

光導體 CdS 薄片之 PEM 效應

The PEM Effect on Photocoductive CdS Films

林 富 田

一 引 言

本徵光導體 (intrinsic photoconductor) 通常是一種非退化絕緣體 (non-degenerate insulator)，隨著光照度而改變其導電性，CdS 晶體就具有這種性質，當適當之光垂直照射在這種晶片上就產生成對之電子 (electron) 與電洞 (hole)。這種種載子 (Carrier) 之易流度 (mobility) μ 是討論光導體的主題，Moore 和 Smith 曾用脈動法⁽¹⁾ 測 CdS 在高能場 (high fields) 中之 Hall 易流度，Bcer 和 Bogus 曾用高電場 30 kv/cm 測其易流度⁽²⁾，在 230°k 為 620 cm²/Vsec.

1934年 Kikoin 和 Noskov 發現由擴散電流 (diffusion current) 產生之 Hall 效應的一種形式稱為 PEM 效應 (Photoelectromagnetic Effect)，經 Frenkel 證實為成對之電子與電洞具有相同數量級之易流度及其二者電流之 Hall 效應的和。

本文利用 CdS 的 PEM 效應討論易流度及少數載子 (minority carrier) 之移動長度 (drift length)。

二 CdS 之光導電特性

當 CdS 晶體被光照射時，其能階分布如圖一所示。在單位體積內 N_t 個電子陷井 (electron trap) 處於導電帶 (conducing band) 之下，比能隙 (energy gap) E_g 小 E_n 的能量，即 $E_g > E_n$ ；在單位體積內 P_t 個電洞陷井 (hole trap) 比滿帶 (filled band) 高出 E_p 的能量，即 $E_g > E_p$ 。若 n 及 n_t 分別表示單位體積內自由

電子及被陷電子數； P 及 P_t 分別表示單位體積內自由電洞及被陷電洞數。由此

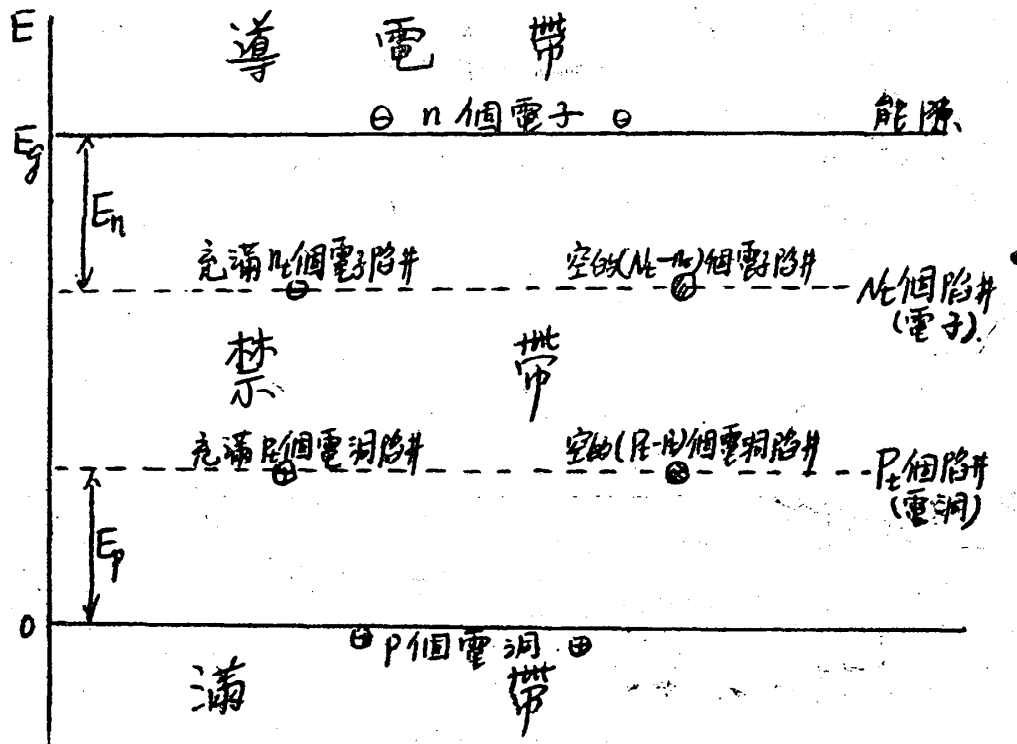


圖 一

CdS 每單位體積中將有 $(N_t - n_t)$ 個空的電子陷阱及 $(P_t - p_t)$ 個空的電洞陷阱。在導電過程中自由電子與自由電洞之再結合 (recombination) 的可能性極小，又當 $E_g \gg E_n$ 及 $E_g \gg E_p$ 時，由熱或光產生之自由電子及被陷電洞，或產生自由電洞被陷電子，或產生成對之自由電子及自由電洞等情形的可能性也很小，可以勿略。CdS 被紅外線區的光照射時被陷電子或電洞容易放出熱能。若 CdS 晶體吸收光子產生成對之電子與電洞時，其消失也為成對，故

$$n + n_t - p_t - p = \text{常數} \quad (2.1)$$

CdS 晶體對於最大之光子能量的壓制 (quenching) 表示由滿帶轉移到導電帶約 0.4 eV 間⁽³⁾。在受光照射時，其中之電子活期 (lifetime) 為 10^{-8} sec⁽⁴⁾。

在常溫下，CdS 對於波長之極限為 0.51×10^{-6} m，也就是其能隙為 2.41 eV，如

圖二所示者為 CdS 受光之波長 (能量) 與其標準化反應 (normalized response) 之關係圖。

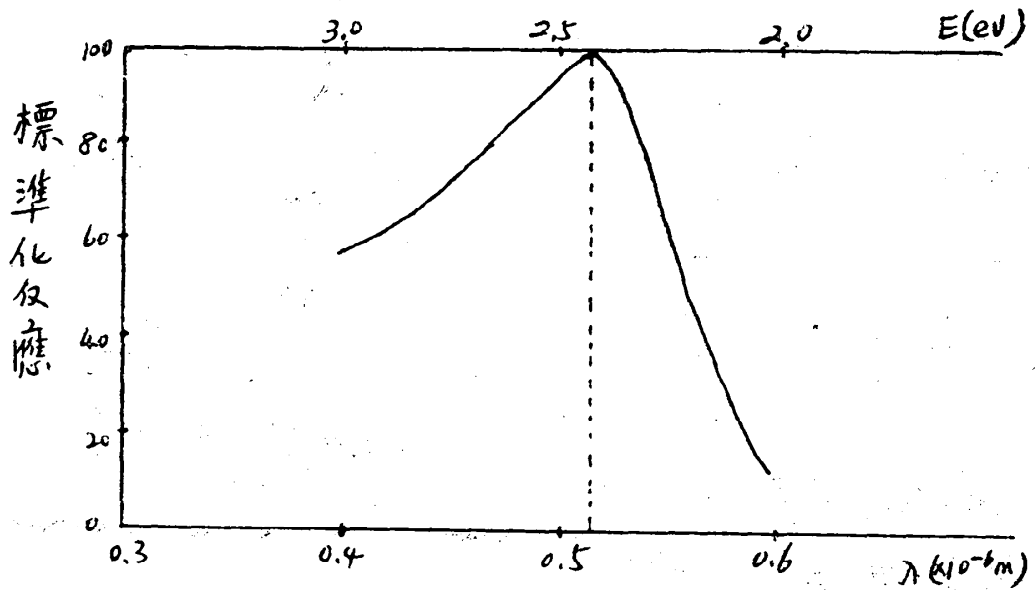
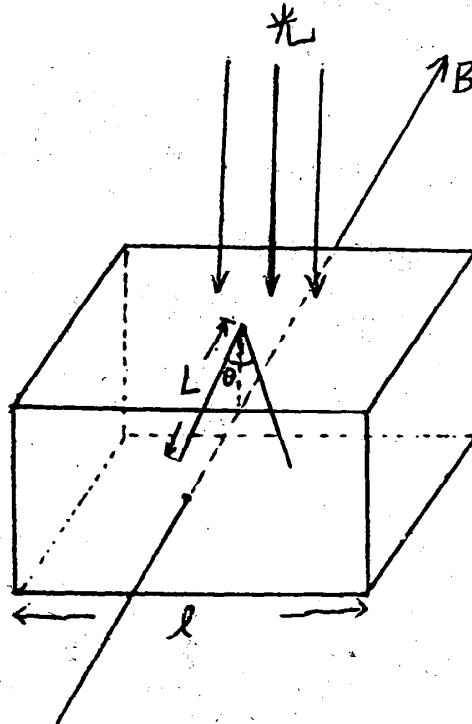


圖 二

在低照度下，CdS 的最小衰變 (decay) 時間可達到數秒。

三. CdS 之 PEM 效應

當 CdS 在磁場 B 中，其晶面平行於 B ，長 l ，如圖三所示，光垂直向 B 照射在



圖三

此晶片上，此時 CdS 因吸收光子而產生成對之電子與電洞，因受磁場的作用，電子與電洞在晶體中分向兩邊擴散而多動 l 長，其夾角為 θ 稱為 Hall 角。

實際上 θ 角極小⁽⁶⁾，故每秒內吸收之光子為 α 時，短路 PEM 電流⁽⁷⁾為

$$I_s = \alpha e \theta \frac{L}{l} \quad (3.1)$$

此處 e 為載子之電量。通常⁽⁶⁾

$$\theta = \mu B \quad (3.2)$$

$$l = \left(\frac{\mu \tau K T}{e} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

μ 為有效易流度， τ 為載子活期， K 為 Boltzmann 常數， T 為絕對溫度，在常溫 (300°K) 時 $KT \approx 0.025$ eV。故 (3.1) 式可改變成

$$I_s = \frac{\alpha}{l} B (eKT)^{\frac{1}{2}} (\mu^3 \tau)^{\frac{1}{2}} \quad (3.4)$$

(3.4) 式表示短路電流的大小與單位長度所受之光強度、磁場，及 $(\mu^3 \tau)^{\frac{1}{2}}$ ⁽⁸⁾ 成正比，則 CdS 之開路電壓為短路電流與晶體之電阻 R 的乘積

$$V_o = R I_s \quad (3.5)$$

在 CdS 晶體中，由於陷井效應，其阻抗很高，轉移反應很慢，故採用直流放大，圖四所示為量測 CdS 之短路 PEM 電流的方塊圖。

CdS 晶片兩端的接觸電極應完全密接，而且光照射應垂直照在整片晶體上，若有部分未被照到或有任何影子存在時，就會產生閉塞電流的現象，嚴重地減小 PEM 效應。

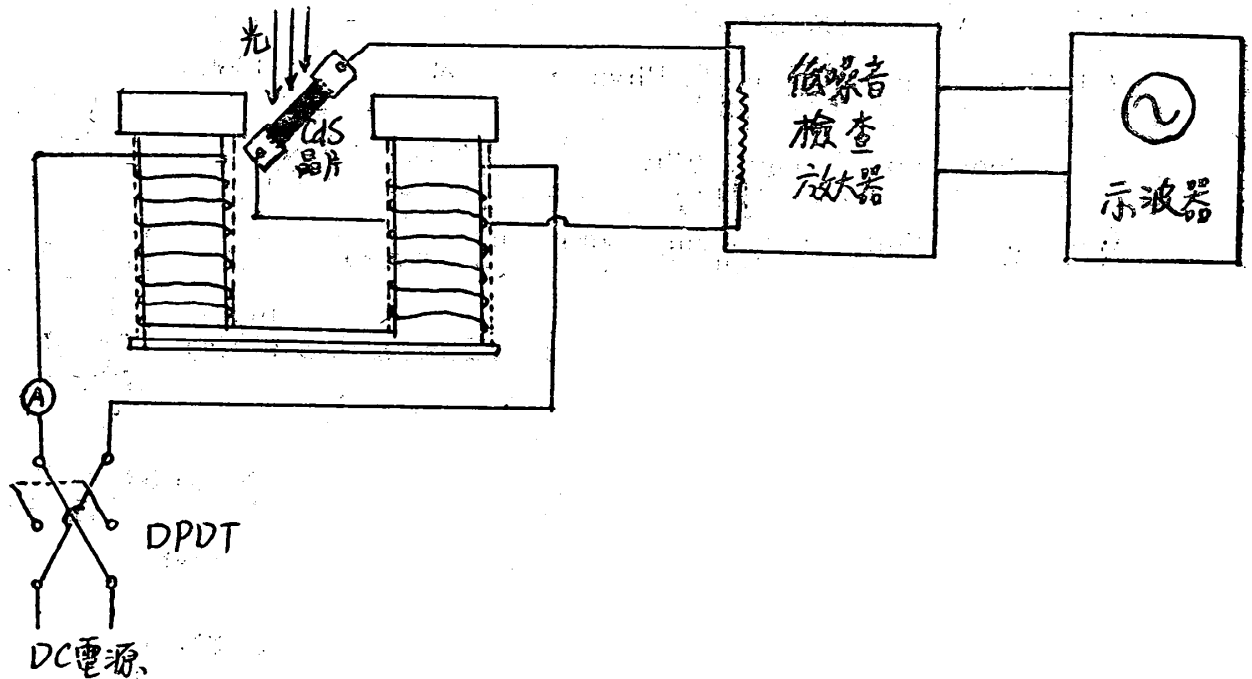


圖 四

光源通常使用弧光，並選擇能隙 (2.41 eV) 的光，即 $0.51 \times 10^{-6} \text{m}$ 波長的光，磁場約大於 0.5 web/m^2 ，其方向可用 DPDT 作低週換向，約每 10 秒換一次，以消除光電壓。低週噪音檢查放大器之阻抗應比 CdS 本身之阻抗小，其短路 PEM 電流可由放大器直讀，或用示波器加以驗正。

純 CdS 晶體中之短路電流約在 10^{-10} amp 範圍⁽⁹⁾，從 (3.4) 式可算出 $(\mu^2 \tau)^{1/2}$ 的值，因載子的活期已知，可算出電子之易流度為 $200 \text{ cm}^2/\text{V sec}$ ⁽⁹⁾，由此利用 (3.3) 式對於少數載子的移動長度就可求得。

四. 結 語

當 CdS 中少數載子未知時，PEM 效應之討論是有用的，少數載子之移動長度可借用此效應加以算出。

參考資料：

1. A.R. Moore and R.W. Smith, Phys. Rev. 138. A 1250 (1965)
2. K.W. Böer and K. Bogus, Phys Rev. 176. 899 (1967)
3. R.H. Bube, Photoconductivity Conference. Nov. 4-6. 575 (1954)
4. A. Rose. Photoconductivity Conference. Nov. 4-6. 3 (1954)
5. R.H. Bube. J. Appl. Phys. 27. 1236 (1956)
6. J.W. Shookley. Electrons and holes in Semiconductors. P. 125 55 (1959)
7. H.S. Sommers Jr., Methods of Exp. Phys. Vol. 1.6. 357 (1959)
8. S.W. Kurnick and R.N. Zitter. J. Appl. Phys., 27, 178 (1956)
9. S.H. Sommers. Jr. et al. Phys. Rev. 101. 987 (1959)

The PEM Effect on Photoconductive CdS Films

by

Fu-tyan Lin

This article attempts to discuss the mobility of minor carriers and their length of diffusion drift in non-degenerate insulator by utilizing the photoelectromagnetic (PEM) effect of CdS. From the formula of short current the value of $\mu^2 \tau$ can be calculated. Since the life time, τ , of the carrier is known, the mobility, μ , can be found, and the length diffusion drift calculated from

$$L = \left(\frac{\mu^2 \tau K T}{e} \right)^{1/2}$$