

矽控整流器與 四層二極管

SCR AND PNP



麥德林編著 · 香港萬里書店出版

矽控整流器與四層二極管

SCR and PNP

麥德林編著

香港萬里書店出版

半導體普及叢書

可控整流器與四層二極管

麥德林 編著

出版者：萬里書店

香港北角英皇道486號三樓

電話：5-632411 & 5-632412

承印者：海聲印刷廠

柴灣新安街四號15樓B座

定價：港幣三元四角

版權所有 * 不准翻印

(一九七八年四月印刷)

自序

四層 (PNPN) 半導體元件，是一種多用途、高效率 and 價廉的固體元件。它相當一個 PNP 和一個 NPN 晶體管連接在一起，由於有正回輸的作用，所以功率增益有很大的增加，遠比普通晶體管為高。它的接線簡單，需用較少的外部零件和具有較緊密的參數限制。

四層 (PNPN) 半導體元件產品種類很多，例如：矽控整流器 (SCR)、光矽控整流器 (LASCR)、四層二極管 (Four Layers Diode)、TRIAC 和 DIAC、PUT 等多種。它的用途很大，可作靜態 AC 或 DC 功率開關器，控制功率整流管、相位控制、可變電壓 DC 電源供給器、DC 變 AC 轉換器或低壓 DC 變高壓 DC 轉換器等等。

由於 SCR 和四層 (PNPN) 器件在工業上大量的應用，從事工業技術的人員，對 SCR 這些器件不能缺乏基本的知識，這是觸發筆者寫這本書的原因。為了配合普及叢書的宗旨，所以文字盡量簡淺，希望本書能對讀者認識 SCR 有些幫助。

麥德林 1972年 春於東南電專

目 次

第一章 矽控整流器 (SCR)	1
1. SCR的自然現象	2
2. SCR的構造	3
3. SCR在直流電壓下的工作原理	6
4. SCR在交流電壓下的工作原理	11
5. SCR的最大規定值	14
6. 各種SCR實用電路	15
用電池控制的SCR半波整流器	15
由二極管控制的SCR半波整流器	16
有相位控制的電源供給器	18
直流大功率開關器	20
交流大功率開關器	21
大功率交流開關器	21
直流變交流轉換器	21
第二章 四層二極管(FOUR-LAYERS DIODE)	24
1. 四層二極管的構造	24
2. 四層二極管的最大規定值	28

3. 四層二極管的電路	29
鋸齒波振盪器	30
脈衝產生器	31
多諧波振盪器	33
自走多諧波振盪器	34
單穩態(一觸式)多諧波振盪器	36
雙穩態(起伏式)多諧波振盪器	37
十進計算器	38
直流變交流轉換器	40
磁記憶電路	42
第三章 光控式矽控管(LASCR)	46
1. LASCR的工作原理和構造	46
2. LASCR的用途	52
光繼電器	52
光控推動器	54
邏輯電路	56
光電延遲繼電器	57
光控式閃光燈(間接閃光燈)	58
第四章 三極雙向閘流管和交流二極管 (TRIAC AND DIAC)	60
1. TRIAC 的構造和特性曲線	61
2. TRIAC的基本用途	63
靜態開關器	63
相位控制器	65

UJT的構造	66
UJT的振盪週率	67
DIAC的構造和工作原理	69
TRIAC的應用實例	72
標準的調光電路	72
聲頻訊號控制光度	73
水位檢出器	73
光控AC開關器	74
馬達速度控制器	75

第五章 其他四層(PNPN)器件..... 76

1. PUT 的基本原理和用途 76
 - 弛張振盪器 81
 - 音調脈衝振盪器 82
 - 電子計時器 84
2. 低電平開關器件——四層(PNPN)晶體管 85

第一章 矽控整流器 (SCR)

從功用的效果來說，矽控整流器（或叫可控硅，英文名是 **Silicon Controlled Rectifier**，習慣以 **SCR** 簡稱之）。這種元件是由大功率整流器與晶體管結合而成。在半導體領域中，它是一種新的產品，工作效能比較柵控式整流器與閘流管 (**Thyratron**) 更為優勝。所以 **SCR** 可以用作有控制的電源供給器和大電流的開關器，它的最顯著的優點，就是體積細小，效率高，電路簡單，不需像閘流管那樣需要燈絲，而且具有較快的速率。

SCR 是由兩串 **PN** 結組織而成，變成一個半導體的整體。**SCR** 與晶體管一樣，也有三個電極，其他的四層器件，例如四層二極管 (**Four Layers Diode**)，則只有兩個電極。

要想明瞭 **PNPN** 四層器件的工作原理，讀者必須具有 **PN** 結（半導體二極管）和晶體管的基礎。關於半導體二極管的原理，請參閱本套叢書之另一分冊——「半導體二極管」一書。

1. SCR 的自然現象

SCR 是一個有四層三個 PN 結的矽質器件，它具有一個陽極(Anode)、一個陰極 (Cathode)和一個閘極(Gate)，陽極簡稱 A，陰極簡稱 K，閘極簡稱 G。閘極又稱為控制極，它的工作好像閘流管的柵極。閘流管是一個電子管，當觸發訊號供給控制柵時，就能很快地使屏極與陰極導電，於是變成導通狀態。在導通狀態下，屏極與陰極之間發生整流作用，同時通過很大的屏流。SCR 與閘流管一樣，當 SCR 的陽極與陰極之間，供給一適當的 DC 電壓時（陽極為正，陰極為負），而閘極與陰極之間供給一適當的正向偏壓時，則 SCR 的陽極與陰極之間會維持連續的導電。這種現象稱為導通狀態 (On State)，但是當閘極的正向電壓消失，或供給一反向電壓時，則 SCR 的陽極與陰極之間，變成不導電，稱為開路狀態 (Off State)。開關時間很短，只有幾個微秒。

當 SCR 處在導通狀態之下，它出現的工作特性與普通矽整流器一樣，具有一個很低的正向電阻，所以正向電壓降很微小。但在不導通的狀態下，它的內阻很高，所以陽極與陰極之間沒有電流通過。這種情形與矽二極管在反向電壓之下的工作情形相似。

大功率的 SCR，陽極功率可以有幾仟瓦特。但是它所需的閘極控制導電的功率則小於 1 瓦特。因此，SCR 的功率增益約為幾十萬倍。由於 SCR 不需要燈絲的設備，因此效率很高。比之電子管式的閘流管更為優勝。同時 SCR 的

體積很細，不易打碎，比閘流管更為堅固、耐用。

具有整流作用的 SCR，它的用途日益廣泛。例如 SCR 靜態開關器、繼電器的推動器、電磁控制器、伺服推動器、直流變交流的變換器、直流變直流的變換器、恒流供給器、直流電動機速度控制器、發電機電壓控制器和動電剎掣器等。

SCR 的正名為矽控整流器，又稱為固體閘流管，它的商品名稱很多，有些廠家稱它為 Thyrode，又稱為 Thyristor 或 Trinistor 等等。

2. SCR 的構造

製造廠通常用一塊 N 型矽來製造 SCR，在矽片的兩端加上雜質擴散成為一個 PNP 結構，如圖 1-1 (A) 所示；這個四層材料是由三個 PN 結所造成，上面的 P 型材料稱為陽極 (Anode) 底端的 N 型材料，稱為陰極 (Cathode)。與底端 N 型材料相鄰的 P 型材料，稱為閘極。這三個電極與半導體材料的接觸點是一個歐姆接觸點 (Ohmic Contact)。歐姆接觸的意思，就是用熱銲接的方法接合，是服從歐姆定律的，沒有整流的作用。如圖 1-1 (B) 所示就是 SCR 的符號。

如圖 1-2 所示的為 SCR 的橫截面結構，共有三個 PN 結（即第一結，第二結和第三結），從圖 1-1 (A) 可以觀察出來。陽極的接點和接線的直徑比較大，以容許通過很大的電流。陰極通常是金屬外殼，有螺旋紋，適宜安裝在

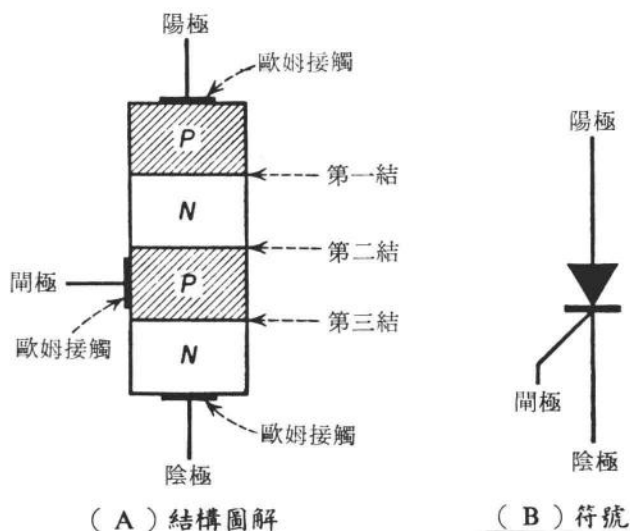


圖1-1 SCR的構造

底板之上，以收散熱作用，爲了防止陰極與底板短路，用雲母片把陰極與底板絕緣。這個四層半導體器件，多用密封的金屬殼包裝起來，使有防潮及防熱的保障。

圖 1-3 所示 是一個市售品的 SCR，這樣細小的體積，就可以容許通過 10A 的電流，容許最大電壓爲 140V（有效值）。容許峯值反向電壓 200V，如圖 1-4 所示，是一個大功率 SCR，容許 50A 的電流。這些 SCR 和 PNP 器件，最初的生產是爲了用來作原子潛水艇、導向火箭和噴射式飛機與電視攝影機燈光控制器之用。它的閘極電壓只

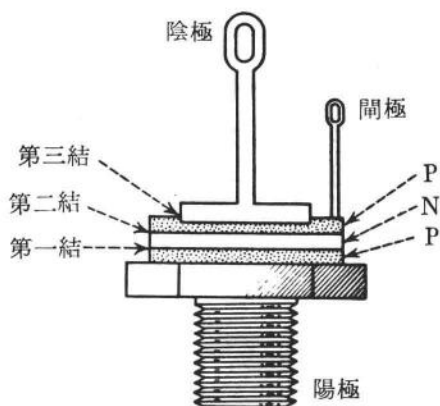
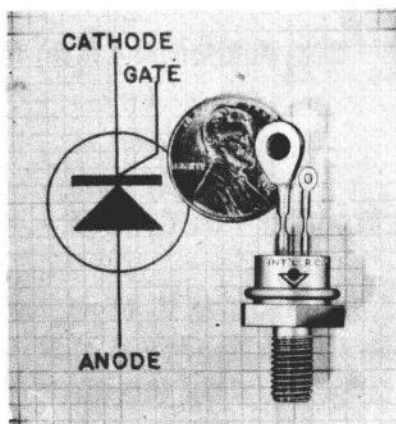


圖1—2 SCR 的結構解剖圖



Gate 閘極

Cathode 陰極

Anode 陽極

圖1—3 中功率SCR，這個微小的體積就可用於140V（有效值）電壓和10A電流的電路中工作，峯值反向電壓為200V。

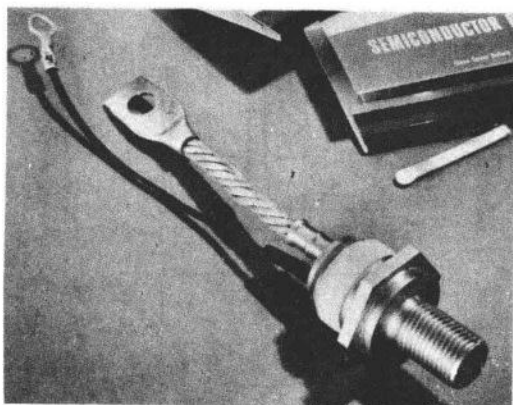


圖1—4 大功率負荷之 SCR，可以容許通過50A電流。

需要 1.5V 和 15mA 的閘極電流，起動時間為 4 微秒，熄滅時間為 15 微秒。

3. SCR 在直流電壓下的工作原理

矽控整流器是一個大功率四層二極管 (Four Layers Diode)，有關小型低功率四層二極管，將在第二章中討論。但普通的四層二極管只有兩個電極（陽極和陰極），而 SCR 則共有三個電極，比四層二極管多一個閘極。

圖 1-5(A) 所示，是一個四層半導體結構，相當有兩組 PN 結串聯（即 $P_1 N_1$ 和 $P_2 N_2$ 串聯而成）。簡單來說，

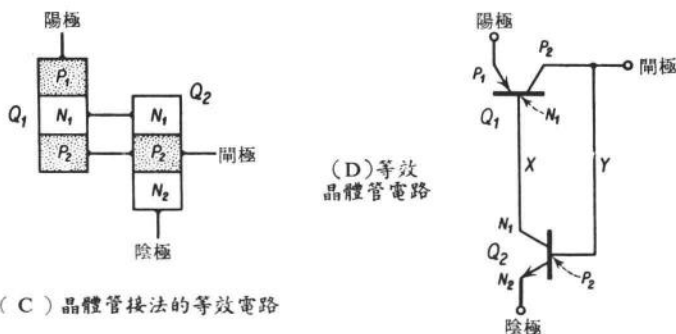
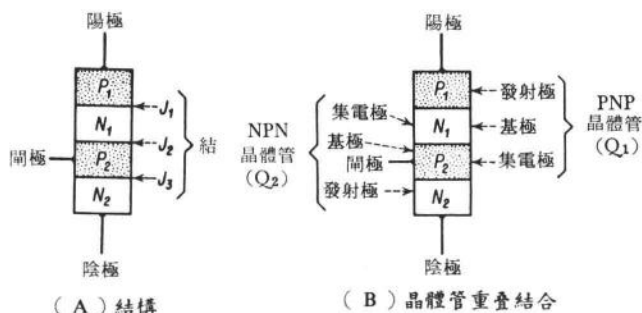


圖1—5 SCR 的內部電氣特性

相當於兩個二極管串聯，於是在中間接口中，多出了一個PN結，稱為第二結 (J₂)，然後加上一DC 電壓使陽極為正，陰極為負，這個電壓使上面的PN結與下面的PN結獲得一正向電壓，於是它的電阻變得很低，本應可以通過很大的電流，但是第二結 (J₂) 是獲得一反向偏壓，所以 J₂ 的

內阻很高，因此這個四層器件仍然不會出現很大的電流，有的只是第二結的反向電流而已。但是當 DC 電壓的極向反轉，使陽極為負，陰極為正時，第一結和第三結變成反向電阻，阻值很高，而第二結則獲得一正向電壓，阻值變得很低，但仍然沒有大電流通過，有的只是第一結和第二結的反向電流而已。總而言之，SCR 的陽極與陰極之間不論供給任何極向的電壓，這個四層結構仍不會出現大量的電流，這種現象稱為斷路狀態 (Off State)，除非電壓很高，超過它的轉折電壓 (Break Over Voltage，或稱擊穿電壓) 時則例外，當 SCR 的陽極和陰極在正常電壓之下，它是不會導電的。如果在它的閘極和陰極之間供給一適當的正向觸發電壓 (Trigger Voltage)，便可使這個結構變成導電，而變成導通狀態 (On State)。

如果小心地觀察 SCR 的四層和三結，就很清楚地知道是由兩個晶體管組織而成，即 $P_1 N_1 P_2$ 和 $N_1 P_2 N_2$ 。把第一個 PNP 晶體管與第二個 NPN 晶體管重疊起來，所以這兩個晶體管作直接交連，組成一個有三條接線的結構。 N_1 層為 PNP 管的基極，亦即 NPN 管的集電極。而 P_2 層就是 PNP 管的集電極，亦即 NPN 管的基極，如圖 1-5(B) 和圖 1-5(C) 所示，就是直接交連兩晶體管的等效電路， Q_1 管的基極與 Q_2 管的集電極作直接交連。而 Q_2 管的基極與 Q_1 管的集電極直接交連。

如果這個四層結構（如圖 1-5(A) 所示）的陽極為正，陰極為負，則第二結 (J_2) 獲得一反向偏壓；此時，陰極與陰極之間會出現一反向電流或漏電電流，因為 J_1 和 J_2 是

採用正向電壓，所以漏電電流可以通過 J_1 和 J_2 。當閘極沒有輸入電壓時，只有很少的電流通過 J_2 ，這因為 J_2 的反向電阻很高之故。這時，這個整流器就只有很微小的電流通過，因為 SCR 處在斷路狀態 (Off State) 之中。如果這個反向電流採用一些方法把 J_2 電流增加至某一程度時，則整流管就會通過很大的電流。第一種方法就是在陽極與陰極之間供給較高的電壓；另一種方法，就是在閘極與陰極之間供給一正向偏壓，使一正向電流通過 J_3 ，然後注入 J_2 ，於是 SCR 就會處在導通狀態。

如圖 1-5(D) 所示的晶體管等效電路，對我們明瞭 SCR 的工作原理有很大的幫助。當一電源電壓供給 SCR 的陽極以一正電壓，而陰極為負電壓，等效電路中的 Q_2 的集電極電流會通過 X 線，進入 Q_1 的基極，因為 Q_1 和 Q_2 是一個直接交連放大器，所以 Q_1 管的集電極電流通過 Y 線進入 Q_2 管的基極。這種雙重的動作，就把電路變成一個再生系統，這種正回輸大大地增高電路的功率增益。當 Q_2 管的基極和發射極之間，供給一反向偏壓， Q_2 管的集電極電流 (i_{c2}) 通過 X 線的電流就會很小。因此 Q_1 管的集電極電流 (i_{c2}) 通過 Y 線回輸至 Q_2 的基極電流也很少。但是當 Q_2 管的基極和發射極獲得一正向控制電壓供給時， i_{c1} 就會增加，而 i_{c2} 亦隨之而增加（由於 Q_2 管電流放大的作用），以致增加 Q_1 管的基極電流，進而增加了 i_{c1} 的數值，這種自力更生的再生作用，通過整流器電流的數值，完全由外部負荷電阻來決定。

如圖 1-6 所示，是用來解釋 SCR 工作原理的最好方

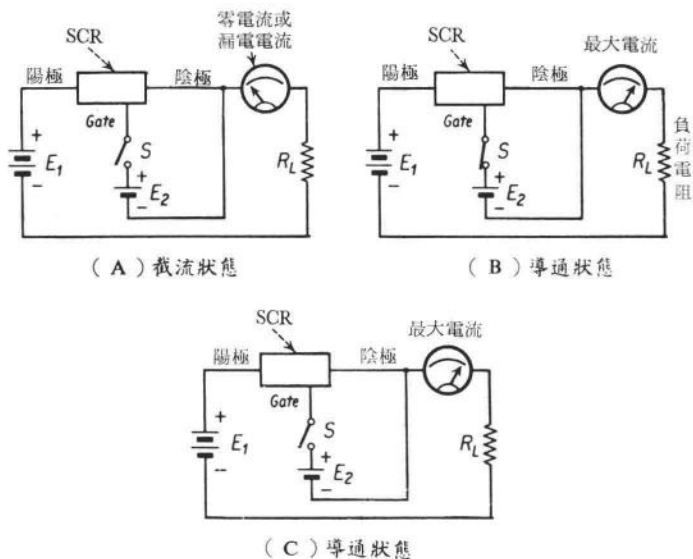


圖1—6 SCR的工作原理

法。如 1-6 (A) 所示，當閘極電壓為零時，SCR 是不導電的，所以沒有電流通過負荷(R_L)，但是如圖 1-6 (B)所示，當閘極正向電壓供給時，SCR 就導通，所以有大量的電流通過外部負荷，通過負荷的電流主要由 R_L 來決定。但是如 1-6 (C)所示，當閘極電壓突然地被開關器 (S) 所截斷，此時，整流器仍然照常導通，大電流連續通過 SCR 和負荷電阻 (R_L)，除非電池 E_1 被移去，或 E_1 的極向反接時，通過負荷的電流才會停止。這種現象，看來與閘流管相似，當柵極電壓「點火」時，陽極和陰極之間就會導電，但是