

實 習 五

曾納二極體特性分析

◆ 實習目的

1. 瞭解曾那二極體之基本原理與電氣特性。
2. 藉由實習過程，以瞭解使用示波器測量曾那二極體電壓 - 電流特性曲線。



相 關 知 識

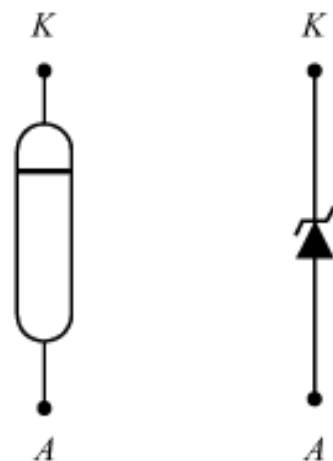
- ◆ **曾納二極體**(Zener Diode)是專門設計應用於**崩潰區**，此種元件必須具有良好的**功率散逸能力**，即曾納二極體經常使用於需要**固定參考電壓**之電路，故最常用來設計**穩壓器**。
- ◆ 當二極體崩潰時，造成**逆向電流增加**之原因，主要是因為**暴增崩潰** (Avalanche breakdown) 和**曾納崩潰** (Zener breakdown)之作用，現將這兩種原理分述於后：
 - (1)、**暴增崩潰**：因**熱產生的載子**，當自**外加電位**獲得足夠之能量，這個帶有能量之載子與晶體中之離子相**碰撞**時，便會將能量傳給這個離子來破壞**共價鍵**，因而又產生**新的電子電洞對**，接著又自**電場**獲得足夠之能量，再與另外之晶體離子相**碰撞**，結果將會產生**更多之載子**。因此每個新的載子皆會因**碰撞**與**拆散共價鍵**而產生**新的載子**，這種重複的累積現象稱為**暴增作用**，此種結果會得到很大之**逆向電流**，而造成二極體之**暴增崩潰**。
 - (2)、**曾納崩潰**：雖原有之載子並未有足夠之能量來拆散共價鍵，但在晶體中之共價鍵仍然可能因在**接面處有電場**存在，使受**束縛之電子**亦有可能受到夠強的作用力，把它由共價鍵拉出來，而產生**新的電子電洞對**，此種結果亦會產生很大之**逆向電流**，而造成二極體之**曾納崩潰**。



◆ 相同的，曾納二極體之崩潰方式，可分為**曾納崩潰**與**累增崩潰**兩種，線將其原理分述於後：

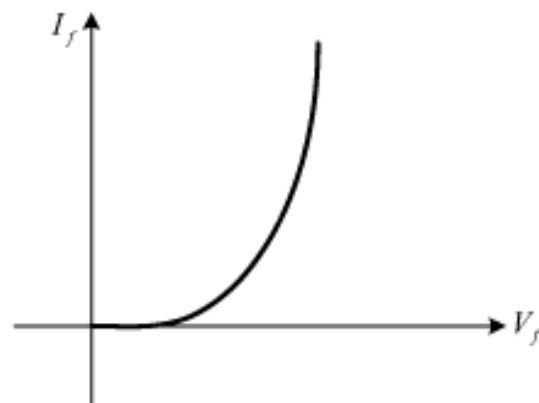
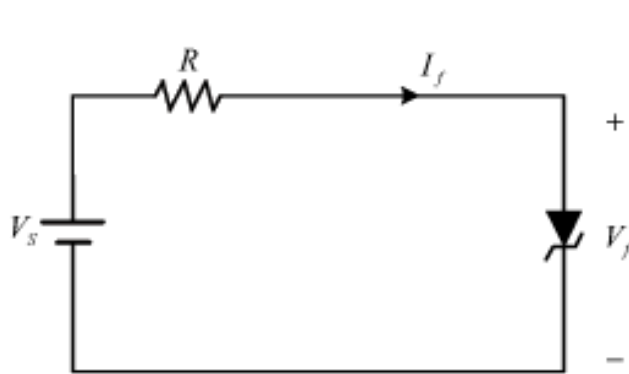
- (1)、若在製作曾納二極體時，摻雜**較高**之雜質濃度，則當對其施以**逆向偏壓**時，會使得 pn 接面之**空乏區變窄**，而形成**較高之電場**。若所施之逆向偏壓 V_R 達到**崩潰電壓** V_Z 時，便產生一大電流，稱為**曾納崩潰**之曾納二極體，此種二極體之**崩潰電壓較低**，一般皆**小於** 6V。
- (2)、若在製作曾納二極體時，摻雜**較低**之雜質濃度，則當所施之逆向偏壓 V_R 達到崩潰電壓 V_Z 時，此電壓會**打斷空乏區之共價鍵**，因而產生新的**電子電洞對**，且此電子電洞對亦會去**撞擊**其它之共價鍵，因而又產生新的電子電洞對，如此**循環**不已便產生一大電流，此種稱為**累增崩潰**之曾納二極體。而此種二極體之**崩潰電壓較高**，一般皆**高於** 6V。

◆ 曾那二極體之**實體圖**與**電路符號**，分別如右圖所示，當它接受**順向偏壓**時，曾那二極體之作用與普通 pn 接面二極體相同；但它所接受**逆向偏壓超過崩潰電壓** V_Z 時，因曾那崩潰或累增崩潰等兩種原因，導致二極體崩潰，因而產生**大量之電流**，此時即使外加電壓不斷增加，曾那二極體兩端會**維持固定電壓** V_Z 。



接受順向偏壓之曾那二極體電壓 - 電流特性曲線

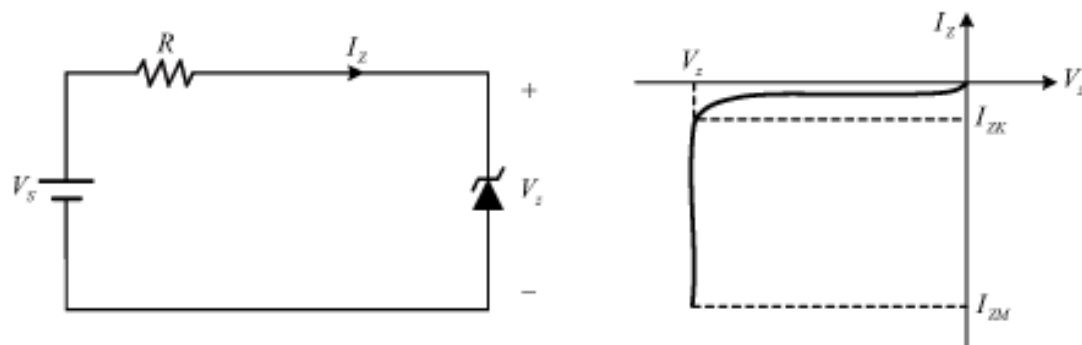
- ◆ 若電源的正端接到 p 型區域，而負端接於 n 型區域，則曾那二極體便承受順向偏壓，如左下圖所示。
- ◆ 接受順向偏壓之曾那二極體特性與 pn 接面二極體相似，即當外加電源電壓 V 大到足以克服空乏區之電壓 V_D （因採用不同製程與摻雜濃度，曾那二極體之 V_D 之大小，可能會與 pn 接面二極體不相同）時，便會產生一個大電流通過曾那二極體，且此電流會隨外加電壓呈指數函數增加，而接受順向偏壓之曾那二極體的電壓 - 電流特性曲線，如右下圖所示。



接受逆向偏壓之電壓 - 電流特性曲線

- ◆ 若電源的正端接到 n 型區域，負端接於 p 型區域，則曾那二極體便承受**逆向偏壓**，如左下圖所示。
- ◆ 當曾那二極體接受逆向偏壓，且此逆向偏壓**超過**崩潰電壓 V_z 時，因曾那崩潰或雪崩崩潰等原因，導致二極體崩潰，因而產生**大量電流**通過曾那二極體，此時即使外加電壓不斷增加，曾那二極體兩端會維持固定之電壓 V_z ，而接受逆向偏壓之曾那二極體的**電壓 - 電流特性曲線**，如右下圖所示。

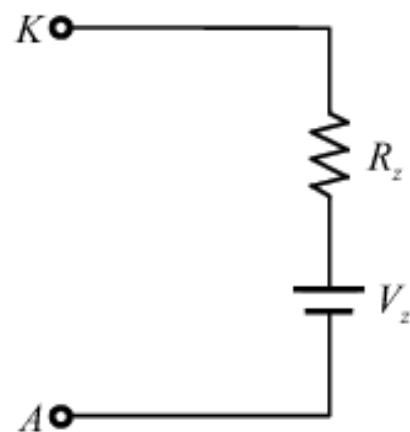
- ◆ 工作於崩潰區之曾那二極體， I_Z 大小有**最大和最小**之限制，以保證曾那二極體能正常的工作，而最大電流之限制為曾那二極體**功率散逸**之最大限制，而不至於將其燒毀之最



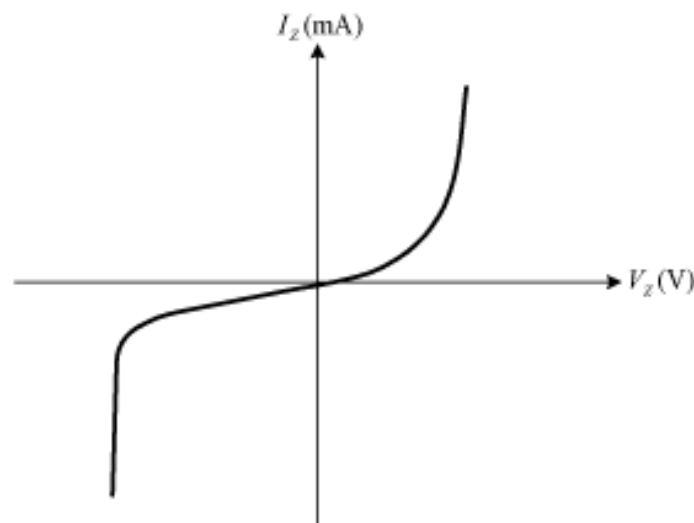
大電流 I_{ZM} ；而最小電流 I_{ZK} 之限制為保證曾那二極體**維持電壓調節功能**之最小電流 I_{ZK} ，若 $I_Z < I_{ZK}$ ，則曾那二極體之崩潰電壓可能無法維持 V_z ，故使用曾那二極體來作電壓調節器（穩壓器）時，必須保證使流過曾那二極體之電流 I_Z ，可**滿足** $I_{ZK} < I_Z < I_{ZM}$ 之條件。



- ◆ 當曾那二極體之外加電壓大於 V_z 時，即使外加電壓再繼續上升，只會使其電流急速上昇，而曾那二極體兩端電壓僅會輕微增加，因此工作於崩潰區之曾那二極體的電阻 $R_z \left(R_z = \frac{\Delta V_z}{\Delta I_z} \right)$ 愈小，則表示其品質愈佳。由以上之討論可知，操作於崩潰區之曾那二極體的直流等效電路，如右圖所示。



- ◆ 綜合以上之討論可知，接受順向與逆向偏壓之曾那二極體的電壓 - 電流特性曲線，如右圖所示。觀察右圖可知，曾那二極體的電壓 - 電流特性曲線與普通 pn 接面二極體相似，而兩者主要不同之處，即曾那二極體之主要是工作於崩潰區，而普通 pn 接面二極體主要工作於順向偏壓區。



實習步驟與結果

(一) 接受順向偏壓之普那二極體的 $V_f - I_f$ 特性曲線

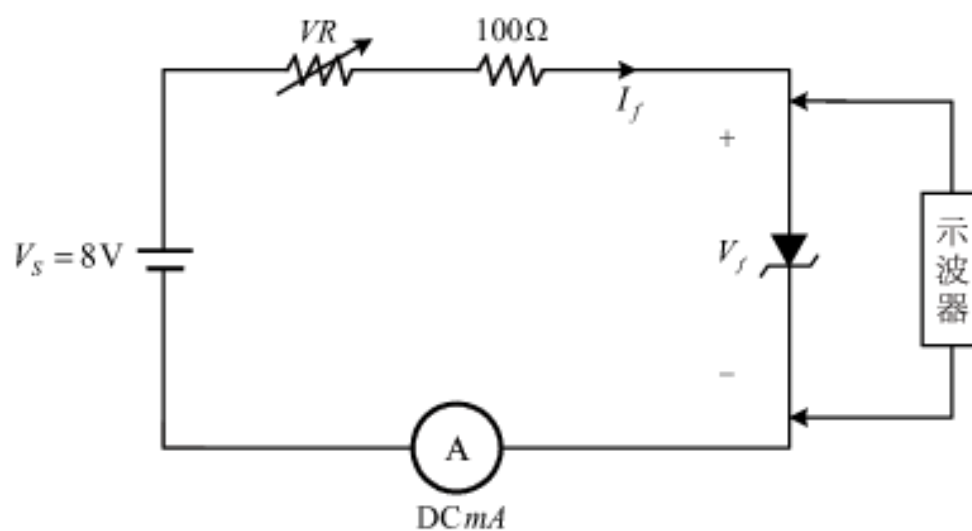
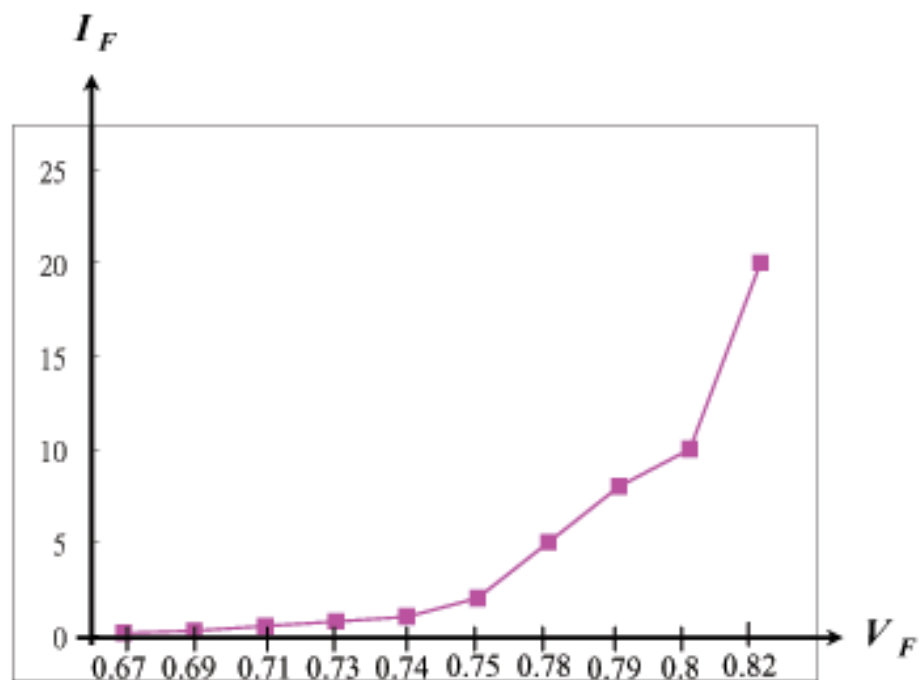


表 5-1 不同電流流過接受順向偏壓之曾那二極體兩端壓降

I_f (mA)	0.1	0.2	0.5	0.8	1.0	2	5	8	10	20
V_f (V)	0.67	0.69	0.71	0.73	0.74	0.75	0.78	0.79	0.8	0.82



(二) 接受逆向偏壓之曾那二極體的 $V_z - I_z$ 特性曲線

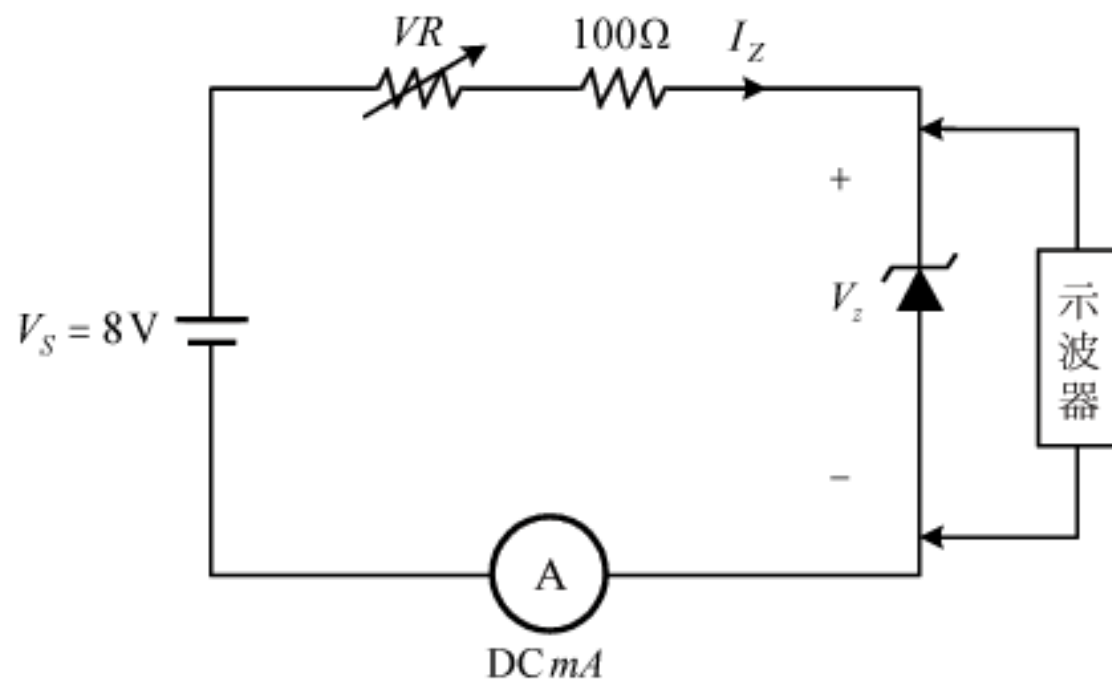
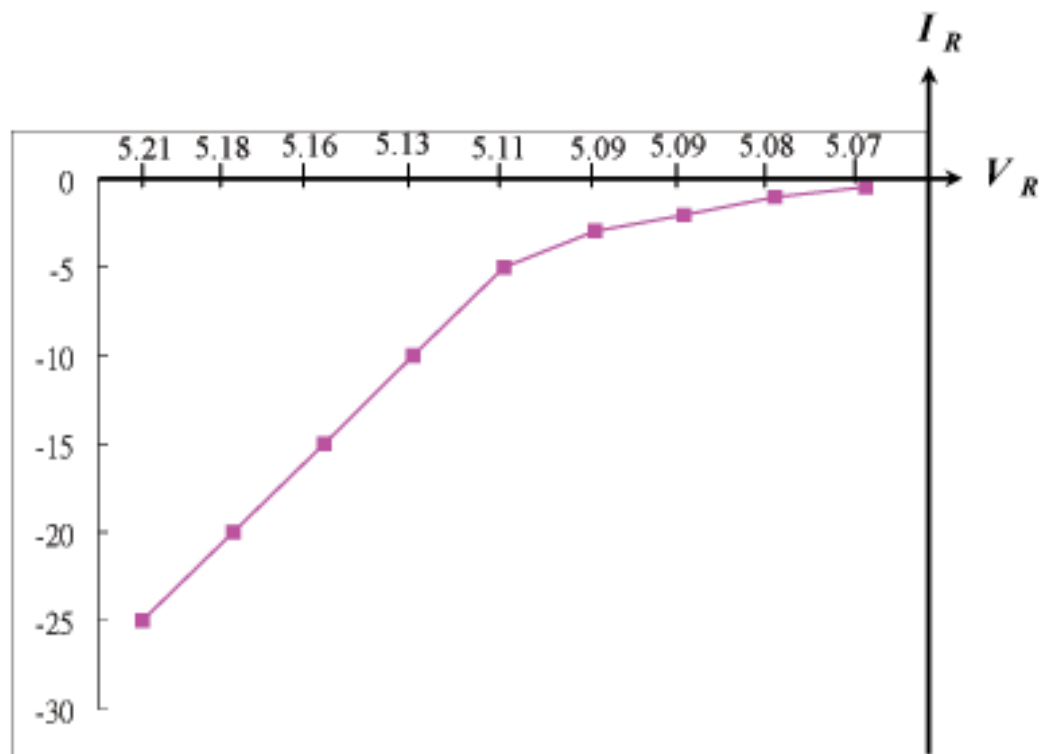
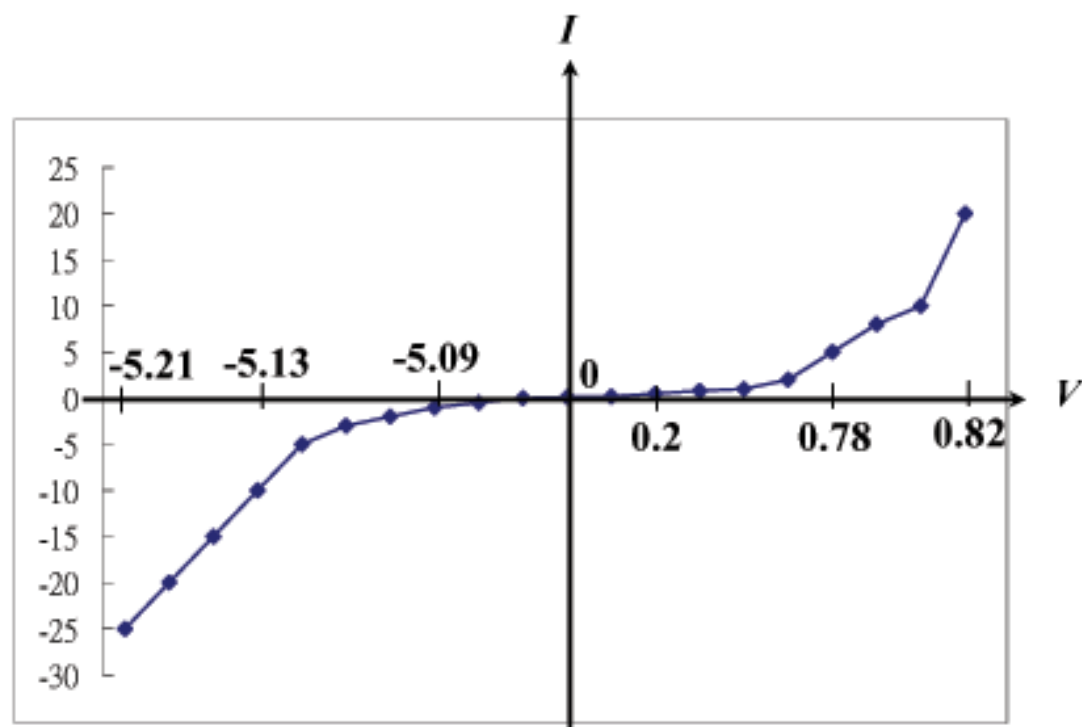


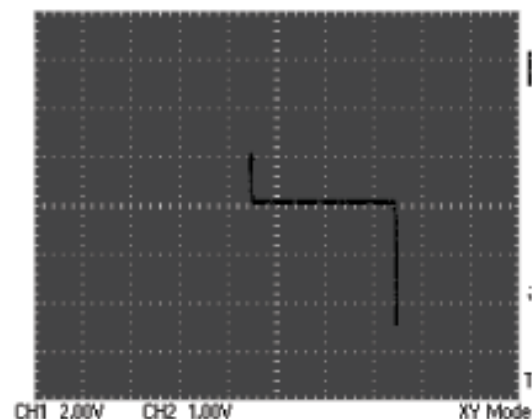
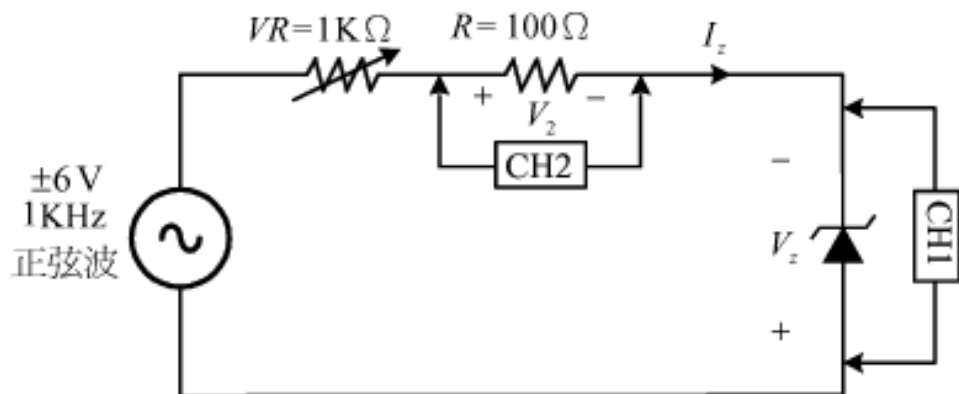
表 5-2 不同電流流過接受**逆向偏壓**之曾那二極體兩端壓降

$I_Z (mA)$	25	20	15	10	5	3	2	1	0.5
$V_z (V)$	5.21	5.18	5.16	5.13	5.11	5.09	5.09	5.08	5.07





(三) 利用示波器直接測量曾那二極體的電壓 - 電流特性曲線



註：實際上，使用示波器僅可測量**電壓值**，而測量曾那二極體電壓 - 電流特性曲線，因電流 I_z 與所求之電流**方向相反**，因此使用「X-Y 模式」測量所得之**二極體電壓 - 電流特性曲線**（如右圖之虛線）與實際曾那二極體電壓 - 電流特性曲線**相反**（如右圖之實線）。

