單級倒相器	(125)
(三)兩級倒相器(共同射極及共同基極式)	(127)
(四)兩級倒相器(共同射極式)	(128)
(伍) 功率放大器	(129)
(一)概 述	(129)
(二)B類推挽式零壓放大器	(130)
(三)B類推挽式低壓放大器	(132)
(四)B類推挽放大器(電路及兩極體耦合)	(132)
第九章 特種聲頻放大電路	(136)
(壹) 互補對稱電路	(136)
(一)概 述	(136)
(二)互補對稱電路之基本形態	(137)
(三)其他互補對稱式電路	(139)
(貳) 複合連接之電晶體	(142)
(一)概 述	(142)
(二)複合連接法	(143)
(三)複合連接法在互補對稱電路中之應用	(145)
(參) 橋式連接法	(146)
(一)基本橋式電路	(146)

(6)

(二)互補對稱橋式電路	(147)
(三)用四隻 P N P 電晶體之橋式電路	(148)
(四)電晶體橋式放大器之優點	(150)
第十章 調諧放大器	(152)
(壹) 耦合電路	(152)
(一)概 述	(152)
(二)諧振電路	(152)
(三)電晶體及耦合網路之阻抗	(153)
(四)變壓器耦合 (調諧之初級)	(156)
(五)自耦變壓器耦合 (調諧之初級)	(157)
(六)電容耦合	(158)
(七)級間耦合, 雙調諧網路	(160)
(八)增益均衡法	(162)
(貳) 中和與單向化	(162)
(一)概 述	(162)
(二)單向化之共同基極放大器	(163)
(三)共同射極放大器 (部份射極反再生)	(165)
(四)共同射極放大器 (橋式單向化)	(166)
(叁) 自動增益控制	(168)
(一)概 述	(168)
(二)射極電流或集極電壓之自動控制	(168)
(三)附設自動增益控制之典型調諧放大器	(172)
第十一章 寬帶放大器	(173)
(一)概 述	(173)
(二)耦合電路	(175)
(三)頻率限制之因素	(175)
(四)低頻率之相位失真	(176)

(五)高頻率補償.....	(178)
(六)低頻率補償.....	(180)
(七)方波之特性.....	(180)
(八)同時作高及低頻率補償	(181)
第十二章 振盪器.....	(182)
(壹)簡 介	(182)
(一)通 則	(182)
(二)初步及持續之振盪	(184)
(三)頻率穩定性.....	(185)
(四)基本電晶體振盪器電路	(188)
(貳) LC 諧振反饋振盪器	(189)
(一)反饋線圈振盪器	(189)
(二)考畢子式及克拉普振盪器	(192)
(三)哈特來振盪器.....	(194)
(四)晶體振盪器	(198)
(叁) 電阻電容反饋振盪器	(202)
(一)相移(或移相)振盪器	(202)
(二)文橋振盪器	(205)
(肆) 自由運行式非正弦波振盪器	(206)
(一)概述——弦張振盪器	(206)
(二)復震振盪器	(208)
(三)可飽和心子方波振盪器.....	(211)
(四)阻斷振盪器	(215)
第十三章 脈波及開關電路.....	(216)
(壹) 電晶體之開閉(轉換)特性	(216)
(一)概 述	(216)
(二)大信號工作.....	(217)

(三)大信號脈波之特性	(224)
(四)漏電電流	(226)
(五)截止及飽和箝位	(228)
(貳)受引發電路	(234)
(一)受引發電路概述	(234)
(二)獨定複震振盪器	(235)
(三)受引發之阻斷振盪器	(236)
(四)兩定複震振盪器電路	(239)
(五)引發脈波導向法	(242)
(六)非飽和兩定複震振盪器	(248)
(七)成方電路(史蜜特電路)	(249)
第十四章 閘制電路	(252)
(一)概 述	(252)
(二)「或」閘及「亦非」閘	(252)
(三)「與」閘及「非與」閘	(256)
(四)「與或」閘	(259)
(五)串聯閘制電路	(260)
(六)分路閘制電路(抑制閘)	(261)
第十五章 調變	(265)
(一)概 述	(265)
(二)振幅調變之建立	(265)
(三)對放大器施行振幅調變之方法	(265)
(四)對振盪器施行振幅調變之方法	(269)
(五)受幅調的放大器或振盪器之應用	(271)
(六)頻率調變之建立	(272)
(七)受頻調的振盪器之應用	(275)
第十六章 混波及解調	(276)

(壹) 混 波	(276)
(一) 概 述	(276)
(二) 振盪器信號之注入法	(276)
(三) 混波器	(278)
(四) 變頻器	(278)
(貳) 解調(檢波)	(279)
(一) 概 述	(280)
(二) 二極體 A M 檢波器	(280)
(三) 電晶體 A M 檢波器	(282)
(四) F M 解調, 斜坡檢波器	(284)
(五) F M 解調, 鑑別器	(285)
(六) F M 解調, 比率檢波器	(287)
第十七章 電晶體之各種參數, 等效電路及特性 曲線	(290)
(壹) 簡 介	(290)
(一) 概 述	(290)
(二) 共同射極放大器	(290)
(貳) 混合參數	(292)
(一) 從屬變量及獨立變量之選擇	(292)
(二) 以基極電流及集極電壓作為獨立變量	(294)
(三) 輸入電路方程式之建立	(295)
(四) 輸出電路方程式之建立	(297)
(五) 輸入電路之靜態特性曲線	(299)
(六) 輸出電路之靜態特性曲線	(303)
(七) 混合等效電路之構成	(306)
(八) 電流增益公式之演出	(308)
(九) 電壓增益公式之演出	(309)
(十) 功率增益公式之演出	(310)

(二)輸入電阻公式之演出	(311)
(三)輸出電阻公式之演出	(312)
(三)混合參數之應用實例	(315)
 (參) 共同基極及共同集極放大器之混合參數	(318)
(一)概 述	(318)
(二)共同基極組態之混合參數、靜態特性曲線，及 等效電路	(318)
(三)共同集極組態之混合參數，靜態特性曲線，及 等效電路	(321)
(四)輸入電阻，輸出電阻，及增益	(324)
(五)混合參數之典型值	(326)
(肆) 開路(斷路)參數與短路參數	(328)
(一)開路(斷路)參數	(328)
(二)開路參數之缺點	(330)
(三)短路參數	(330)
(四)短路參數之缺點	(333)
(五)開路、短路、與混合參數	(333)
第十八章 其他半導體器件	(334)
(一)概 述	(334)
(二)點接觸電晶體	(334)
(三)光敏半導體	(334)
(四)四極電晶體	(337)
(五)空間電荷電晶體	(337)
(六)單接合電晶體	(341)
(七)四層二極體	(342)

電晶體電路分析

第一章 電晶體之基本原理

(壹) 物質之結構

(一) 概 述

要了解電晶體內部傳導機構的原理，就需要有關物質結構的知識。

電晶體是由半導體物質構成。導體與絕緣物的性質及特徵請參看本社出版之「電子學基礎」或一般電學書籍。導體、半導體、與絕緣物的性質及特徵之比較見下面(壹)之(七)節。在電晶體中所用的半導體之性質及特徵見下面(貳)之(一)至(五)節。

(二) 物質通論

物質可予定義為「任何有重量(或質量)而佔有空間之實質」。物質的例子為空氣、水、服裝、及人身。由這些例子可見物質可為三種狀態，即氣體、液體、和固體。天然見到的物質可能為元素，也可能為化合物。元素和化合物都是由分子、原子、及小於原子之質點構成。

(1) 元素

物質係由一種或更多種叫做「元素」的基本材料構成。科學家已証實大約有 102 種元素存在，並相

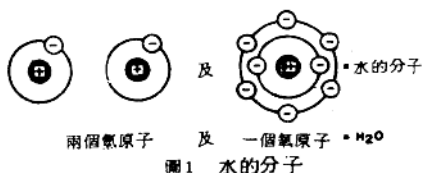
信還有其他的元素。在化學中、元素之定義為「不能用一般化學變化予以分解(分裂為幾種物質)，也不能用幾種物質化合組成的東西」。銅、鐵、鋁、及金為金屬元素的例子、硫、氫、氧為非金屬元素的例子。

(2) 化合物

由數種(多於一種)元素組成之物質，而其性質不同於各組成元素者，稱為化合物。例如，水為兩份氫和一份氧組成，所以水為化合物。

(3) 分 子

分子之定義為「物質之可獨立存在的最小質點，而仍然保有原物質的一切性質者」。若將一滴水(一種化合物)分裂之，直至變為一小到不能再小之微粒，而仍然為水者，則稱為「水的分子」。要獲得關於分子大小的觀念，可設想有一石塊，首先被分裂為二，其次分裂為四，為八……，如此繼續行之。用這種方法所得的最小微粒應為分子。不過，事實上，要想把石頭



擊碎成分子為不可能；我們只能把它碎成灰塵，一小粒灰塵係由數以千計的分子組成。

(4) 原子

原子之定義為「用普通的化學變化所能分開而得到的元素之最小部份」。一特定元素之原子平均質量都相同，但與其他元素的原子平均質量却不相等。為簡單起見，原子可視為從元素分開之一部份，而仍保持元素識別特性之最小質點。圖1示水之分子是由兩個氫原子和一個氧原子組成。因為有大約102種已知元素，所以必定有102種不同的原子，或者說，每一種元素有一不同的原子。一切物質都是由一種或更多種的原子組成。猶如數以萬計的英文字都是由適當的字母組成，數以萬計的不同物質也是由適當的原子以化學組合而成。

(4) 亞原子質點

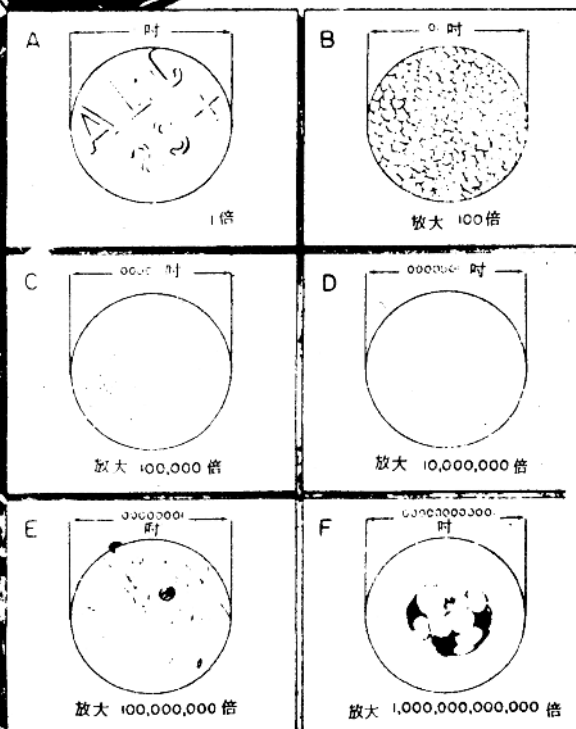
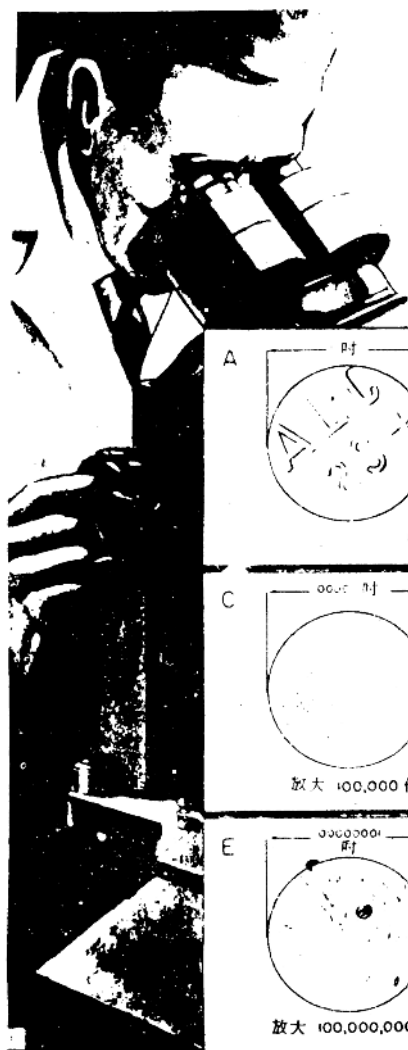
雖然人們在從前相信原子為物質最小的質點，但現在已知原子可再予分裂為更小的質點，稱為亞原子質點 (subatomic particles)。在下面第(三)節中將解釋這些亞原子質點之性質。

(三) 原子之結構

圖2示原子與物質之關係，及原子與亞原子質點之關係。此圖中之各部份，除A及B外，均為假想者。它們所代表的物質之一部份是很小很小的，即使用最強力的顯微鏡也無法看見。科學家根據實驗與研究，已能知道關於亞原子質點之事，由已發展之事實，已能對原子之構造給予可了解之解釋。所以，圖2 C, D, E, 及F可以說是科學家所相信的原子結構之代表，也就是說，假如鋁元素的微小細片可以看得見，看起來就如圖所示。若有一假想的濕微鏡可用以檢查物質

STRUCTURE OF ALUMINUM

圖 2 鋁的結構



(14)

之微小質點，而所檢查者為一極小片的鋁，則在此顯微鏡下看來，就幾乎恰像圖 2 所示。

在圖 2 A 中，放大作用為一，亦即無放大，而直接觀察一片鋁的情形。

在圖 2 B 中，放大作用使鋁片之直徑為原有的一百倍。可看到鋁的表面並非完美平滑，而是一種結晶形的東西，其結晶體之大小視此金屬原先所受的熱處理及機械處理而定。注意各晶體是極小的，形狀不一律，排列也無規則。晶體表現一特殊的微粒結構，稱為「多晶體結構」(polycrystalline structure)。銅及鋁等導體在顯微鏡下看來顯示為多晶體之結構。多晶體結構物質的性質及特徵與單晶體物質(single crystal material)的大不相同。鎢及矽被處理而用於電晶體中時為單晶體物質。

若調節假想的顯微鏡，使放大 100,000 倍直徑(圖 2 C)，則可察覺有個別原子或亞原子質點存在。

在圖 2 D 中，放大為一千萬倍直徑。在此放大倍數，可看到各個

點子或小體大約為球形，並有略帶朦朧之輪廓。這些點子為鋁原子，在它們之間無可察覺之差別。要測量任一鋁原子之直徑是可能的，但因為原子的邊緣模糊不清，很難決定一原子在何處終結，而另一原子在何處開始。

需要一億倍的直徑放大才可以使原子的朦朧(模糊)邊緣消失。現在，單獨一個鋁原子就佔據了整個面積(圖 2 E)。這個單獨的鋁原子有些像太陽系，因為它有一中心體，叫做「核」，有若干更小的質點(電子)環繞着核，依大約為橢圓形的軌道而移動〔一原子的電子之軌道可能有若干層，每層稱為一「殼」(shell)或一「環」(ring)〕。由於電子在軌道中移動之途徑特殊，所以要決定一原子的電子之數目極為不易。但已經發現，在鋁原子中有 13 個電子。經仔細觀察發現，在此原子中的每一電子都有一電荷，此電荷與任何其他電子的電荷相同。電子的電荷為現已發現的最小電荷。它被稱為「元電荷」(elemental charge)。〔電子的電荷為美國物理學家米立甘(R. A. Millikan)首次測得

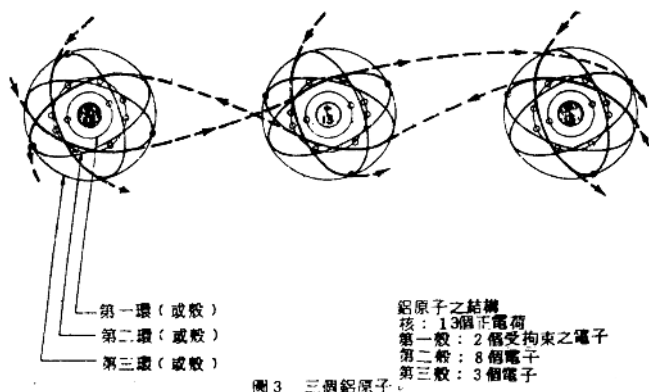


圖3 三個鋁原子。

，而被任意地稱為「負電荷」(negative charge)。]於是，我們說鋁原子含有 13 個負電的元電荷。原子核也有電荷，稱為「正電荷」，現已決定，此正電荷之量為一個電子的負電荷之十三倍。由於在核中有十三個正電的元電荷，所以整個原子為電中和 (electrically neutral)。也就是說，鋁原子含有等量的正電荷及負電荷，亦即等量的相反性質之電荷。

若增加放大之倍數，直至僅有原子核佔據在觀察區，則放大的原子核看來像一束葡萄 (圖 2 F)，含有 27 個質點，其中的 13 個各

載有一正元電荷。叫做質子 (proton)，其餘 14 個質點無電荷，稱為中子 (neutron)。

圖 3 表示鋁被放大至僅有少數鋁原子佔據在整個觀察區。在外層 (第三層，亦即靠近原子邊緣者) 運行的電子並不永遠被限制在同一原子中，而有時可能動作紊亂，而在各原子之間往來行動。在外圍軌道中紊亂移動之電子叫做自由電子 (free electrons)。

(四) 電子、質子、中子

原子由帶正電之核及帶負電之電子組成，電子環繞核子，以極高之速度運行。電子說 (electron

(16)

theory) 謂一切元素(如銅、金、氧氣等)之電子構造均有類似之點,即均有在中心之核及繞行之電子。

(I) 原子結構之舉例

圖4為一切原子中最簡單的氫原子之結構。其中包含一電子繞核運行,而核中僅有一質子。因為電子的負電荷剛好等於質子的正電荷,所以原子係在電的平衡狀態,亦即中和。

圖4 B代表鋁原子,核內含有

14個中子和13個質子。13個質子的正電荷恰好被13個繞行電子的負電荷平衡,故原子的總電荷為中性。注意在此結構中,最外層的軌道有三個電子。此種佈置之重要性將在下面第(貳)之(五)節中解釋。

磷原子(圖4 C)為一較為複雜之結構。它共有15個軌道電子,繞行於三層分開的軌道中,在最外環(最外層軌道)中有五個電子。這種佈置之重要性將在第(貳)

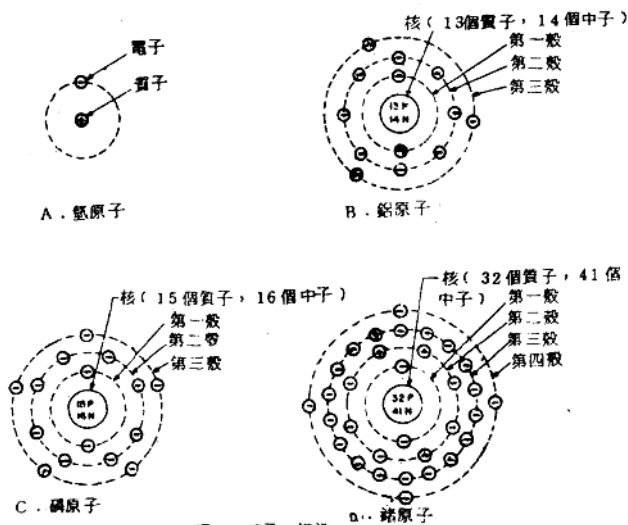


圖4 原子之構造。