

# γ 射線劑量率

## 計量器使用 n 在 P 的矽太陽電池

• 國花 •

(The n on p Silicon Solar Cell Gamma Ray Does-Rate Meter)

最近發展 (1936) n 在 p 的矽太陽電池被使用做各種用途，例如高能的 γ 射線測量器。太陽電池的游離電流被發現是一線性的方程式在  $10^2$  到  $10^7$  單位小時的 rads 一個穩定度的降低速率在 Co 60 γ 射線的照射時大約是百分之一分之  $10^6$  rads 當照射超過  $2 \times 10^7$  rads。這一個儀器系統在長時期是穩定的。而溫度的影響為每升降攝氏一度時有百分之零點二的變化在攝氏 0 到 60 度之間。

### (I) 導 言

在此一儀器在美國陸軍研究發展實驗室 (註一) 及貝爾電話研究室 (註二)，研究出的在貝洛海文國家研究所正在使用中。此種儀器的採用因其之特性 (1) 在很大的放射量區間有線性的對應；(2) 由於放射性的損壞很靈敏；(3) 雙極管的特性；(4) 穩定度；(5) 溫度的依靠性；(6) 方向性。

### (II) 理論及用法

#### (1) 游離電流 (Ionization Current)

此一電流與 γ 射線強度成正比，可以直接當做短路電路的電流加以量度。由 Rousensweig (註二) 所導出為

$$I_{sc} = \frac{EAL\rho e}{\epsilon} \quad (1)$$

在此  $I_{sc}$  是短路時的電流量，單位為安培。

$E$  是太陽電池的單位體積的吸收量率；單位是 rads/h

$A$  是太陽電池的截面積。

$L$  是 minority carrier 的擴散長度 (diffuse length)。

$\rho$  是密度 (242 克/厘米<sup>3</sup> 為矽的密度)。

$e$  電子的電荷。

$\epsilon$  平均能量產生電子——電洞對。(矽為 36eV)

在典型的 n 在 p 太陽電池的靈敏度為 20 micro ampere/10<sup>6</sup> rads/h 由貝洛海文國家研究所實驗得出。

#### (2) 大小及特性 (Dimension and Characteristics)

圖一中為一此種電池的典型構成。其大小為 0.5 英寸 × 0.5 英寸 × 0.016 英寸。在 p-n 結頭用磷擴散到 base 在 p-型的矽，形成一接頭大約四分之一 μm 深在表面下。

在光的接受面通常塗上黑色以達到極大的吸收量。在此面通常用焊物包著的鍍版條連接用以達到極大的導電性。

在圖二中為一相等的電路圖。在太陽電池中可看做一定值電流的發生器，及一個整流器一個內電阻與負荷並聯。在此我們加上一內電阻與負荷串聯。

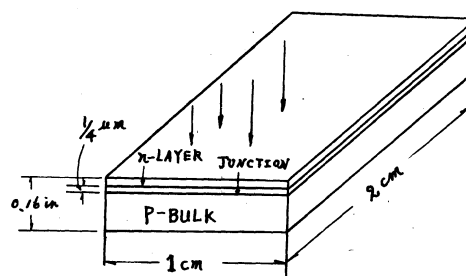


圖 1 n 在 p 的矽太陽電池的圖形結構

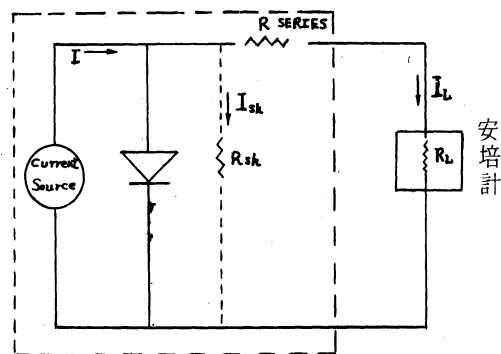


圖 2 太陽電池的相等電路圖

#### (3) 阻 抗 (Impedance)

由於在太陽電池中內在的串聯及並聯電阻 (即內電阻) 一阻抗的結合在用做 γ 射線的測量器中有下列的限制：

$$R \text{ (串聯)} < R_L \ll R \text{ (並聯)}$$

$R$  (並聯) 的區間為五千到一萬歐姆。

加劑量率為  $10^7$  rads/h 或者更大，則雙極管的整流作用必須加以考慮計算。通常二根導線焊在電池上用以保護毫安培計。例如惠斯登 622 型。

#### (4) 放射性的損壞

損壞的速率可由 Rosenrweigs (註三) 實驗證出

此式

$$\frac{dL}{d\phi} = -KL^2 \quad (2)$$

在此  $L$  是擴散長度。

$\phi$  放射性的照射。

$K$  degeneration 常數在  $p$  型的基 (base)

而(2)式的解為

$$\frac{1}{L^2} = \frac{1}{L_0^2} - 2K\phi \quad (3)$$

在此  $L_0$  是擴散長度在未照射前之值。

而游離電流為：

$$I = \frac{EAL\rho e}{\epsilon} \quad (\text{看小式})$$

我們立刻可得

$$\frac{1}{I^2} = \frac{1}{I_0^2} + K\phi \quad (4)$$

在此  $K = -2k \left( \frac{\epsilon}{EA\rho e} \right)^2$

### (III) 實驗

#### (1) 劑量率的線性

在此電池在劑量率在  $10^2$  到  $10^7$  rads/h 是一線性函數，用 NBS 的標準值鈷-60 當做  $r$  射線源及修正的 Fricke 的化學劑量表，如圖三所示。

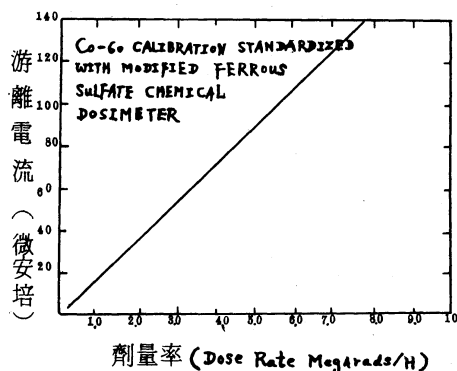


圖3 劑量率對電流在此一太陽電池

使用此一更靈敏及更巧妙的設備那可以量度到 200 rads/h 從五百到六萬 rads/h 的手提 Rubicon Spotlite 電流計 #3072 及 #3412 被用做電流計。在五百 rads/h 以下就用量度電池的開路電壓用 recorder 或者 Oscilloscope。因為這些儀器都有很高的輸入阻抗，所以必須考慮二極管的性質。

在貝洛海文所有的 Co-60 劑量率有效值  $7 \times 10^6$  rads/h 其他的值則用鎢絲燈做為光子源。在圖四指示開路電阻及短路電流 (100 歐姆之負荷)，對典型的電池用單色光照射 ( $r = 1000 m\mu$ ) 從 DU 光譜。為了比較起見 100 歐姆負荷的電壓包括其中。劑量的

量度極限值在  $10^6 - 10^9$  rads/h 之間是將電壓計跨在電流計上量度的。商業上用的毫安培計 (大約 1 歐姆的電阻) 量度期望的電流值大約 20 毫安培在劑量率  $10^6$  rads/h 電壓大約 20 毫伏特在電池二端。此一電壓並不大所以不需修正其對整流器之喪失。

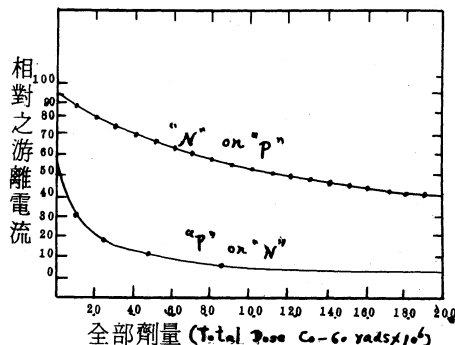


圖4 矽太陽電池之退化在 Co-60 的照射，照射量為  $4 \times 10^5$  rads/h

#### (2) 由於放射性損壞的退化

在此一套儀器中 使由於放射所引起的損害化減到極小。這由於陪伴使用一塊 P 型的物質代替較靈敏的 n 型半導體。

圖五所代表為一實驗的結果說明此種損壞情形。一用做比較 “p” 在 “n” 的太陽電池被列在圖中。在此結果中要二百萬 rads/h 的預先照射到穩定的 n 在 p 的太陽電池使其對應到相同的退化速率。在此點 n 在 p 的太陽電池游離電流仍是起初電流值的百分之五十而已。一太陽電池劑量量器在此種穩定情況下是有抵抗強 r 射線損壞的性質。

#### (3) 二極管的特性

在 p-n 接頭的 “n” 在 “p” 的太陽電池性質已得出在圖六中。為一典型的例子，前進的電流由下式理想二極管方程式得出 (註一)

$$I = I_0 \left( \exp \frac{qv}{nkT} - 1 \right) \quad (5)$$

在實驗值中  $n$  值從 1.3 到 1.6 且  $I_0$  在 0.6 伏特在反向加電壓時後 20 到 70 毫安培。一適宜的電阻包括全部的二極管為  $R_j$  及  $LDFR$  已決定了。 $R_j$  從 3000 到 12000 歐姆之間， $LDFR$  平均值大約 0.45 歐姆。

由於並聯的結果使阻抗減少到約為百分之一的負荷電阻。

#### (4) 穩定度

週期性的劑量率量度用五個典型的 Co-60 在貝洛海文放射性機構中的。這五個的強度由  $2.8 \times 10^5$  R/h 到  $7.5 \times 10^6$  R/h 劑量率用五個做 r 射線的來源。對每一個 Co-60 做每週 3 次，一週期為四星期。圖七為此種實驗的結果對每一 Co-60，最大誤差在此表上讀數在百分之二以內。

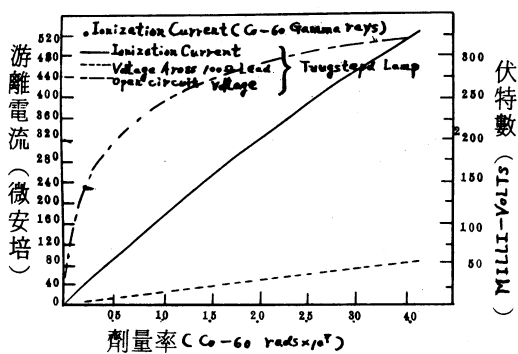


圖5 游離電流在“n”在“p”的太陽電池由Co-60 r 照射到  $7.8 \times 10^6$  rads/h 及同時照射到  $4 \times 10^7$  rads/h 及開路電壓在100歐姆之電阻

[圖中：○游離電流 (Co-60)，——游離電流，-----100歐姆的導線電壓，-----開路之電壓。]

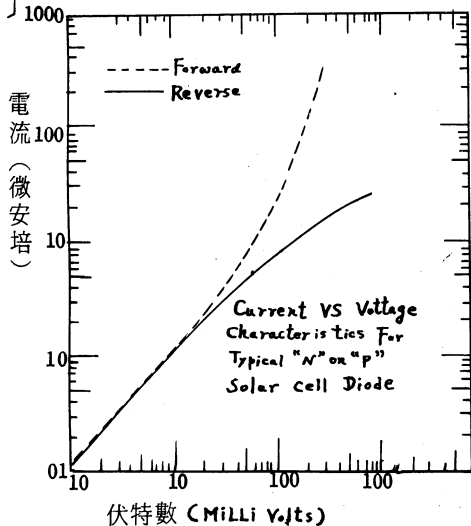


圖6 電流對電壓特性對典型的n在p太陽電池

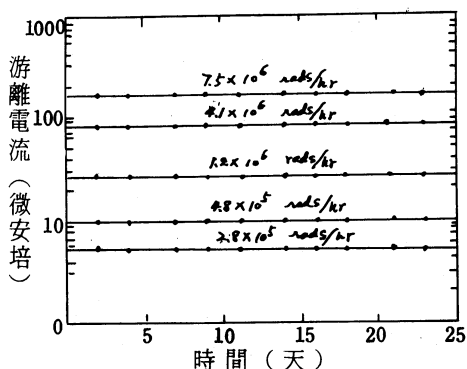


圖7 穩定度對n在p太陽電池當做劑量儀在一月週期

#### (5) 溫度的依託性

一在圖八中顯示出溫度對太陽電池的輸出當在r—

射線的照射下。溫度由  $-20^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$ ，對二種不同的負荷。當電阻為100歐姆時溫度為  $100^{\circ}\text{C}$  時，我們把電流轉變到一個單位。

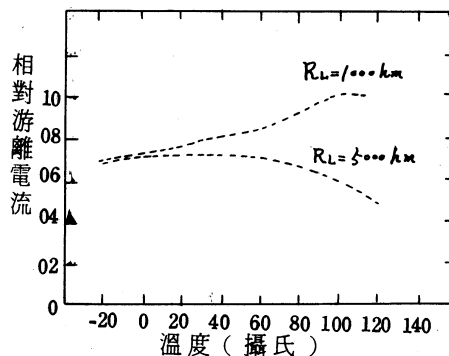


圖8 溫度的依託性對矽太陽電池用Co-60 r射線照射負荷之電阻為100歐姆及500歐姆

太陽電池的內電阻分二大部分  $R$  (串聯) 及  $R$  (並聯) 二者都有負的溫度係數。

當負荷小時 ( $R_L = 100$  歐姆)  $R$  (並聯) 可以略去不計，而  $R$  (串聯) 的負電阻係數會使輸出電流加大，由於溫度的升高。

對於大的負荷 ( $R_L \approx 500$  歐姆)  $R_L$  就與  $R$  (並聯) 相近了。當溫度升高時  $R$  (並聯) 就成為電流另一電流源，因之使負荷電流減小。

在實驗上之負荷電阻100歐姆n在p矽太陽電池劑量率量器，呈現出正溫度係數在正常的使用溫度區間，為  $0.2\%/^{\circ}\text{C}$ 。

#### (6) 方向的依託性

圖九為太陽電池的輸出的方向性當在Co-60發生的r射線照射時情形。當受光的面與r射線入射成垂直時被normalized到1，在相對的讀數中在10度為一區間。相對讀數當受光面與入射面垂直。太陽電池的相對電流之輸出在75%時其角度為  $120^{\circ}$  與垂直方向所成之角。而保持此值由  $120^{\circ}$  到  $180^{\circ}$  之間。

### (IV) 結 論

此一實驗之結果給予我們有關太陽電池經某些適宜的穩定化後可以用做有反抗放射性損壞的放射性劑量量器。且用簡單的儀器結構及直接量度法，此一系統呈現一線性的比例當劑量在  $10^4$  到  $10^7$  rads/h 之間，當我們用其他更少的電荷及靈敏的儀器可使區間加以擴大，由  $200$  rads/h 到  $10^9$  rads/h。

由實驗的指示此儀器對長週期的時間亦甚穩定，且沒有很明顯的溫度依託性所產生的困擾在很大的使用溫度區間且通常對方向沒有影響。

雖然r射線能量的依託性所產生的困難是預料中的

，但由於觀察到決定能量的對應到此一系統已在此間的實驗室開始。

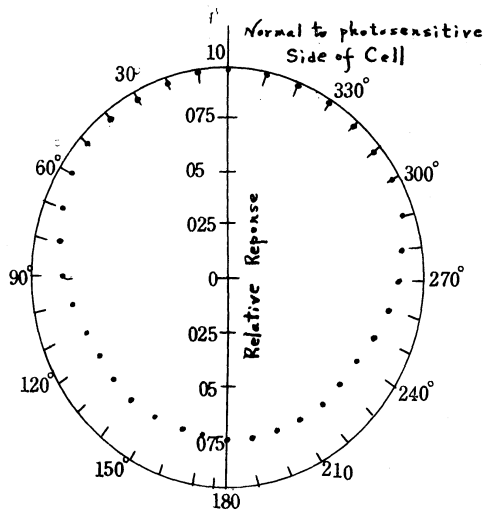


圖 9  $n$  在  $p$  的太陽電池的方向性對  $\text{Co}-60$   $\gamma$  射線照射時

[註一] MANDELKORN, Proc of the 14th Annual Signal Corps Power Source. Conf. (May 17-19, 1960) P. 42.

[註二] W. ROSENZWEIG, Rev. Sci. Instr. 30, 379-380 (March 1962).

原文譯自 Nuclear Science and Engineering 19, 400-405. (1964)

作者：A. C. Muller, F. X. Rizzo L. Galanter.  
Brookhaven National Laboratory Upton. L. I. New York.

原文為參觀原子能應用示範展覽所陳示之伽瑪射線的測量儀之一部其原理及實驗及大致構造，因其為工程書籍上沒有太多嚴格的數學式及證明，多用實驗的結果來利用。另外二部儀器原理大致相同，其原理為使用一鉛玻璃經由  $\gamma$  射線照射後使電子由  $\text{ground}$  狀態到  $\text{excite}$  狀態，然後位移到某一位置就被捕捉 (traped) 到某一特殊位置，如此時外加一能量則可被再度  $\text{excite}$  到導電帶一段距離再回到  $\text{ground}$  狀態 (如圖 10 所示)。外加能源第一部儀器用的是光能，第二部用的是熱能。

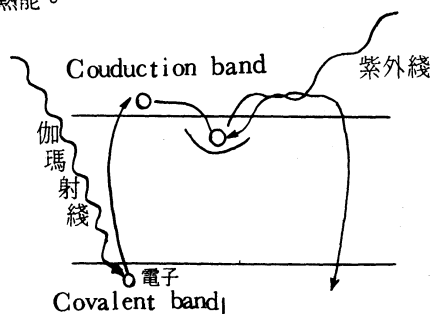


圖 10

電子回到  $\text{ground}$  狀態會放出光子或熱能，可以量度放出的光子及熱能量出照射此一鉛玻璃的射線強度。

第一部儀器如圖 11 所示。其利用 玻璃經照射後會改變其對光的吸收率。由此一變化我們可以量度，且特性曲線之找出我們所需的答案。

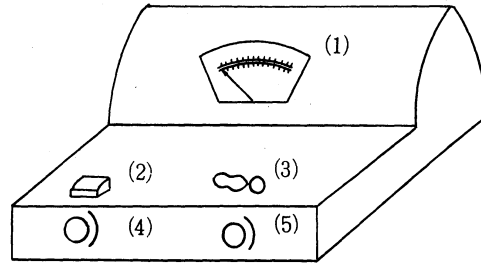


圖 11 (1) 為通過光線量指示儀 (指上面之刻度)，或吸收量表 (下面之刻度)

(2) 置鉛玻璃之地方

(3) 示波長表

(4) 及 (5) 調零點

第二部叫 LTD (Thermal Luminous Dosimetry) 如圖 12 中所示在一個空的箱中周圍良好的絕緣，其中一電阻絲及一熱力偶，及樣品置處。

當樣品放入後加熱使箱中保持溫度  $240^\circ\text{C}$  左右，此時樣品中被捕捉的電子會放出能量回到  $\text{ground}$  狀態而光子發出使發出光子經一連串步驟可在圖中 (3) 的地方

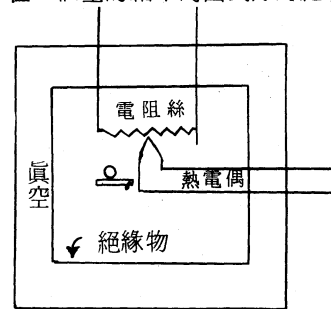


圖 12

顯出數字，由此可求得射線之強度。此部儀器甚貴為美金 7,500 元。外形如圖 13 中所示，分為二部。

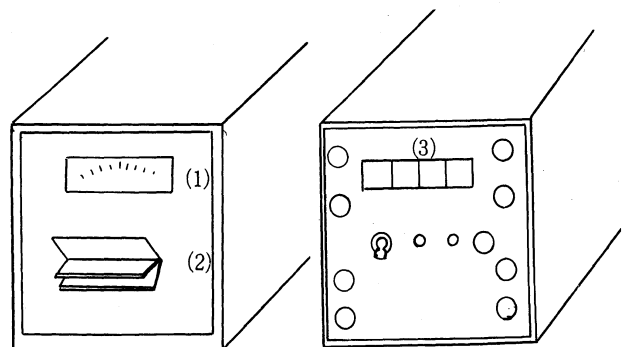


圖 13 (1) 為溫度指示器

(2) 為樣品承置器

(3) 為射線強度指示器

(4) 其中圓圈或其他均為控制的樞紐

[譯者註：Rads 為放射性劑量之單位，其規定為放射性物質每克放出 100 爾格能能量時的放射性強度。]