

國立交通大學

電機學院 電子與光電學程

碩 士 論 文

CCD 數位相機漏光現象之研究與改善

Smear study and improvement of CCD digital camera

研 究 生：蕭家振

指 導 教 授：盧廷昌 教授

中 華 民 國 101 年 八 月

CCD 數位相機漏光現象之研究與改善

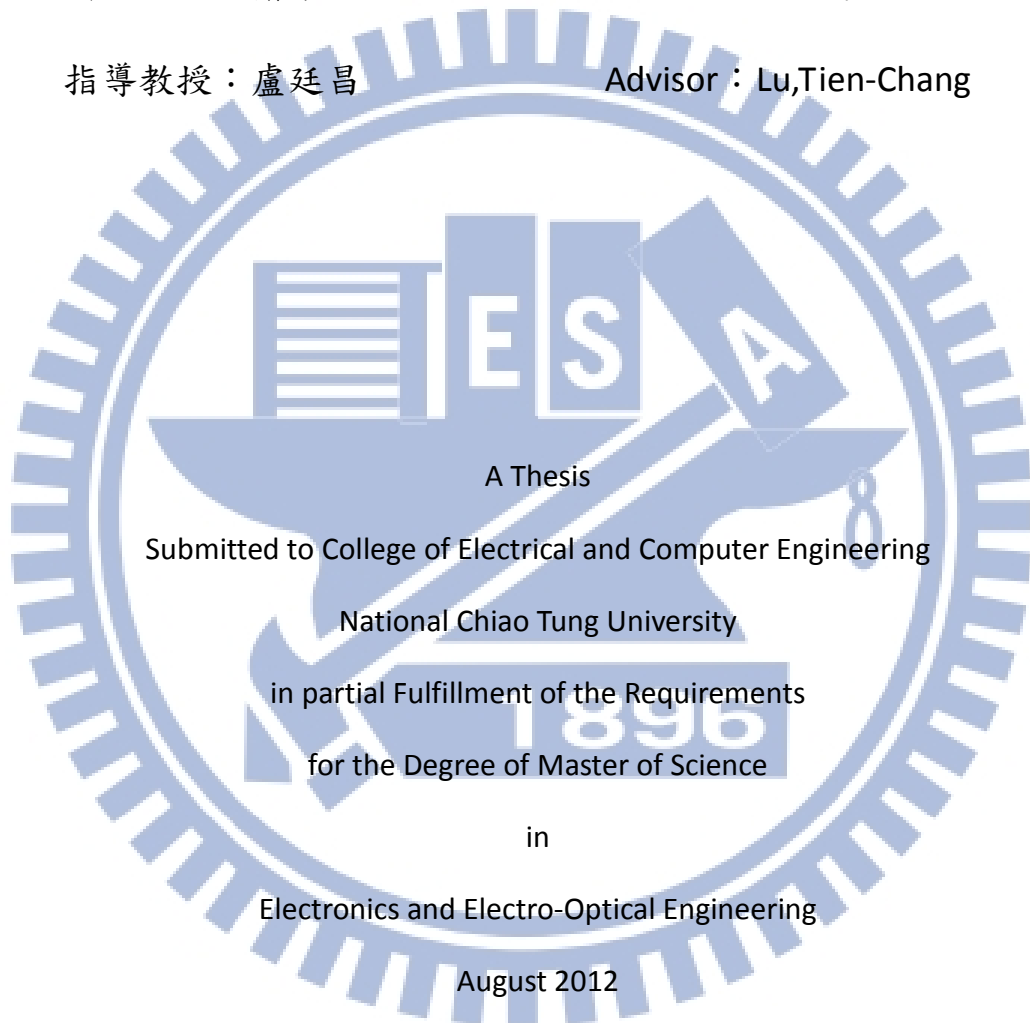
Smear study and improvement of CCD digital camera

研究生：蕭家振

Student : Hsiao,Chia-Chen

指導教授：盧廷昌

Advisor : Lu,Tien-Chang



Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 101 年八月

CCD 數位相機漏光現象之研究與改善

學生:蕭家振

指導教授:盧廷昌

國立交通大學 電機學院 電子與光電學程 碩士班

摘 要

我們常常可以發現，當我們使用數位相機在有高輝度光源的場景進行錄影時，我們可以在錄影檔畫面上看到一個筆直的光線，也就是我們所謂的漏光(Smear)，而這現象也是 CCD 影像感測器所特有的問題，以目前一般我們抑制漏光的方式，大多以調整光圈、調整曝光時間或者鏡頭上增加減光鏡(Neutral Density Filter; ND Filter)，但以上的方式，均會造成影像品質變差，以及製造成本的上升，所以筆者希望能藉由探討此現象的過程中，了解造成此現象的主要原因，進而找出以不影響畫質且又可以改善漏光的方式。

本論文使用機械快門，在不影響原先的訊號下改善漏光現象，雖然此方式可以改善，但要實際應用在商品上，仍然會有其他問題需要解決，筆者利用此次實驗的結果，提出一個用影像處理的方法來改善漏光現象，但此方式需要軟體人員協助，所以僅提供給後續研究人員參考。

Smear study and improvement of CCD digital camera

Student : Hsiao,Chia-Chen

Advisor : Lu,Tien-Chang

Degree Program of Electrical and Computer Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

When using a CCD image detector, it is usually found that a straight optical line(smear), which is displayed on video when using a digital camera to record under a lighting source with high brightness. The method we usually use to eliminate the smear is to adjust aperture, the time length of exposure or add Neutral Density Filter on the lens. However, all of the above will reduce the quality of image and increase the production cost. As a result, a method to improve the smear while still maintaining the quality of image is planned to be explained through my further study of this problem and its causes.

The method used to improve smear without affecting original signal is mechanical shutter operation detailed in this dissertation, which although is feasible cannot be applied on products without other issues. A new method of

image process to improve smear is proposed with the support from the result of this experiment. Nevertheless, this method will require a lot of resources of software programming; this is only of reference to people studying further in this field.



誌 謝

花費了長久的時間與多次的實驗，終於將此論文完成，因筆者白天尚在工作，常常因趕案子，所以都隔一段很久的時間才與老師回覆進度，老師除了在每次的討論提供我許多方向，也會關心筆者工作狀況，如遇到瓶頸時，也會給予我一些建議，讓我可以工作與學業都兼顧下完成此論文，在此非常感謝指導教授盧廷昌老師，在這段時給予的指導與體諒，透過完成此論文的過程，筆者學習到了相當多解決問題的方法，這些相關的訓練都可為筆者在工作上帶來相當多的幫助，也非常感謝田仲豪和冉曉雯老師，在口試時給予的指導，提供我相當多在探討問題時需要的觀念。

在此也要感謝家人的體諒，讓我可以專心的在工作與學業上，進而順利完成此論文，也要感謝筆者公司同事陳誌偉、陳怡仁的協助，將控制時序修改成筆者希望的方式，讓此實驗得以實現。

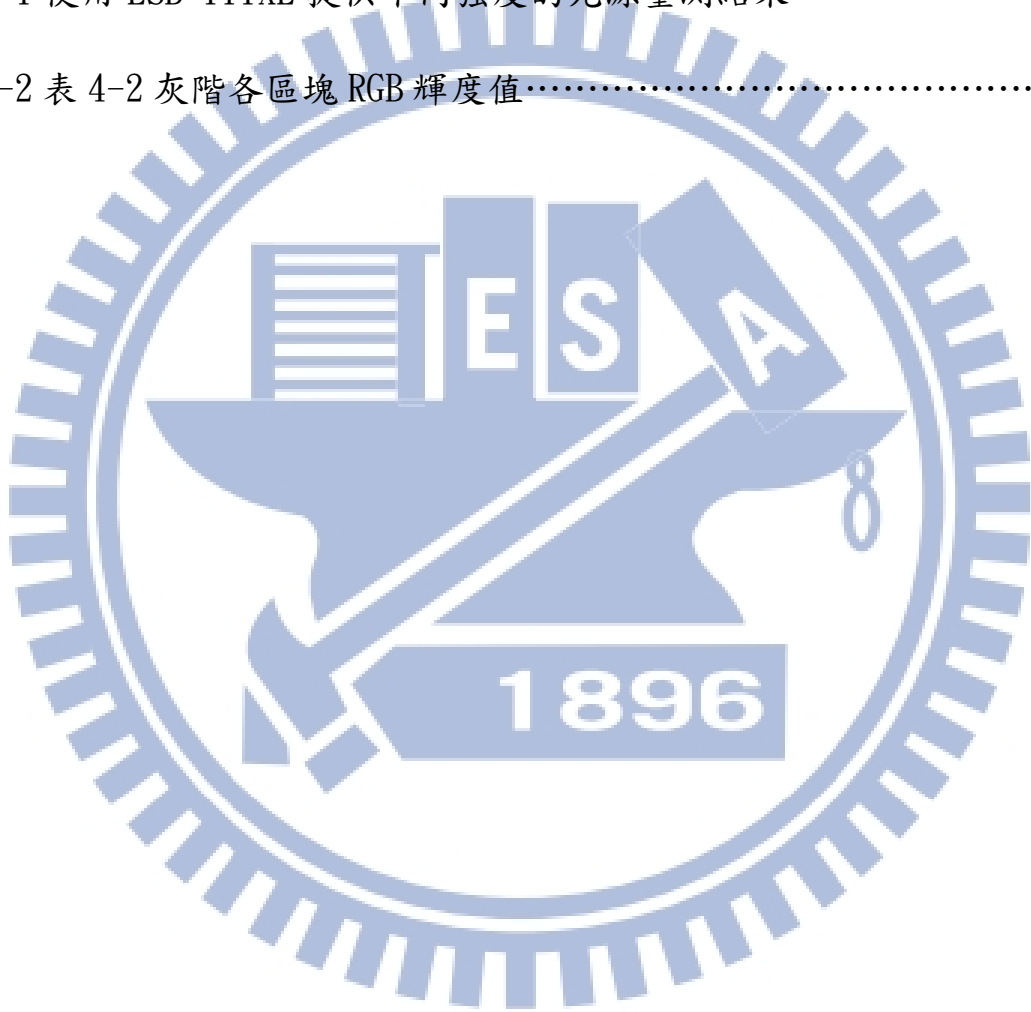
目 錄

中文提要.....	i
英文提要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	vi
表目錄.....	vii
圖目錄.....	viii
一、 緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目標.....	2
二、 相關研究.....	3
2.1 電荷耦合元件(CCD).....	3
2.1.1 光電轉換.....	4
2.1.2 電荷儲存.....	7
2.1.3 電荷傳輸.....	9
2.1.4 電荷的檢測.....	14
2.1.5 傳輸方式.....	18
2.1.6 CCD 影像感測器特性.....	23
2.2 金氧半影像感測器(CMOS).....	26

2.3	機械快門 (Mechanical Shutter)	29
三、	研究內容與測試架構	30
3.1	相關研究	30
3.2	實驗架構	38
3.2.1	電子快門	38
3.2.2	機械快門	41
四、	實驗結果	45
4.1	電子快門實驗結果	45
4.2	機械快門實驗結果	47
4.2.1	靈敏度	48
4.2.2	R、G、B Ratio	52
五、	結論	53
5.1	實驗結論	53
5.2	未來改善	54
	參考文獻	57

表目錄

表 2-1 可見光各波長在 Si 單晶吸收深度.....	7
表 2-2 CCD 與 CMOS 特性比較.....	28
表 4-1 使用 LSB-111XE 提供不同強度的光源量測結果.....	48
表 4-2 表 4-2 灰階各區塊 RGB 輝度值.....	52



圖目錄

圖 1-1 陽光產生的漏光現象	1
圖 2-1 (a) 外部光電效應 (b) 內部光電效應	4
圖 2-2 光在基板上吸引的情形	6
圖 2-3 光的吸收係數(Si 單晶)	6
圖 2-4 MOS 電容器與表面電位	8
圖 2-5 MOS 電容器的等價電路	9
圖 2-6 四相 CCD 的(a)構造、(b)電位分佈與(c)驅動時序	10
圖 2-7 二相 CCD 的(a)構造、(b)電位分佈與(c)驅動時序	11
圖 2-8 操作電荷量的電容模式	13
圖 2-9 傳輸劣化的原因	14
圖 2-10 訊號電荷檢測原理	15
圖 2-11 浮置擴散放大器的(a)構造、(b)電位分佈與(c)驅動時序	16
圖 2-12 源極隨耦器電路	17
圖 2-13 FD 的電容模式	18
圖 2-14 圖框傳輸(FT)方式的組成圖	20
圖 2-15 線間傳輸(IT)方式的形成圖	21
圖 2-16 圖框線間(FIT)傳輸方式形成圖	23
圖 2-17 開口率定義	24

圖 2-18 CMOS 影像陣列架構	26
圖 2-19 CMOS 畫素架構 (a) PPS (b)APS	27
圖 2-20 目前消費型數位相機使用的快門	29
圖 2-21 實際機械快門對曝光的影響	29
圖 3-1 測試用數位相機架構	30
圖 3-2 IT-CCD 影像感測器的典型畫素構造	31
圖 3-3 單一畫素的電位分佈圖	32
圖 3-4 Blooming Effect	32
圖 3-5 垂直溢位構造/埋入光電二極體的電以快門動作	33
圖 3-6 垂直 CCD 最大電荷操作量	34
圖 3-7 形成漏光的原因	35
圖 3-8 漏光抑制比的定義	36
圖 3-9 漏光為上下拉線的理由	36
圖 3-10 AFE 架構 (主要包含 AFE、TG、VD)	37
圖 3-11 一般攝影模式的控制時序	38
圖 3-12 在曝光時期內光電二極體儲存電荷狀態	38
圖 3-13 變更後攝影模式的控制時序	39
圖 3-14 曝光時序變更後光電二極體的狀態	39
圖 3-15 在漏光量測位置與 Photoshop 讀值設定	40

圖 3-16 一般未加機械快門攝影模式的控制時序	41
圖 3-17 增加機械快門關閉的時序	41
圖 3-18 靈敏度測試架構	42
圖 3-19 量測位置	42
圖 3-20 白平衡後 RGB 比例不正確的原因	43
圖 3-21 標準色板置入位置	44
圖 3-22 Photoshop 讀值設定	44
圖 4-1 光源為陽光時其時序變更前後的結果比較	45
圖 4-2 光源為日光燈時其時序變更前後的結果比較	46
圖 4-3 光源為陽光時有無加入機械快門的結果比較	49
圖 4-4 光源為日光燈時有無加入機械快門的結果比較	50
圖 4-5 光源為太陽燈時有無加入機械快門的結果比較	51
圖 4-6 光源為太陽燈加入機械快門的測試 RGB 比例結果	52
圖 4-7 灰階的各區塊 R/G & B/G 比值	52
圖 5-1 IT-CCD 結構	55
圖 5-2 新曝光時序	55
圖 5-3 新時序控制與影像處理後的結果	56

第一章 緒論

1.1 研究動機

隨著現今科技的進步，人們在影音的要求越來越高，在畫質的要求也必須更逼真、清晰、完美。在這資訊、科技爆發的時代，由於資料的大量傳遞、網路的迅速竄起，影像檔案也被要求快速而精確的擷取、傳輸，影像感測器(Image sensor)就顯得相當重要。目前最普遍使用的影像感測器就是 CCD 與 CMOS，本篇論文僅以探討 CCD 為主。

CCD 從 1969 年由美國的貝爾研究室所開發出來，到 1985 年開始正式應用於民生，以 25 萬畫素的高解析度影像感測器發表，至今其應用在數位相機的畫素已發展達 2000 萬畫素，筆者目前是從事數位相機硬體設計的工作，常常在驗證相機功能時，發現當相機取景裡有高輝度光源時，我們可以從 LCD 畫面上看到在光源處會有一個筆直的亮線，如圖 1-1 所示，但在拍照後並無法看到，但如果是使用錄影模式，確是可以在錄影檔案裡發現此現象，此結果引起筆者探討的興趣。



圖 1-1 陽光產生的漏光現象

1.2 研究目標

在進入數位相機工作這幾年發現，CCD 的畫素越多以及使用光圈越大的鏡頭，越容易發生漏光(Smear)現象，而一般我們抑制漏光的方式，大多用以下方式進行，如調整光圈、調整曝光時間或者鏡頭上增加減光鏡(Neutral Density Filter；ND Filter)，減光鏡又名中性密度鏡，其鏡片呈中性的灰色，其主要功能是降低入光量的通過且不會改變色彩，亦表示其不會造成波長和色溫的偏差。減光鏡依其密度濃度可分 ND2、ND4、ND8 等種類，其間標示的數值越大者表示其密度越高，減光的能力也越強

但以上的方式都會造成影像品質變差，以及製造成本的上升，所以筆者希望能藉由探討此現象的過程中，首先了解為什麼只會在錄影模式才會有此現象，以及造成此現象的原因，在了解其原因後，在不同的攝影條件(動態攝影或靜態攝影)和光源(不同輝度與色溫)下，進行實驗找出可以不影響畫質且又可以改善漏光的方式。

第二章 相關研究

在數位化快速發展的時代，相機快速的由過去銀鹽底片，變成由電荷耦合元件(Charge Coupled Device, CCD)或金氧半影像感測器 CMOS(Complementary Metal Oxide Semi-conductor; CMOS)所取代，與過去不同的是，銀鹽底片是藉由光照在底片上導致其化學物質產生變化，進而將此變化，經由顯影技術將影像還原呈現，而 CCD 與 CMS 影像感測器則是藉由二維像素矩陣(Pixel array)將光訊號轉成電荷訊號，經由讀取電路及類比數位轉換器，可獲得數位化之影像訊號。

2.1 電荷耦合元件(CCD)

此章節將進行 CCD 影像感測器的構成以及作動原理進行說明，CCD 的作動可由以下四個基本動作組成：

1. 光電轉換(將光轉換成訊號電荷)。
2. 電荷儲存(儲存訊號電荷)。
3. 電荷傳輸(傳輸電荷訊號:CCD 的功能)。
4. 電荷檢測(將訊號電荷轉換成電氣訊號)。

2.1.1 光電轉換

物理上而言，光電轉換分成兩種外部光電效應和內部光電效應。

外部光電效應:在固體表面的電子接受光(Photon)的能量後釋放到真空的現象,價電帶與真空能階的能量差就是功函數(Work Function),如圖 2-1(a)所示。

內部光電效應:固體內部電子一開始會處於一個能階較低的價電帶,當電子因吸收光子的能量後,激發到較高的能階導電帶,此現象稱為內部光電效應,如圖 2-1(b)。

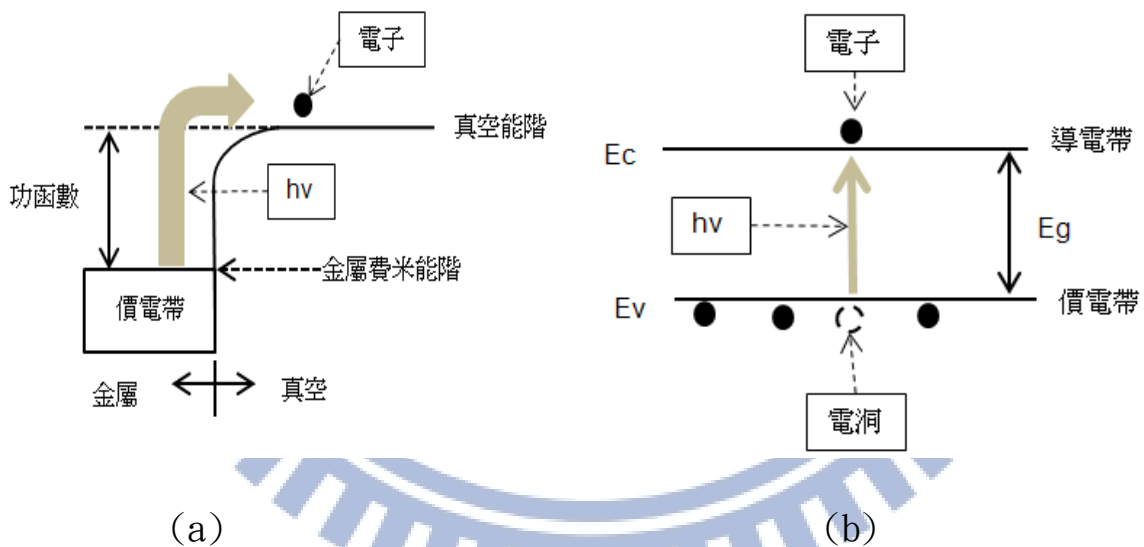


圖 2-1 (a) 外部光電效應 (b) 內部光電效應

使用半導體的 CCD 影像感測器是藉由內部光電效應,當光照射到半導體之 PN 接面上,若光子能量足夠大,則半導體材料中價電帶之電子會吸收光子之能量,從價電帶越過禁帶到達導電帶,在導電帶中出現電子,在價電帶中就留下一電洞,即產生了一電子電洞對(Electron-hole pair),矽

(Si)材料之禁止能隙為 E_g (Energy Gap)，入射光子能量為 E_p ，可藉由(1)式計算出所需的光能量，其最小入射光子能量要大於能隙，方能產生電流。

$$E_p > E_g$$

$$E_p = h \times \nu = h(C/\lambda) \quad (1)$$

浦朗克常數(Plank constant)： $h = 6.626 \times 10^{-34}$ (J-s)

光速(Velocity)： $C = 3 \times 10^8$ (m/s)

光頻率(Frequency)： ν (Hz)

光波長(λ)： λ

光吸收

因為要產生光電轉換其能量須要大於禁止能隙 E_g ，所以並不是所有的波長，均可在矽基板裡面進行光電轉換，光吸收在半導體材質上，因結晶表面無法吸收所有的照光，且不同波長其吸收的程度也不同。

圖 2-2 用來說明基板光吸收的情況，假設基板表面的座標設為 0，垂直表面沿著 X 軸的方向邊吸收邊前進，將基板表面深處 x 處的光強度定為 I，前進距離 dx 的光強度變化為 dI， α 定義為吸收係數，可由以下關係式(2)表示。

$$dI = -\alpha I dx \quad (2)$$

結晶表面的光強度為 I_0 ，忽略表面光反射，可由如下關係式(3)表示。

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (3)$$

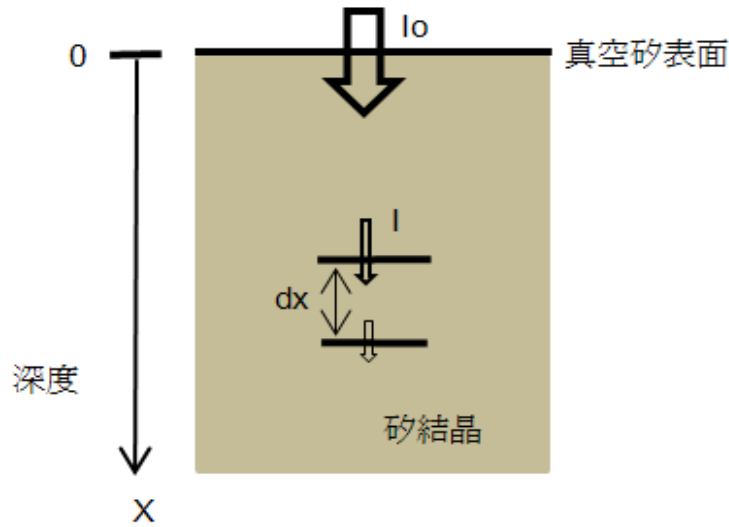


圖 2-2 光在基板上吸引的情形

其中 α 值越大，則光可在基板表面立即吸收，反之要到一定的深度才可以被吸收，由圖 2.3[1] 可得知 Si 單晶的吸收係數 α ，對光的能量會有何變化。

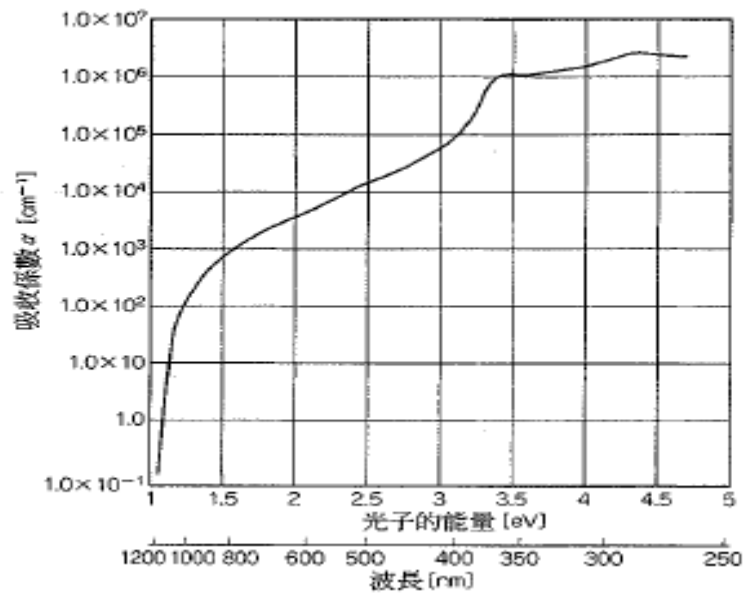


圖 2-3 光的吸收係數(Si 單晶)[1]

表 2-1[1] 所示，用以說明在可見光的範圍內其各波長吸收一半的光所需要的深度，其波長較長的紅光所需要的深度是藍光的十倍，由上述得

知的結果，也將影響後面會討論到 CCD 的重要參數靈敏度(Sensitivity)所得到的值。

表 2-1 可見光各波長在 Si 單晶吸收深度[1]

色彩	波長(nm)	吸收一半光的深度(um)
紫	400	0.093
藍	460	0.32
綠	530	0.79
黃	580	1.2
橙	610	1.5
紅	700	3

2.1.2 電荷儲存

電位阱(Potential Well)

CCD 影像感測器裡的光電二極體，即是扮演將光訊號轉換成訊號電荷的角色，大部分的 CCD 其訊號電荷為電子，利用電子帶負電，以正電壓吸引電子，以電位阱(Potential Well)的方式將訊號電荷儲存在裡面，其儲存的構造有表面型 MOS 電容器、埋入型 MOS 電容器、PN 接合二極體，在此以表面型 MOS 電容器說明其電位阱的形成。圖 2-4 說明一個 MOS 電容器，由 P 型 Si 形成基板，將 MOS 電容器的基板背面接地，表面電極施加正電壓，

在受到施加電極的影響，電位分佈改變，位於電極下 Si 基板表面的電位升高，此一狀態下，由於最接近電極的 Si 基板表面電位，比周圍的接地電位以及包圍的基板電位都來的高，因此形成電位阱故可以儲存帶負電的電子，如圖 2-4(b) 所示。

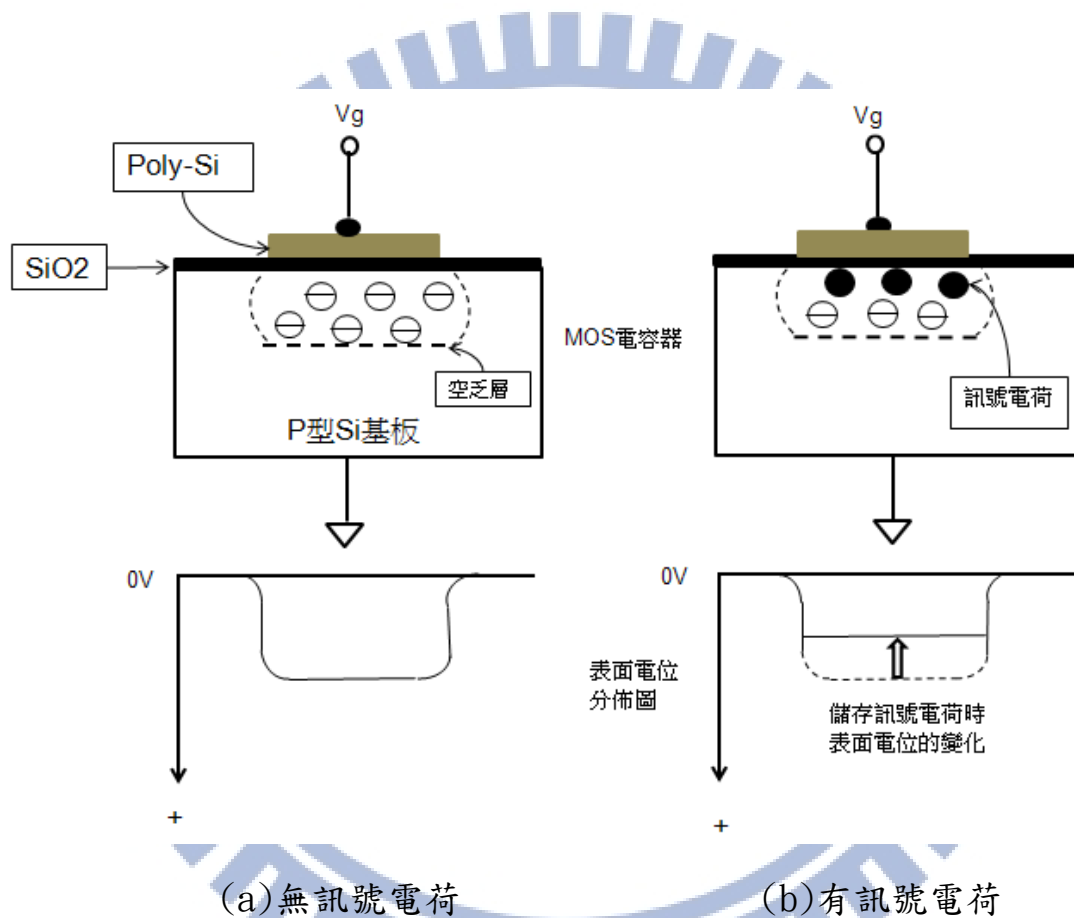


圖 2-4 MOS 電容器與表面電位

當訊號電荷儲存在 MOS 電容器，其表面電位要比無訊號電荷時更低，可由以下簡易關係式(4)以及 MOS 電容器等價電路圖 2-5 所示說明， Ψ_s 為訊號電荷的表面電位， Q_s 為 Si 表面訊號電荷， C_D 為空乏層等效電容， C_{ox} 為絕緣層(SiO₂)等效電容。

$$\Delta \Psi_s \doteq Q_s / (C_{ox} + C_D) \quad (4)$$

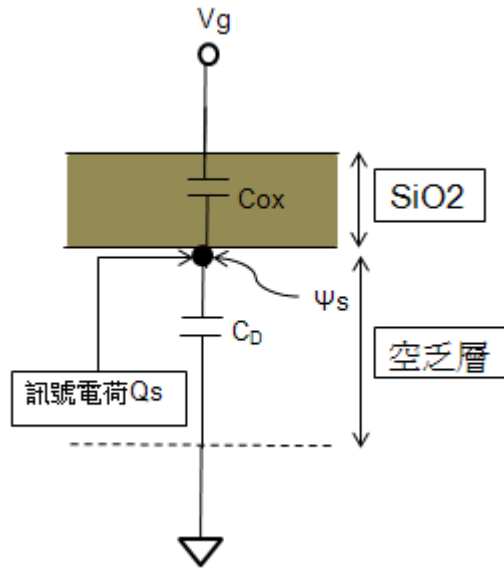
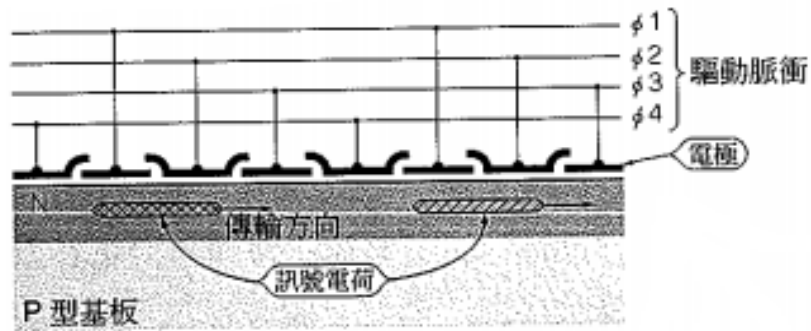


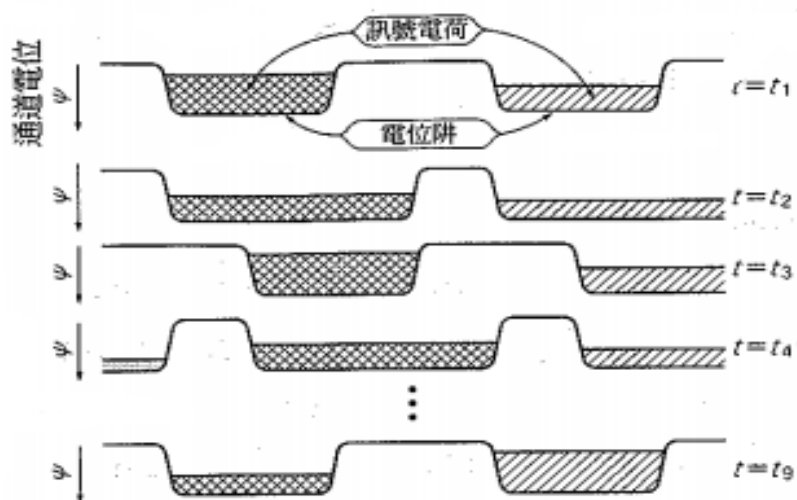
圖 2-5 MOS 電容器的等價電路

2.1.3 電荷傳輸

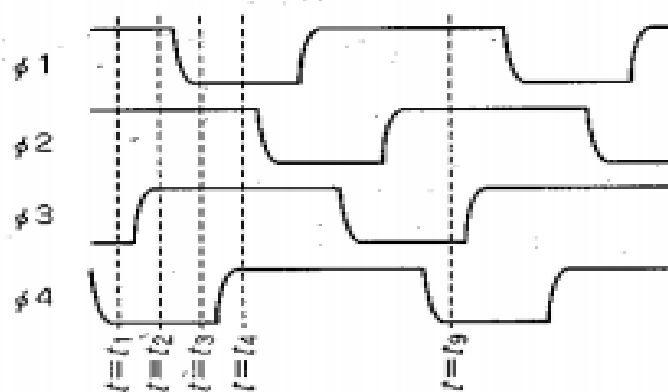
CCD 電荷傳輸的原理，就是移動儲存電荷的電位阱，依 CCD 傳輸構造可分為四相、三相、兩相，四相與三相只有電極數不同，其動作原理完全相同，所以在此僅針對四相與二相介紹。如圖 2-6(a) [1]，為基本的四相(Φ1、Φ2、Φ3、Φ4)CCD 構造，是由多個 MOS 電容器相鄰形成，在均一的 Si 基板上，由兩層的 Poly-Si 電極之間夾著絕緣材料的氧化膜，進行重疊配置，由於各電極可施於獨立的電壓，各 MOS 電容器可形成不同電位的電位阱，此外四個電極(Φ1、Φ2、Φ3、Φ4)反覆形成一個單元，圖 2-6(b) [1] 分別給予四個端子適當的時脈脈衝，形成高電位與低電位阱，圖 2-6(c) [1] 適當的控制驅動脈衝時序，使得儲存在基板電位阱內的訊號電荷，隨著電極順序移動，傳輸電荷的部分也稱為傳輸通道。



(a)



(b)

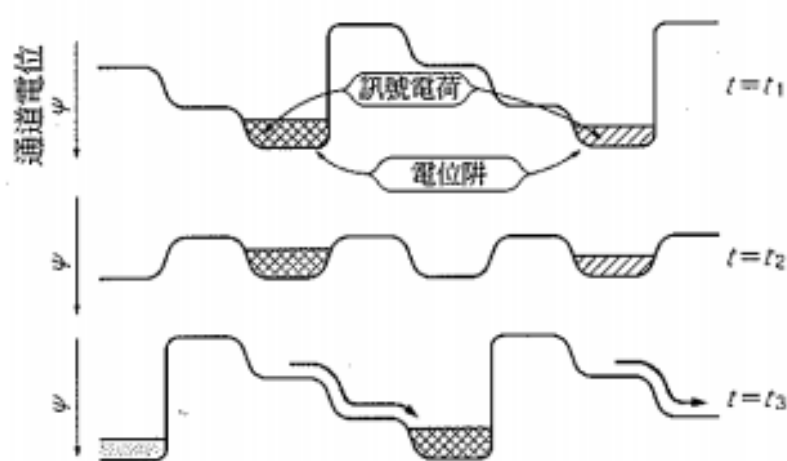
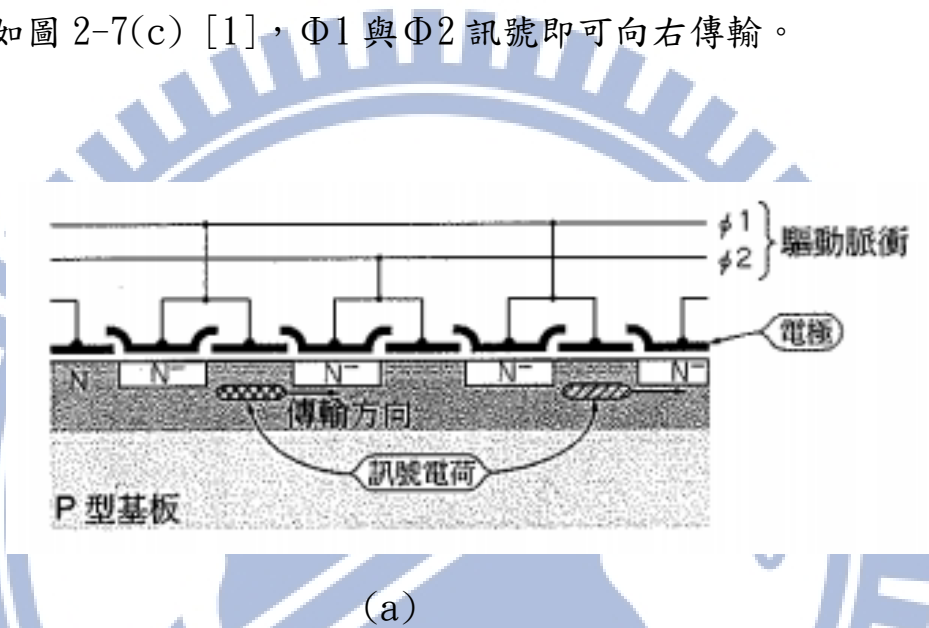


(c)

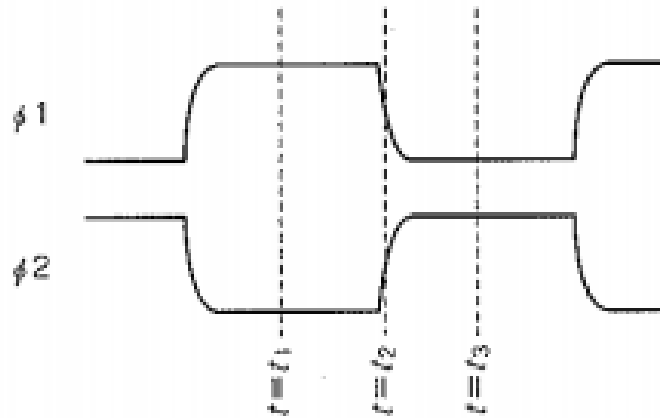
圖 2-6 四相 CCD 的(a)構造、(b)電位分佈與(c)驅動時序[1]

二相 CCD 構造與四相 CCD 非常相似，差異在電極兩兩相連，並且改

變 Si 基板表面附近的雜質濃度，對於第一層 Poly-Si 電極，利用自行整合法中的離子注入方法引進雜質，如圖 2-7(a) [1] 示相連的電極中右者為儲存電極(Storage Electrode)另一個為傳輸電極(Transfer Electrode)，圖 2-7(b) [1] 由於前者的電位總高於後者，故可形成電位阱，一但施予逆相驅動脈衝如圖 2-7(c) [1]， $\Phi 1$ 與 $\Phi 2$ 訊號即可向右傳輸。



(b)



(c)

圖 2-7 二相 CCD 的(a)構造、(b)電位分佈與(c)驅動時序[1]

一般 IT-CCD 的結構，其垂直 CCD 常用高操作電荷量的四相 CCD，而水平 CCD 常用驅動簡單且支援快速傳輸的二相 CCD。

操作電荷量

在了解傳輸機制後，我們需要知道 CCD 可傳輸的電荷量，也就是操作電荷量有多少，圖 2-8[1] 近似模擬來簡單說明如何計算其最大操作電荷。位於電極與基板空乏層之間的電容 C_g 與 C_s 視為串連的電容模式，由於 C_g 與 C_s 的连接點，為儲存訊號電荷的電位阱，假設電壓 V_c ，無訊號電荷時為 V_{c-emp} ，儲存電荷為 Q_c ，其 V_c 電位可以式(5)近似求得：

$$V_c \doteq V_{c-emp} + [Q_c / (C_g + C_s)] \quad (5)$$

假設訊號電荷最大操作值為 Q_{c-full} ，必須滿足訊號電荷不會溢往鄰近的電極，所以 V_{c-full} 須要高於鄰近電位 V_N ，該電位差為 V_d ，其操作電荷量可由

式(6)近似算出：

$$Q_{c-full} \doteq (C_g + C_s)(V_{c-emp} - V_N - V_d) \quad (6)$$

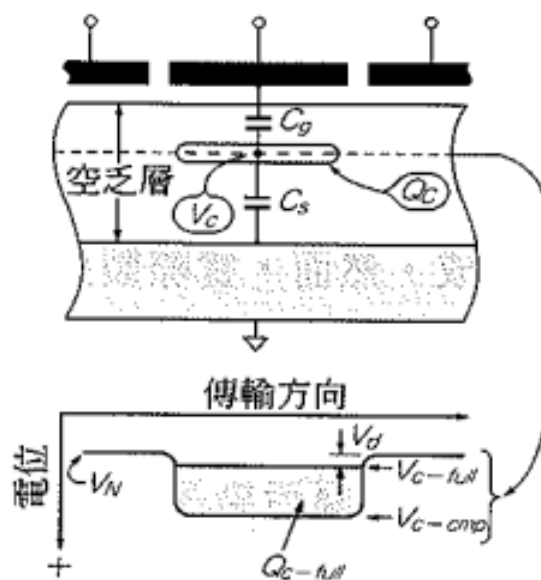


圖 2-8 操作電荷量的電容模式[1]

傳輸效率

所謂的傳輸效率，是指訊號電荷傳輸後，減少的訊號與原先訊號的比例，由於 CCD 影像感測器，從光電二極體經過無數段的 CCD 傳輸取得訊號，一但每段的傳輸效率無法幾乎百分百，將引發訊號劣化或雜訊的問題，實際製造的 CCD，因結晶缺陷或污染等問題產生抑制電子的陷阱能階(Trap Level)如圖 2-9 (a) [1]所示，或是因為構造不均導致電位誤差(下陷或障壁) 如圖 2-9(b) [1]所示，導致傳輸時間變長，訊號電荷傳輸發生殘留，傳輸效率劣化。

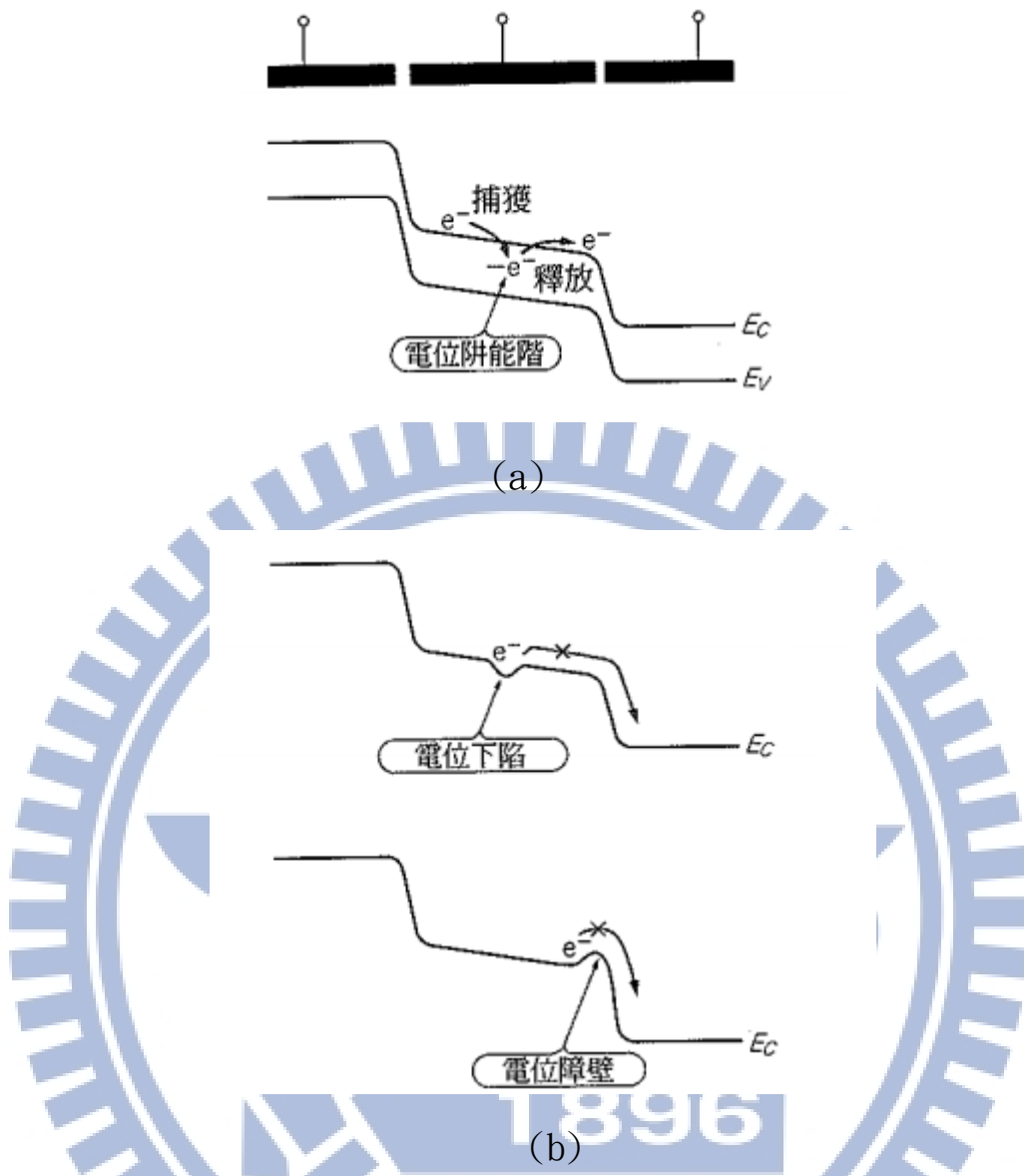


圖 2-9 傳輸劣化的原因[1]

2.1.4 電荷的檢測

電荷的檢測是從 CCD 影像感測器的光電二極體到達輸出部前，將訊號電荷轉換成電氣訊號的動作，圖 2-10[1]可簡單的說明其原理，將傳輸的訊號電荷轉換成電容器兩端電壓變化，用式(7)簡單表示，因接收訊號電荷量 Q 與電容器電容 C_{FD} ，所產生的電壓變化量 ΔV_{FD} 。

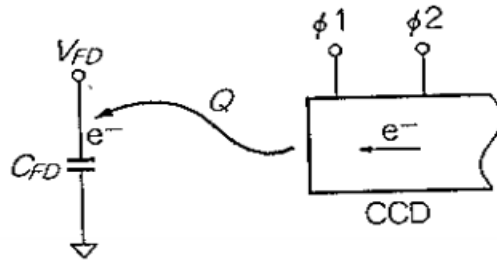


圖 2-10 訊號電荷檢測原理[1]

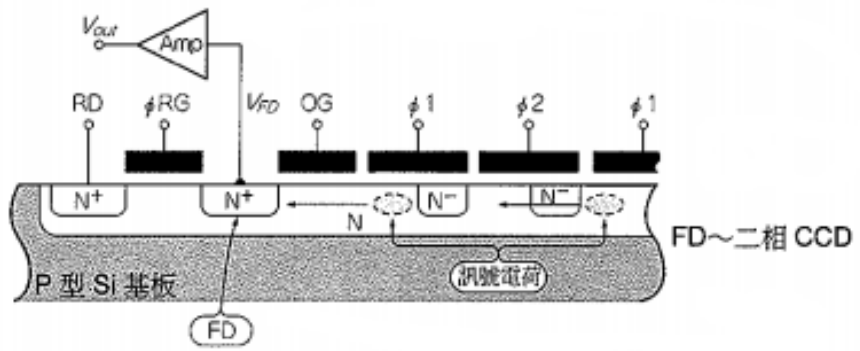
$$\Delta V_{FD} = Q / C_{FD} \quad (7)$$

目前的設計主要使用以下兩種：

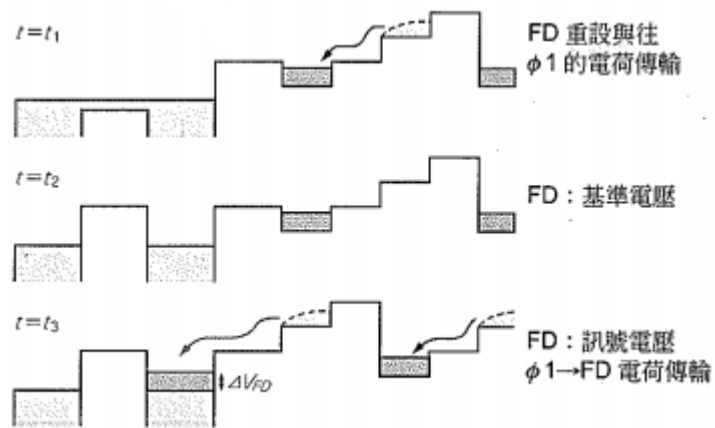
1. 浮置擴散放大器 (FDA: Floating Diffusion Amplifier)。
2. 浮置閘極放大器 (FGA: Floating Gate Amplifier)。

在這僅針對浮置擴散放大器進行介紹，因大多數的 CCD 都是以此設計，圖 2-11[1]用 CCD 影感測器中的水平 CCD 最終段附近內的斷面來說明，相鄰水平 CCD 最終段，所形成的 PN 接合二極體，在施予逆向偏壓的狀態下，可將訊號電荷轉換成電壓的電容器，由於此 PN 接合二極體的 N 型區域呈現浮游狀態故稱為浮置擴散(FD)。

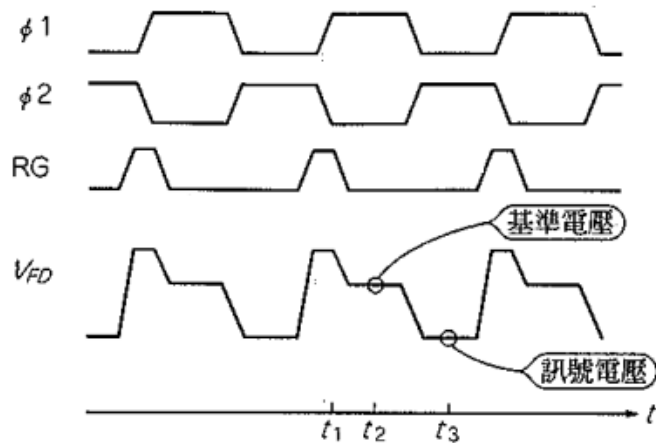
訊號電荷從水平 CCD 傳輸過來，沿著包含接合電容或寄生電容量的 N 型區域之電容器兩端電壓的變化，在由連接此處的放大器進行緩衝放大，將訊號電荷輸出到影像感測器外，重設閘極(RG: Reset Gate)就是負責此功能，在下一個畫素進入 FD 時，必須將先前畫素殘留的電荷清除，使得 FD 電壓回到基準電壓，才可得到正確的 ΔV_{FD} 。



(a)



(b)



(c)

圖 2-11 浮置擴散放大器的(a)構造(b)電位分佈與(c)驅動時序[1]

連接 FD 的放大器一般普遍使用源極隨耦器(Source Follower)如圖 2-12[1]，在 CCD 製作中可以較易形成 MOS 電晶體，加上源極隨耦器的頻寬廣且作動電壓也廣，可保持良好的輸出與輸入的線性端關係，源極隨耦器電路負載的電晶體源極端子，利用電阻並連進行接地，可略微降低 MOS 電晶體源極-汲極之間的電壓抑制穿透(Punch-Through)或熱電子(Hot Electron)。

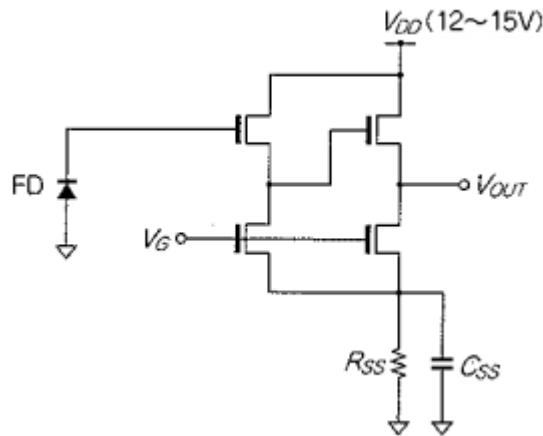


圖 2-12 源極隨耦器電路[1]

訊號電荷量與訊號電壓成正比與其電容成反比，用圖 2-13[1]來簡易說明 FD 電容量, FD 是 PN 接合二極體形成具有接合電容 C_{SUB} ，水平 CCD 與 FD 之間的電極 HOG 與 RG 等寄生電容 C_0 與 C_R ，而源極隨耦器的輸入電容 C_D 與 C_S ，式(8)表示 FD 的總電容量為 C_{FD} ，得知總電容量後即可求得輸出電壓由式(9)表示。

$$C_{FD} = C_{SUB} + C_D + C_R + C_S \quad (1-G) \quad (8)$$

$$\Delta V_{OUT} = G \cdot \Delta V_{FD} \quad G: \text{源極隨耦器放大比}(uV / e) \quad (9)$$

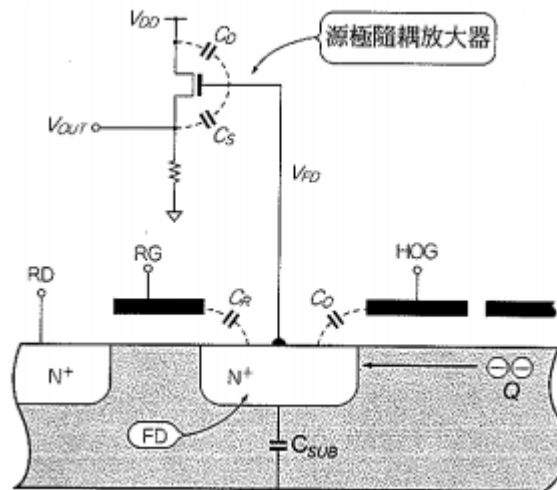


圖 2-13 FD 的電容模式[1]

2.1.5 傳輸方式

CCD 影像感測器訊號電荷的傳輸方式主要有以下三種傳輸方式：

1. 圖框傳輸(Frame Transfer: FT)。
2. 線間傳輸(Interline Transfer: IT)。
3. 圖框線間傳輸(Frame Interline Transfer: FIT)。

FT CCD (Frame Transfer CCD)

如圖 2-14 所示，圖框傳輸 (Frame Transfer, FT) 影像感測器的結構，可分為影像區、不透明儲存區及傳送區三大部份，由於傳輸電極覆蓋整個影像區，其光電轉換是因傳輸電極使用較薄的多晶矽或其他透明導電薄膜，讓光可以直接到達基板，所以直接在垂直 CCD 傳輸通道內進行光電轉換，儲存區的構造與其相同，僅增加 Al 薄膜進行遮光。

FT 影像感測器訊號傳送作動如下：在一個積分時間內（1 圖場=1/60 秒）影像區所產生的電荷，利用垂直遮沒（Vertical Blanking）期間迅速地傳到儲存區，再利用水平遮沒（Horizontal Blanking）期間，將每一行的電荷藉由水平 CCD 傳送到電荷檢測暫存區。當第一個圖框的信號正在傳送時，影像區已開始儲存第二個圖框的信號，當前一圖框信號傳送完畢，就輪到第二個圖框傳送信號，如此依序交替，即可構成一幅完整的影像。

由於垂直 CCD 不斷的進行光電轉換，影像區的訊號電荷若無法迅速的傳輸到儲存區，就容易加上多餘的光電轉換訊號，尤其在照攝場景有強光入射的情況，影響更大且更易造成漏光。所以其漏光的強度與傳輸的速度成反比，FT CCD 無法在實際攝影機應用的原因有以下：(1). 影像區域與儲存區的面積必須相同，導致高畫素時其感測器的體積太大，無法使用在一般消費型產品。(2). 因傳輸電極導致靈敏度下降。(3). 傳輸漏光等。

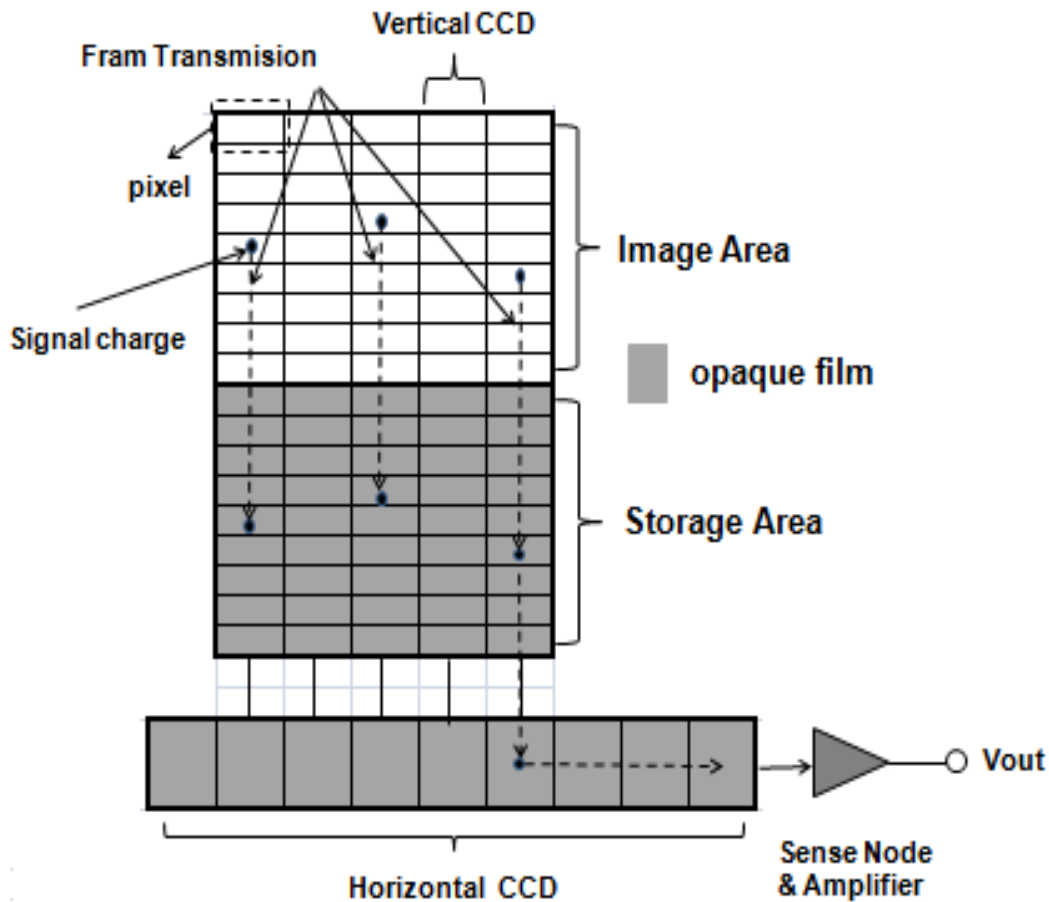


圖 2-14 圖框傳輸(FT)方式的組成圖

IT CCD (Interline Transfer CCD)

目前通用的 CCD 感測器是線間傳送式 (Interline Transfer, IT) 影像感測器如圖 2-15 所示，其畫素的構成是由光電二極體與垂直 CCD 組成，光電二極體主要負責光電轉換與訊號儲存，垂直 CCD 負責傳輸包含多個直條狀陣列，並由曝光區及儲存區間隔組成，因為其資料讀取速度較快，透過採用微鏡頭，可達到與 FT 方式 CCD 相同的實質開口率。

由於光電轉換與傳輸部是分離，一方面光電二極體可入射光，另一方面垂直 CCD 可以進行遮光，在光電轉換後，訊號有充足的時間傳輸，所

以並不需要有儲存部。但因垂直 CCD 無法完全遮光，故無法完全避免發生漏光的現象。

IT CCD 訊號傳輸作動如下：光電二極體在一定期間內進行光電轉換以及儲存動作，在垂直歸線返馳期間的最後，針對所有畫素，同時傳輸到相鄰的垂直 CCD，這個作動稱為讀出傳輸。傳到垂直 CCD 的訊號電荷，在水平歸線返馳期間，進行逐行傳輸到水平 CCD，在經由 FD 放大器，將畫素逐一轉換成訊號電壓後輸出。此時，光電轉換結束後的訊號電荷，同時進行垂直 CCD 逐行傳輸，光電二極體進行下一個影像光電轉換。

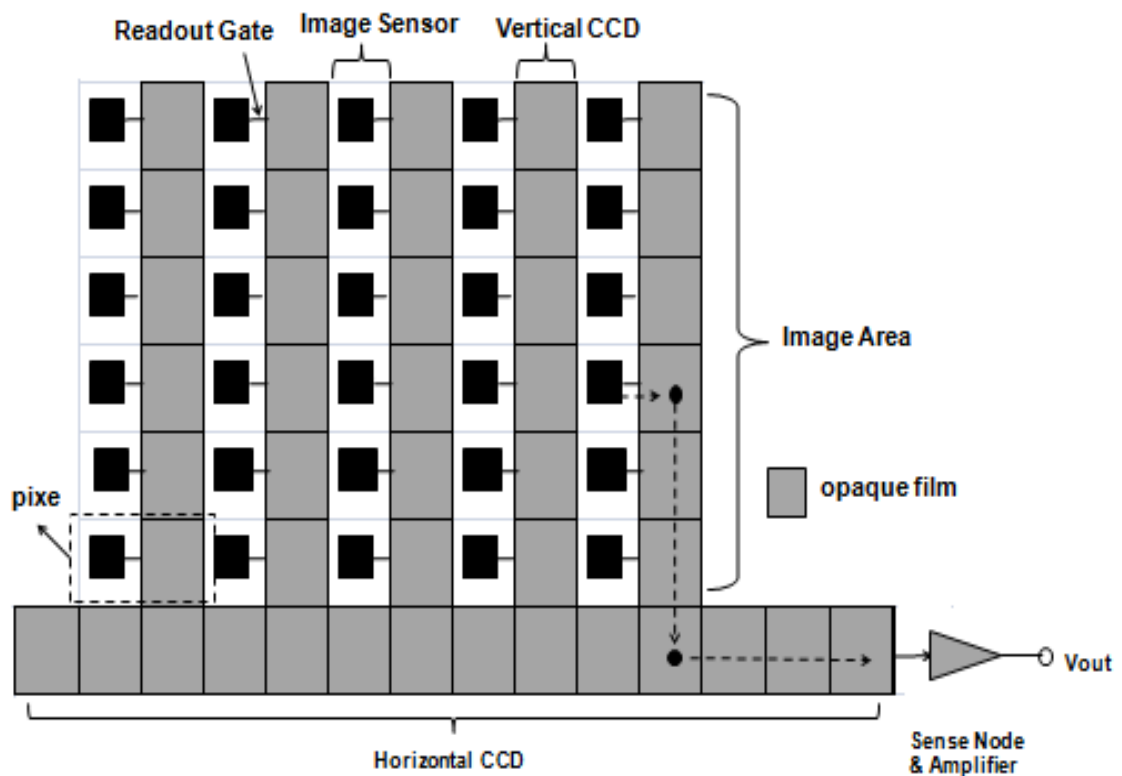


圖 2-15 線間傳輸(IT)方式的形成圖

FIT CCD(Frame Interline Transfer CCD)

圖框線間傳輸(Frame Interline Transfer, FIT)架構為結合 IT 與 FT, 如圖 2-16 所示, 可以結合兩者優點, 即感光二極體高電容量, 和非常低的畫面污染; 缺點則是由垂直 CCD 所造成的降低像素曝光面積, 和同樣需要幾乎雙倍的面積以做為儲存區域。

FIT CCD 訊號傳輸作動如下: 首先在垂直歸線返馳期間, 從光電二極體讀出訊號電荷到垂直 CCD, 在垂直歸線返馳期間結束前為止, 所有的訊號電荷以圖框傳輸, 快速傳輸到儲存部。在水平歸線返馳期間, 在逐行傳輸電荷到水平 CCD。水平 CCD 將傳輸過來的訊號電荷, 在水平影展期間內, 往 FD 部轉換為訊號電壓, 畫素逐一輸出訊號電壓。在讀出動作前, 前垂直歸線返馳期間內, 為了除去垂直 CCD 傳輸期間發生的漏光電荷, 進行漏光掃除傳輸。除此之外, 也因為利用圖框傳輸, 縮短訊號電荷在影像區域的垂直 CCD 內的時間, 有效的降低垂直 CCD 漏光的影響。

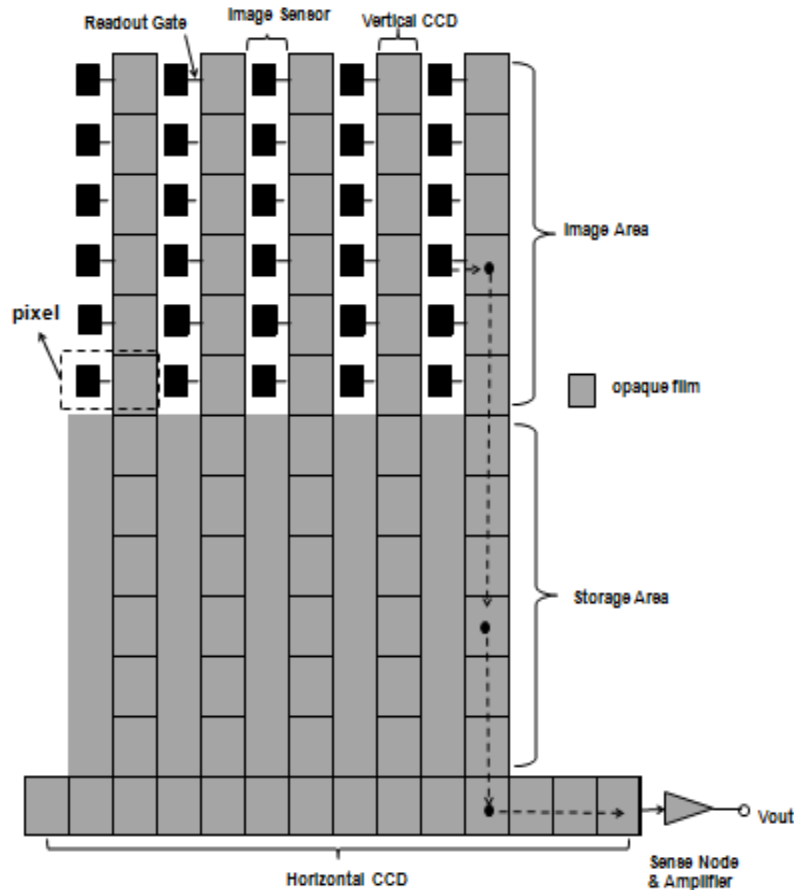


圖 2-16 圖框線間(FIT)傳輸方式形成圖

2.1.6 CCD 影像感測器特性

針對 CCD 特性在此僅對以下特性進行簡單說明：

(1) 靈敏度：

是代表可以在多暗的狀態下，進行攝影的基準，影響其要素如下：

① 光電二極體的量子效率

影響其量子效率主要的是光電二極體的開口在單位畫素中佔有的比例如圖 2-17 所示，也就是我們定義的開口率如式(10)：

$$\text{開口率} = (A_{op}/A_{pixel}) * 100\% \quad (10)$$

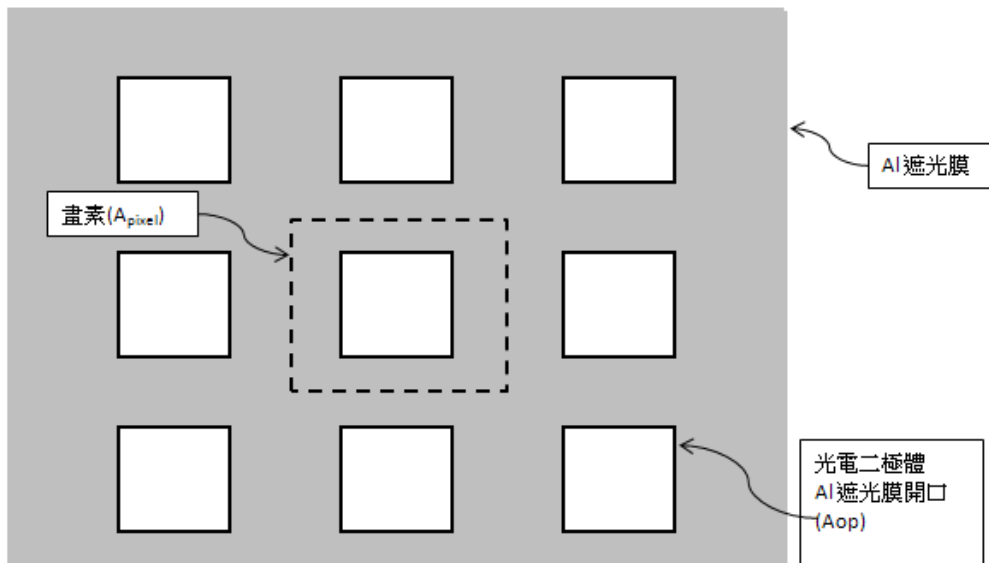


圖 2-17 開口率定義

② 微鏡頭(Micro lens)

其主要用途是將入射光集中到光電二極體上，增加光電二極體的量子效率。

③ FD 的轉換效率

其轉換效率主要由 FD 接合電容以及寄生電容決定，為了提高靈敏度，必須降低 FD 的電容。

④ 光學尺寸

所謂的光學尺寸指的是 CCD 感測器對角尺寸與鏡頭的 F 值，鏡頭的 F 值會影響到單位面積的照度，而 CCD 的對角尺寸，則是決定了畫素面積與畫素量，這些都會影響到光二極體的開口率，進而影響靈敏度。

(2) 動態範圍 (飽和訊號量)

動態範圍定義為最大訊號量，也就是飽和訊號量與雜訊比。而這個值也會受限於光電二極體的飽和電量與垂直 CCD 可傳輸最大電荷量有關。

(3) 解析度

解析度就是代表可以照出多細微圖案的尺寸，一般由於畫素越多，解析度也越高，因此大家常以畫素數取代解析度。



2.2 金氧半影像感測器(CMOS)

圖 2-18[5]所示為一典型的 CMOS 感測器架構，其與 CCD 陣列主要不同在於同一時間 CMOS 陣列每行只能提供一組訊號通過，因此位在此行的每個像素都必須做時序多工的分配，使其能在同一時間內傳輸，所以需要列選擇器(Row Selector)或列編碼器 (Row Decoder) 來進行信號的讀取；使其在讀取某一系列值時，其他列的像素須與行信號線斷路。在此時同列所有像素被讀取，若僅設計一個輸出線路，則輸出行放大器(Column Amplifier)亦需進行多工配置至一個輸出。

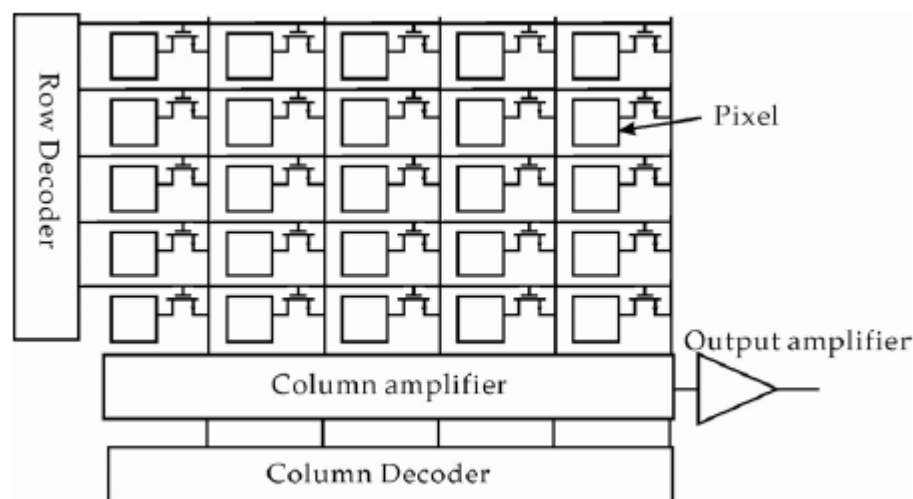


圖 2-18 CMOS 影像陣列架構[5]

CMOS 感測器以畫素架構可分為：被動式畫素感測器 CMOS (Passive Pixel Sensor CMOS) 如圖 2-19(a)[5] 是一種低成本、低耗電的感測器，但缺點是高雜訊、高抗阻、低動態範圍。被動式畫素感測器的光譜反應頻寬範圍除了可見光之外，也可以對紅外線反應，因此，可以被應用在安全監視器、汽車夜視裝置等產品上。主動式畫素感測器 CMOS (Active Pixel

Sensor CMOS) 如圖 2-19(b)[5] 是最近新發展出來的 CMOS 感測器，它針對 CMOS 高雜訊的缺點，在感測器的每一個畫素上加上訊號轉換迴路，以放大訊號及讀取訊號。因此，主動式畫素感測器 CMOS 比被動式畫素感測器 CMOS 有較好的畫質、較低的雜訊，但是卻增加 CMOS 感測器的複雜度 (High Complexity)，並且會降低感測器所能捕捉的光線強度 (Low Fill Factor)。一般而言，CCD 感測器的 Fill Factor 可以達到 60%，但是 APS CMOS 的 Fill Factor 只有 20~30%。為了解決這個問題，APS CMOS 感測器在每一個畫素上加上微鏡片，可使每一個畫素所接受的光線作類似聚焦的動作，使得 Fill Factor 提高 2 至 3 倍，大幅改善 APS CMOS 感測器的影像品質，也增加其與 CCD 感測器在高階數位相機市場的競爭力。

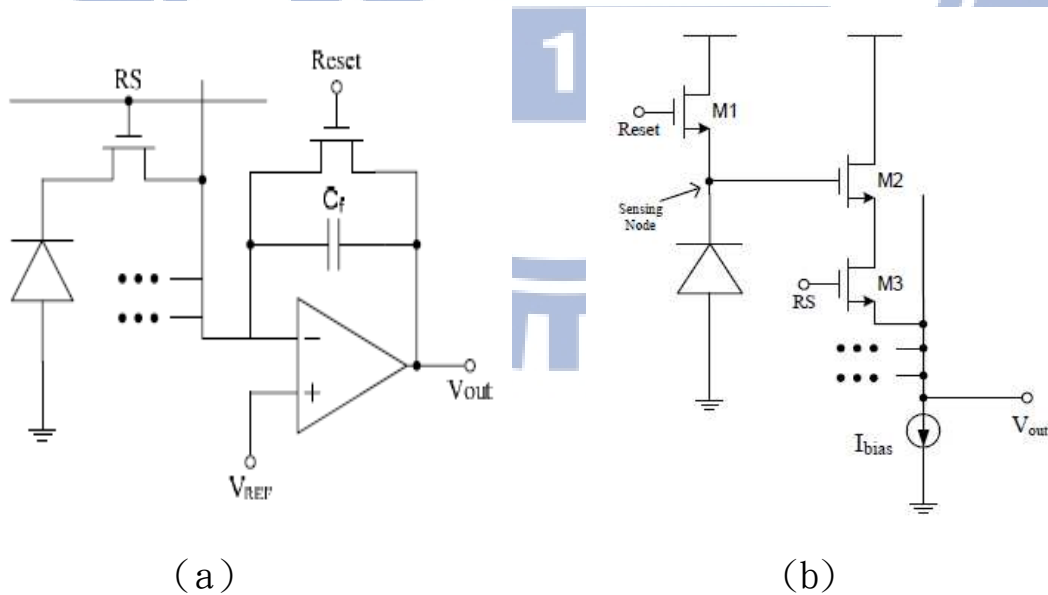


圖 2-19 CMOS 畫素架構 (a) PPS (b)APS[5]

表 2-2 所示，為 CCD 影像感測器與 CMOS 影像感測器的特性電源的比較。

表 2-2 CCD 與 CMOS 特性比較

	CCD	CMOS
靈敏度(Sensitivity)	◎ 量子效率、轉換效率	○ 量子效率、放大率
漏電流(Leakage current)	◎ 專用製程	○ CMOS LSI 製程
漏光(Smear)	○ 結構上會發生	◎ 可忽略
訊雜比(SN Ratio)	◎ FD 放大器	△ 電晶體性能
動態範圍	○ 良好	○ 由畫素大小決定
功率消耗	△ 需使用 3.3~15V 的電壓 驅動	◎ 使用 3.3V 驅動

2.3 機械快門 (Mechanical Shutter)

早期的機械快門是指使用彈簧或者其他機械結構，不靠電力驅動與控制的結構。現今的驅動電力由馬達或者電磁鐵提供，或是快門由石英計時電路來控制，具有運作速度快，快門時間精準度高。而其快門的材質也由早期的鋼片改變為鋁、鈦或是塑料，如圖 2-20，其使用塑料作為快門的材質，使其可快速作動，且因質輕不會像以前鋼片易造成機身震動。一般相機曝光時間是到機械快門收到關閉訊號為止，但因快門為機械結構，無法立即反應會有所延遲，所以實際的曝光時間須在加上機械延遲與一半快門閉合的時間如圖 2-21 所示。



圖 2-20 目前消費型數位相機使用的快門

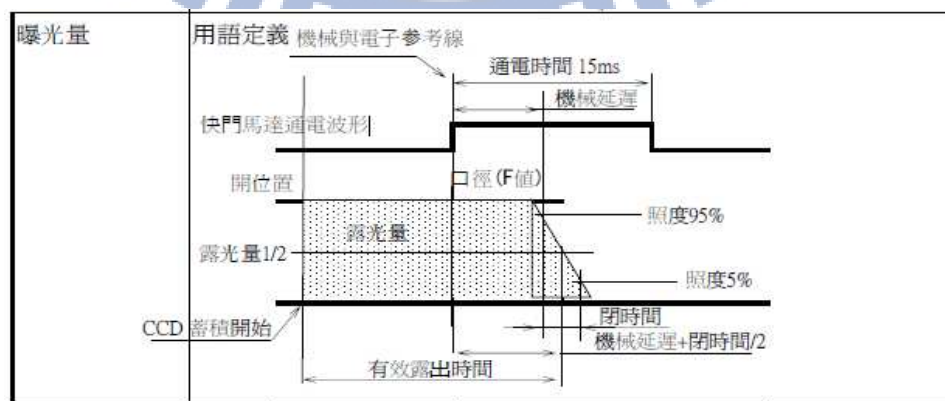


圖 2-21 實際機械快門對曝光的影響

第三章 研究內容與測試架構

圖 3-1 為本次實驗用數位相機內部架構圖，其鏡頭使用 26x 的高倍數鏡頭，影像感測器使用 Panasonic 16M IT CCD，影像訊號由 CCD 輸出後，在經由 AFE 取樣，雜訊抑制以及類比轉數位後，在送至 DSP 進行影像處理。

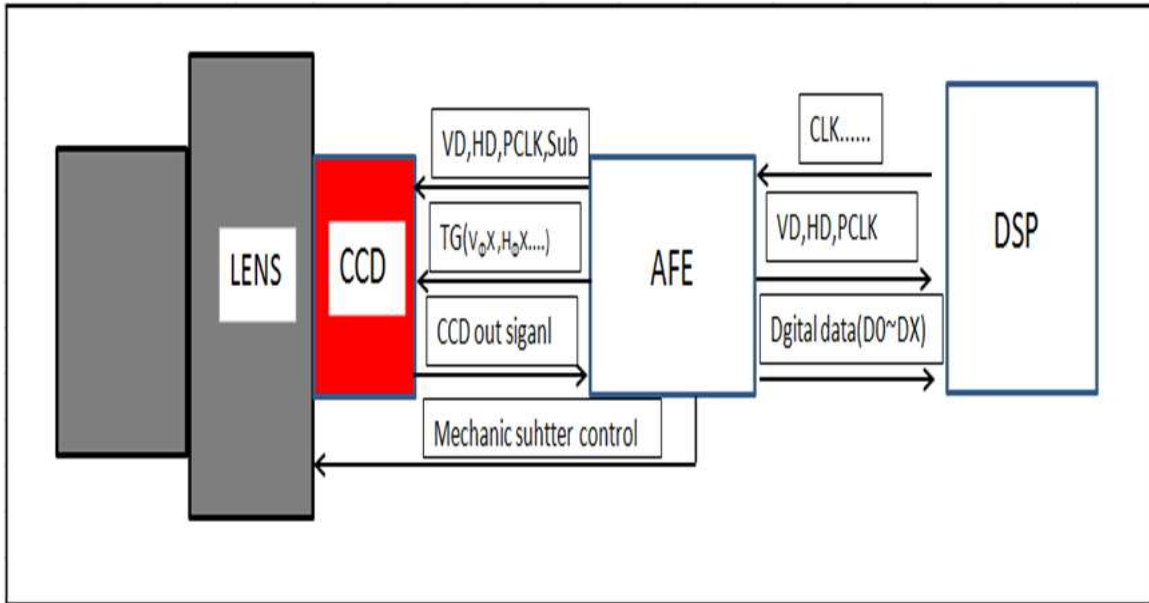


圖 3-1 測試用數位相機架構

3.1 相關研究

IT-CCD 畫素架構

如圖 3-2[1]所示，IT-CCD 其光電二極體為，在 N 型基板上形成的 PNPN 接合稱為垂直溢位構造的埋入型光電二極體，光電轉換的訊號主要儲存在 N 型層的電位阱，其電位阱的深度由 N 型層與 P-WELL 的電位差決定，訊號電荷由光電二極體傳輸到垂直 CCD 的動作，由讀出閘極控制，也等同於是垂直 CCD 的傳輸電極，當外加高電壓($V_{\phi 1}$)的脈衝，讓讀出閘極的電位

Ψ_{RG} 高於光二體的電位訊號電荷即可傳輸到垂直 CCD。

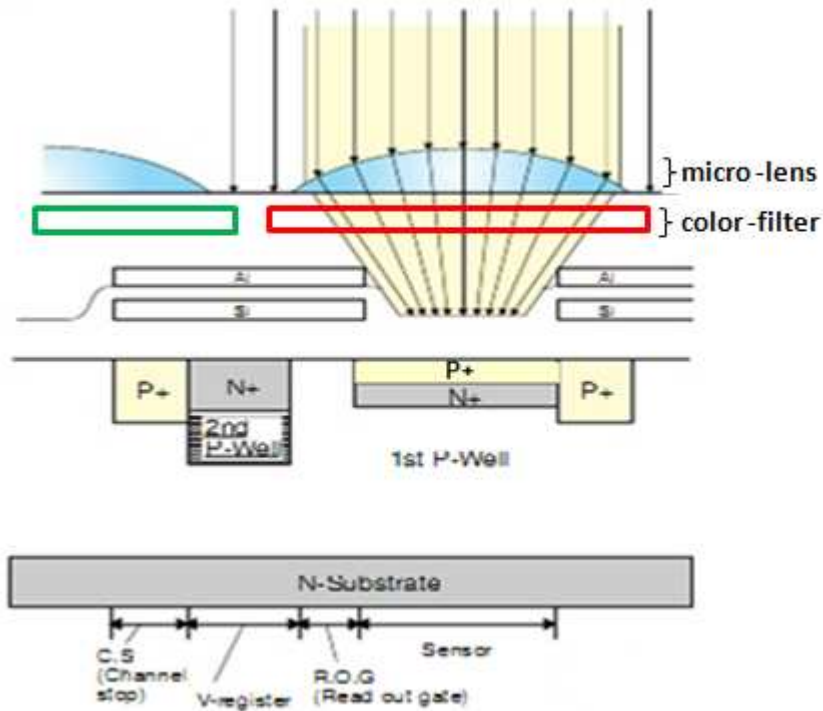


圖 3-2 IT-CCD 影像感測器的典型畫素構造截面圖

圖 3-3[1] 為單一畫素相對應的電位分佈圖，當強光入射 CCD 時，其產生的訊號電荷量超出垂直 CCD 可操作的最大電荷量，此時就必須排出過多的電荷，此一動作稱為溢位，過多的電荷從 N 型層通過 P-WELL 經過 N 型基板吸收而完成，在進行溢位傳輸閘極的電位 Ψ_{RG} ，須要低於進行溢位的 P-WELL 電位 Ψ_{OFB} ，才可避免過剩的電荷漏到垂直 CCD，導致產生輝散 (Blooming) 的現象發生如圖 3-4，此一構造我們稱為垂直溢位汲極 VOD (Vertical Overflow Drain)。

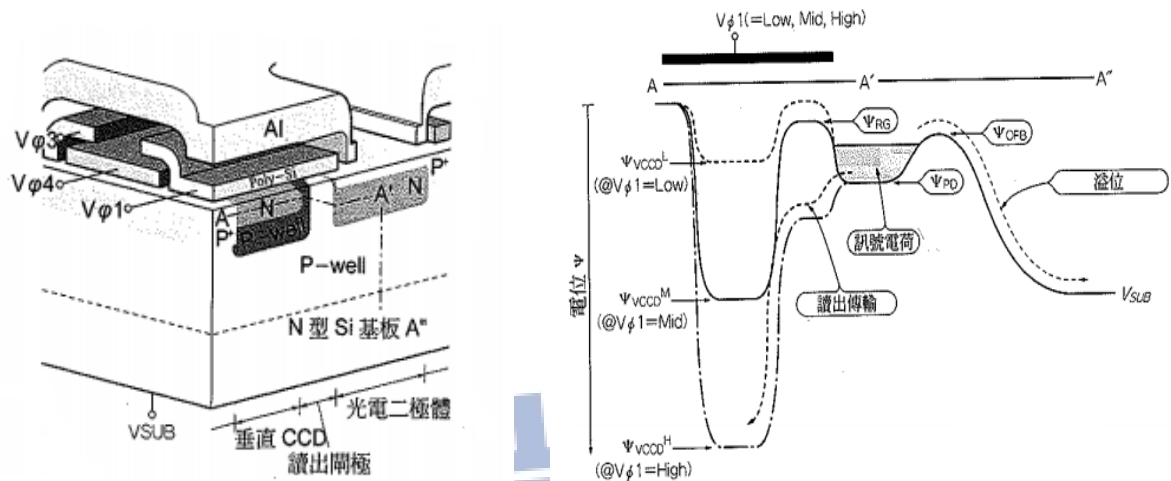


圖 3-3 單一畫素的電位分佈圖[1]



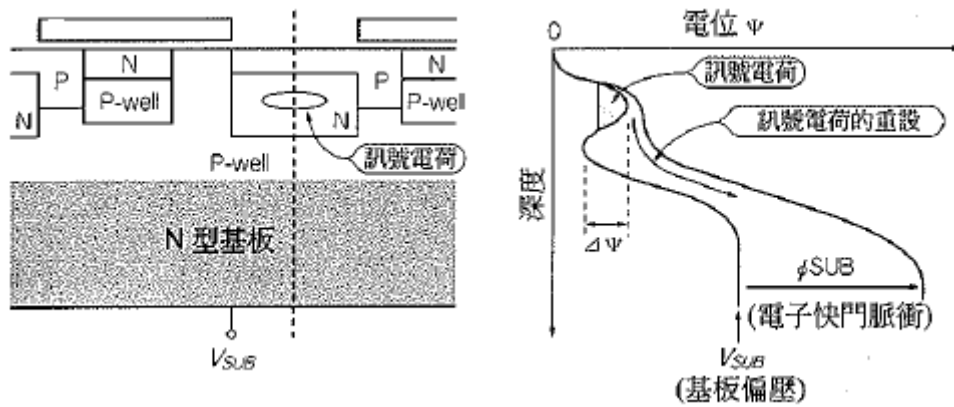
(a) Blooming

(b) No Blooming

圖 3-4 Blooming Effect

電子快門

所謂的電子快門就是電子控制曝光時間，對於照射在攝影面的光不斷發生光電轉換，電子快門利用只儲存一定的曝光時間的訊號電荷後，在進行輸出的運作，圖 3-5[1]用以說明在基板上外加脈衝電壓 ϕ_{SUB} ，將不需要的訊號電荷，經由 P-well 溢位到基板吸收，而外加到基板的脈衝電壓我們稱為電子快門脈衝。



(a) 畫素斷面構造 (b) 光電二極體垂直方向的電位分佈

圖 3-5 垂直溢位構造/埋入光電二極體的電子快門動作[1]

由圖 3-3 說明了 VOD 在 IT-CCD 裡扮演的角色後，我們後續針對 IT-CCD 的垂直 CCD，其操作電荷量的設計加以說明，一般而言垂直 CCD 的操作電荷量，只要大於光電二極飽和訊號量即可，但事實上根據不同的攝影環境以及製程上的誤差等，圖 3-6[6]所示為一垂直 CCD 在設計其操作電荷量時須考量的因素，所以其飽和量定義須加入以下項目：

1. 光電二極體飽和訊號量的誤差。
2. 光電二極體的 Knee 特性。
3. 漏光(Smear)訊號。

若垂直 CCD 的飽和訊號電荷量為 Q_V ，光電二極體的飽和訊號量與其誤成份各為 Q_{PD} 與 ΔQ_{PD} ，Knee 成份電荷量為 Q_{Knee} ，漏光電荷量為 Q_{smr} ，則垂直 CCD 設計條件須滿足式(11)：

$$Q_V \geq Q_{PD} + \Delta Q_{PD} + Q_{Knee} + Q_{smr} \quad (11)$$

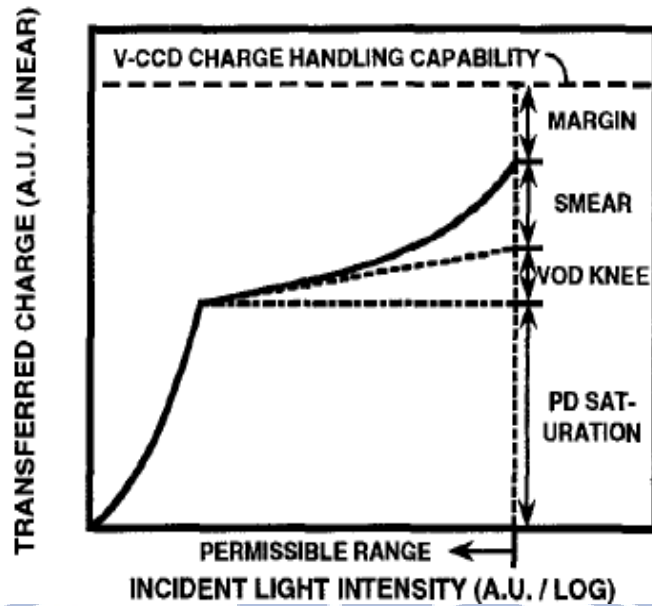


圖 3-6 垂直 CCD 最大電荷操作量[6]

Knee:

所謂的 Knee 特性是指光電二極體在一個高於飽和狀態量的強光時，因溢位特性儲存電荷量增加高於飽和訊號電荷量的現象。

Smear:

漏光(Smear)是當 CCD 影像感測器傳輸訊號時，發生的一種雜訊，也是 CCD 影像感測器特有的雜訊，當被拍攝物體中含有高輝度的光源時，就容易出現漏光。漏光產生的原因可由圖 3-7[1][2]說明：

1. 光電二極體周圍部分的光電轉換：

因光具有波動性質，通過開口的入射光具有擴散能力，即使在讀出閘極附近邊緣或是相反側也會進行少量的光電轉換，此處產生的電子沿著光二極體與垂直 CCD 的電位分佈進入垂直 CCD 成為漏光電荷。

2. 從遮光 A1 開口邊緣的反射、繞射：

在光電二極體的開口邊緣 Si 基板表面等處，因在不同折射率的邊界進行反射、散射的光進入垂直 CCD，此處發生的電荷也會導致漏光。

3. 遮光 Al 的光穿透：

在垂直 CCD 進行遮光的 Al 薄膜的工程有缺陷，導致光漏進通道，以致於漏光發生。

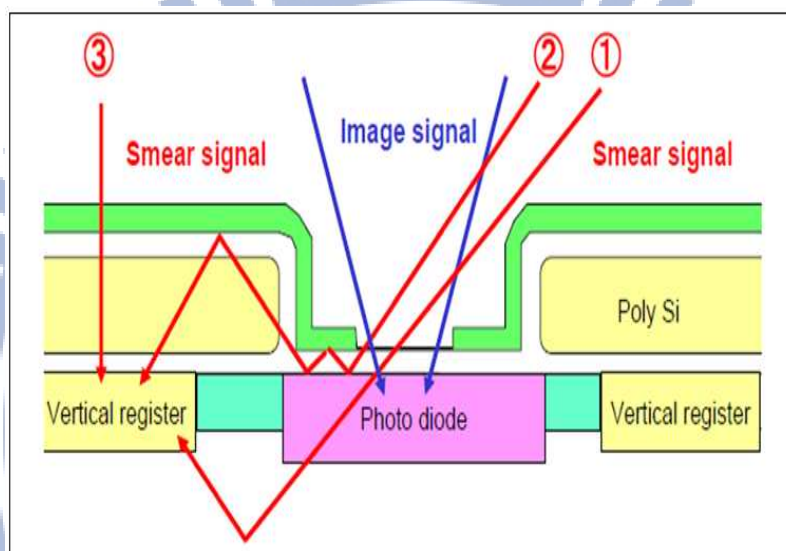


圖 3-7 形成漏光的原因

由上述可以了解到，CMOS 之所以不會產生漏光的現象，是因感光二極體訊號電荷輸出，馬上就經由電荷檢測電路轉成電壓輸出。

一般使用式(12)表示漏光發生程度的漏光抑制比，測試定光源(Sig)與漏光的訊號量(Smr)兩者的比值如圖 3-8 所示，其測定光源的大小(高度)為畫角的十分之一。

$$\begin{aligned} \text{漏光抑制比} &= 20 \log_{10} \left(\frac{S_{mr}}{S_{ig}} \right) \\ &= (S_{mr}/S_{ig}) * 100 [\%] \end{aligned} \quad (12)$$

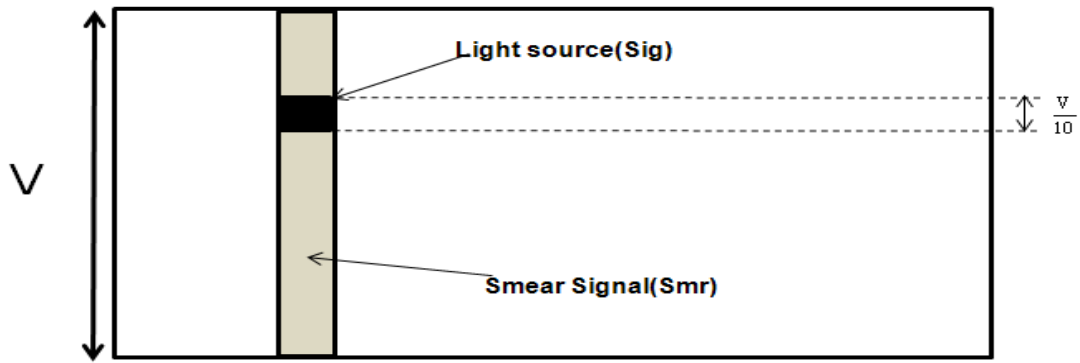


圖 3-8 漏光抑制比的定義

漏光出現時，往往我們都可以從畫面上看到，從高輝度的光源處形成了一條從上到下筆直的光線如圖 1-1，我們可由圖 3-9[1]說明其形成的原因，當發生漏光時，在最早的圖框只有上方的訊號電荷受到漏光電荷影響，當傳輸訊號電荷完畢，其垂直 CCD 下方殘留著因傳輸造成的漏光電荷，導致下一次的圖框讀出，下面的訊號電荷也會加上漏光電荷，因為錄影是連續圖框輸出，所以導致漏光出現在上下方，這就是為什麼我們看到它是一條筆直的光線的原因。

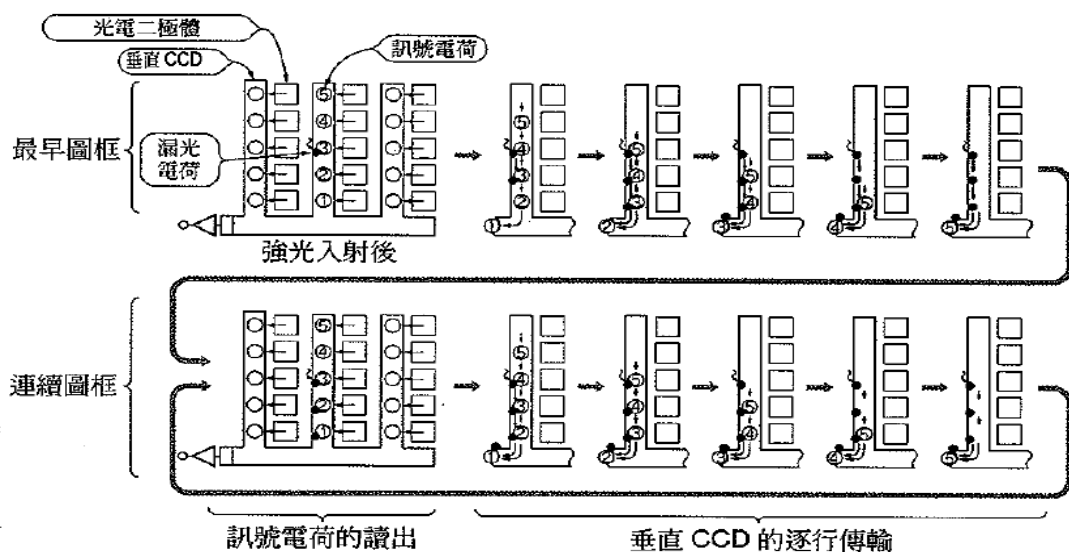


圖 3-9 漏光為上下拉線的理由[1]

AFE(Analog- Front- End)

CCD 影像感測器的輸出，無法直接成為影像，須經過 AFE(Analog-Front- End)處理後傳輸至 DSP 進行數位影像處理如圖 3-10 所示，首先介紹 TG(Timing Generator)其主要的功能在提供 CCD 相關的驅動脈衝時序，讓 CCD 訊號電荷讀出，經過緩衝放大器(Buffer Amp)後的訊號電壓送至 AFE 會先經過相關雙重取樣 (Correlated Double Sampling, CDS) 其主要功能在於有效降低共模雜訊 (Common mode noise) 以及 FD 放大器重設雜訊，取的的訊號在經過 AGC(Automatic Gain Control)將訊號放大 (ISO、EV 值的設定將影響此處的放大比)，最後經過類比數位轉換器 ADC(Analog to Digital Converter) 後，將轉換後的數位影像送至 DSP(Digital Signal Processor)進行影像處理。

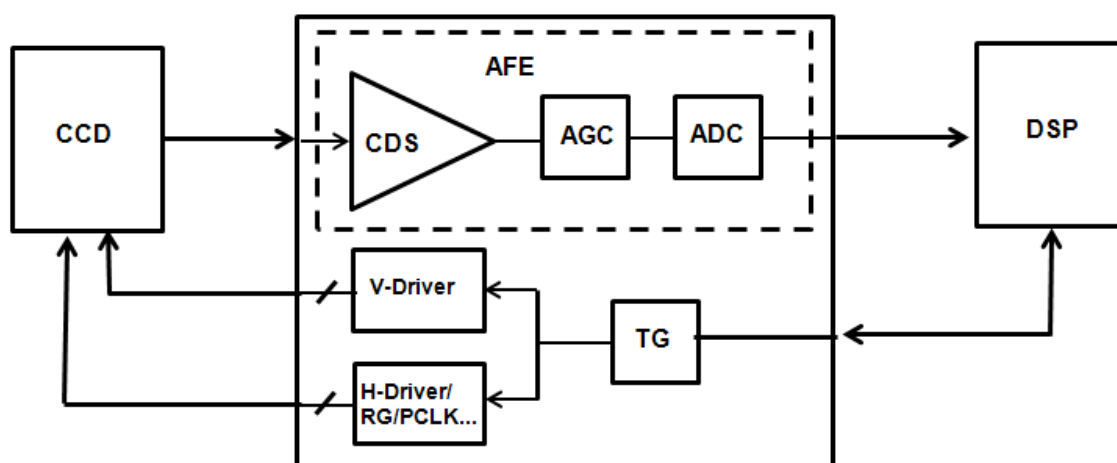


圖 3-10 AFE 架構 (主要包含 AFE、TG、VD)

3.2 實驗架構

3.2.1 電子快門

圖 3-11 是一般攝影時正常的曝光控制時序，圖 3-12 是在曝光時間內，二極體儲存電荷的狀態，筆者改變了其控制時序如圖 3-13，其用意是將每個圖框原本應該要曝光的時間，使用電子快門，將感光二極體一直經光電轉換儲存的訊號電荷，經過 P-well 導到基板吸收如圖 3-14 所示。藉由使用此變更時序，觀察其對漏光訊號的影響。

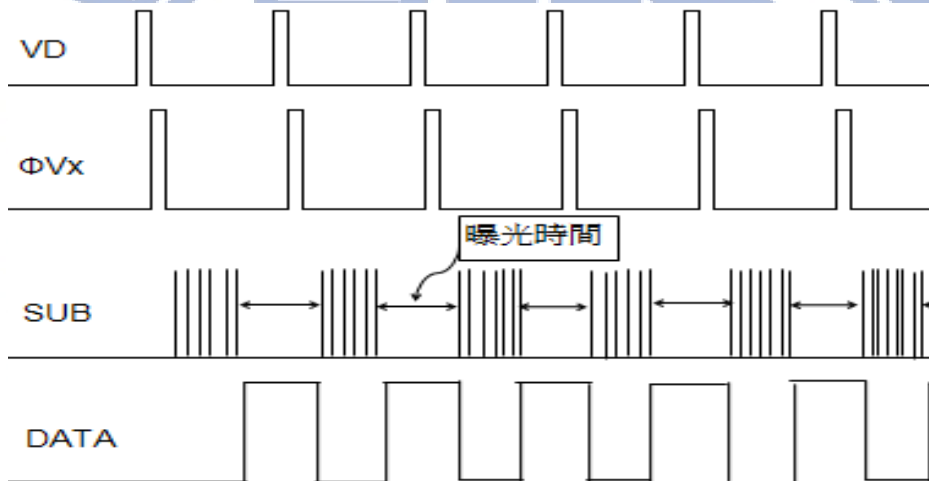


圖 3-11 一般攝影模式的控制時序

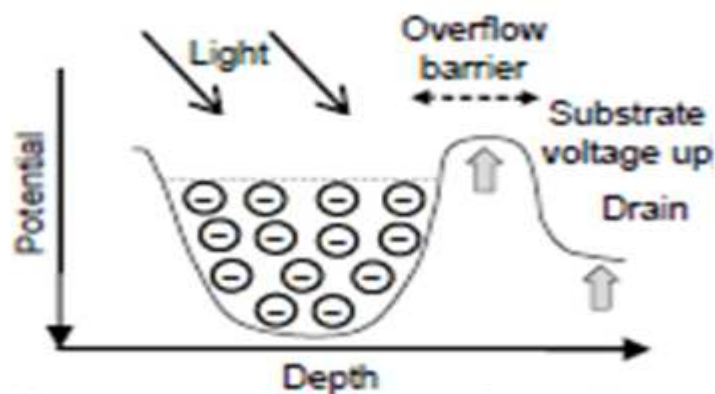


圖 3-12 在曝光時期內光電二極體儲存電荷狀態

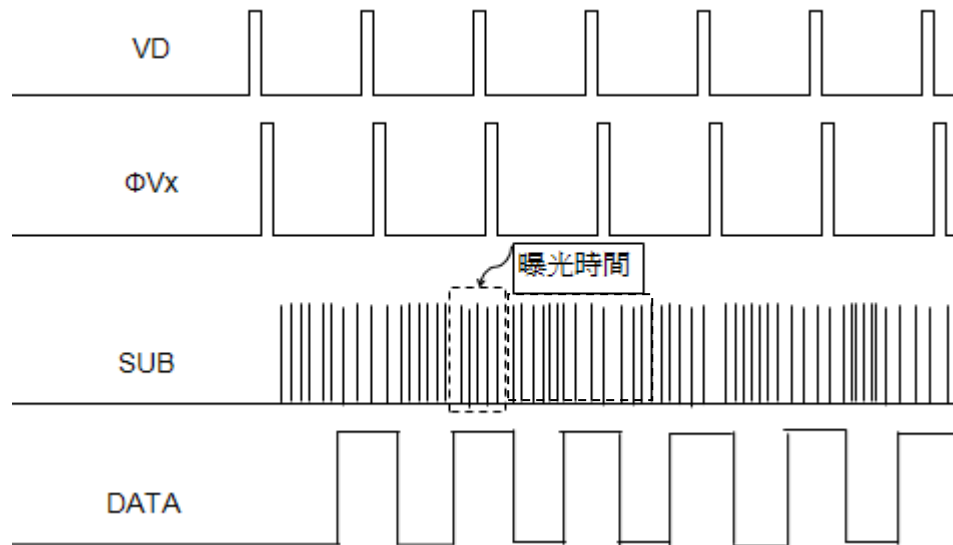


圖 3-13 變更後攝影模式的控制時序

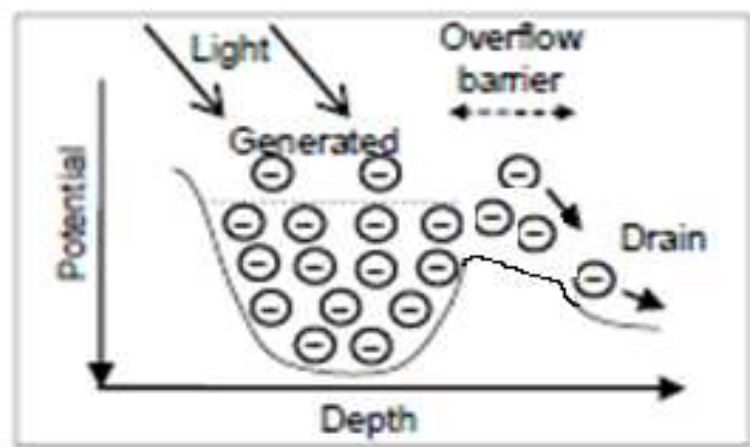


圖 3-14 曝光時序變更後光電二極體的狀態

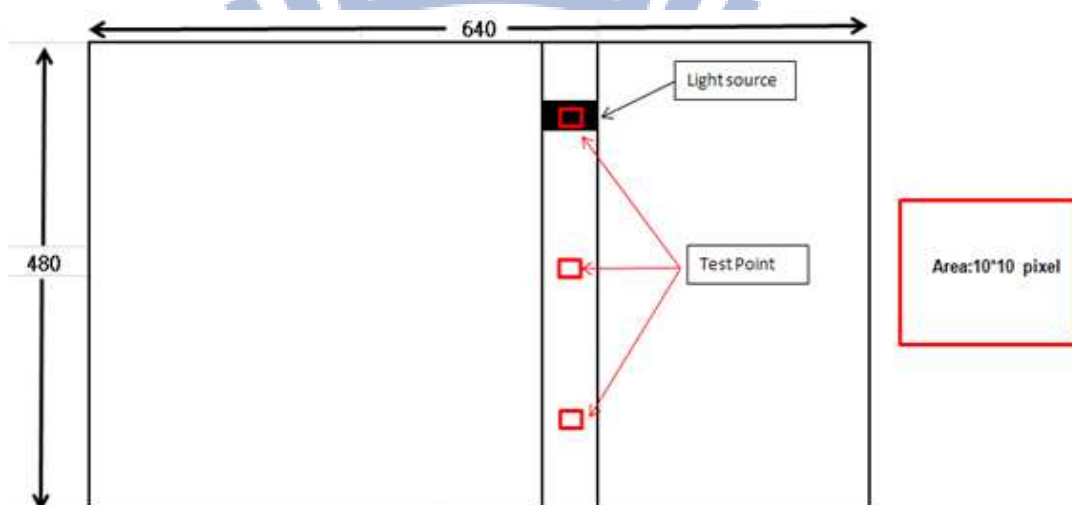
VD:指的是垂直同步訊號

ΦV_x :讀出訊號

SUB:電子快門

Data: CCD 讀出資料

實驗選擇的光源為室內日光燈以及陽光，在發生漏光時，使用新的控制時序，進行錄影，透過軟體取出其中的一個圖框，同圖 3-15 的取點方式，使用 Photoshop 讀取其亮度平均值，此實驗的目的在於了解光電二極體飽和時，其溢出的電荷對漏光的影響有多大。此進行此實驗時，相機端須將其 ISO、光圈與快門速度固定，以避免影響測試結果。



(a) 量測位置

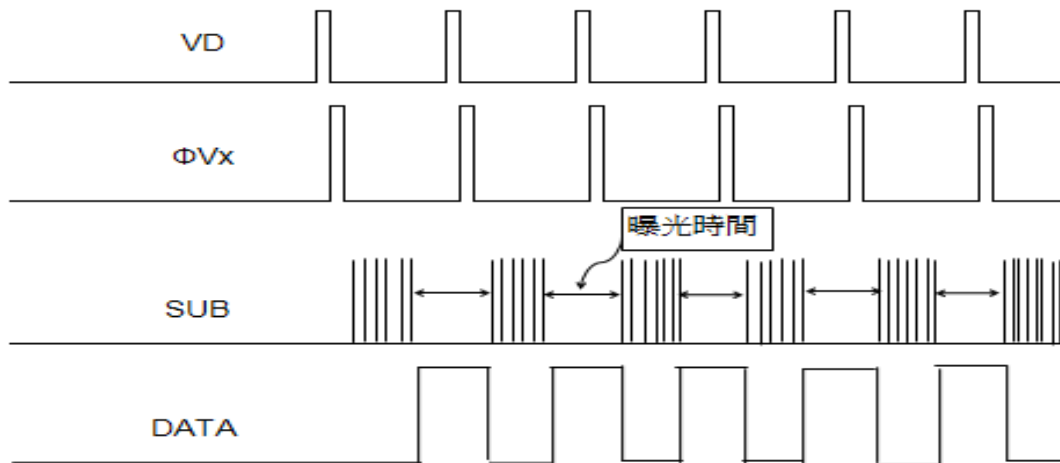


(b) Photoshop 讀值設定

圖 3-15 在漏光量測位置與 Photoshop 讀值設定

3.2.2 機械快門

圖 3-16 是一般攝影時的曝光時序圖，筆者在不影響原本的時序控制下，加入了機械快門關閉的動作在不需要曝光的時間內如圖 3-17 所示。



Mechanic Shutter



圖 3-16 一般未加機械快門攝影模式的控制時序

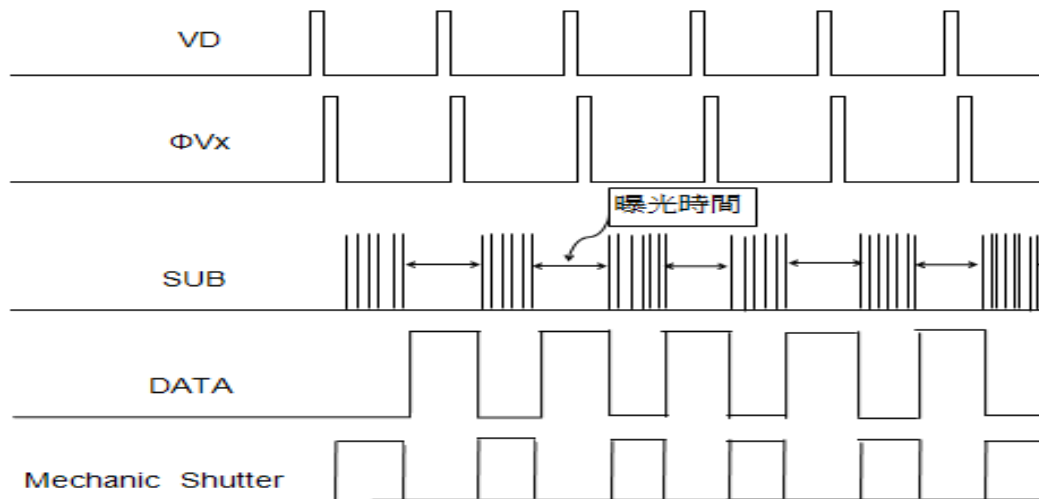


圖 3-17 增加機械快門關閉的時序

增加機械快門關閉的動作在不需要曝光的時間內，理論上是不會影響原本的輸出訊號，故在使用新的時序控制做以下實驗：

(1) 靈敏度

- a. 使用一個均勻的光源，調整此光源輸出的強度，相機也在不同強度下的光源進行 RAW DATA 的存取如圖 3-18，而相機端須將其 ISO、光圈與快門速度固定，以避免影響測試結果。在取得不同光強度的 RAW DATA 後，使用 Photoshop 如圖 3-19 分別讀取五點位置平均值(可用此值判斷 CCD 的靈敏度)，比較有無加入機械快門關閉的動作，其輸出訊號是否有差異。



圖 3-18 靈敏度測試架構

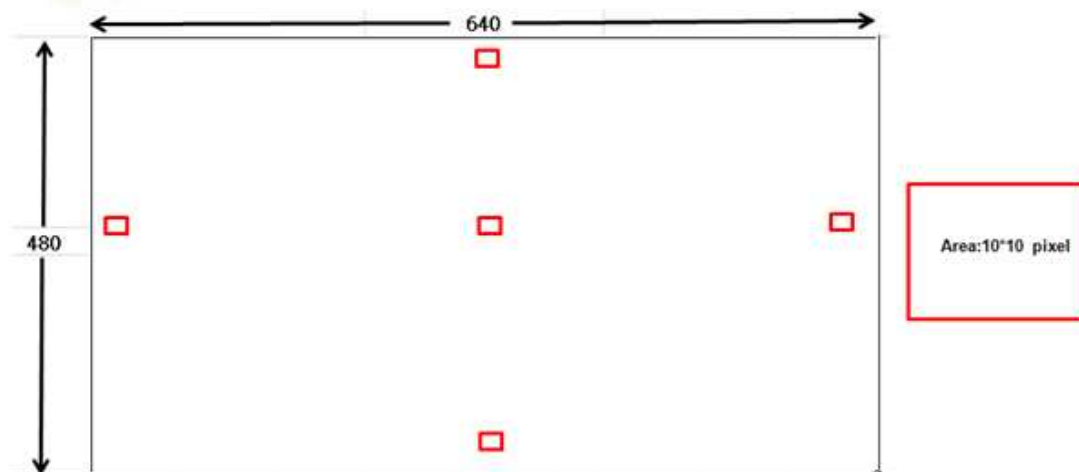


圖 3-19 量測位置

- b. 使用此控制時序在光源為陽光、日光燈和太陽燈進行錄影，量測其漏光訊號的強度，其量測位置條件同圖 3-15 所示。

(2) RGB Ratio Value

當發生漏光時，可以發現其亮線的顏色不是白色，而是偏粉紅色如圖 1-1，這是因為正常的訊號電荷加上漏光電荷，經過白平衡後，造成了 RGB 的比例不對，圖 3-20 可以說明上述的結果，因光源的色溫以及各廠商針對白平衡的定義有些微不同，所以其亮線的顏色會有所不同。針對此項測試，光源使用太陽燈，並置入標準色板，並將灰階的區塊放置在漏光位置如圖 3-21 所示，在使用 Photoshop 讀取每個灰階區塊的 RGB 值如圖 3-22 所示，主要目的是要藉由量測 RGB 值來確認訊號受到漏光電荷影響的程度。

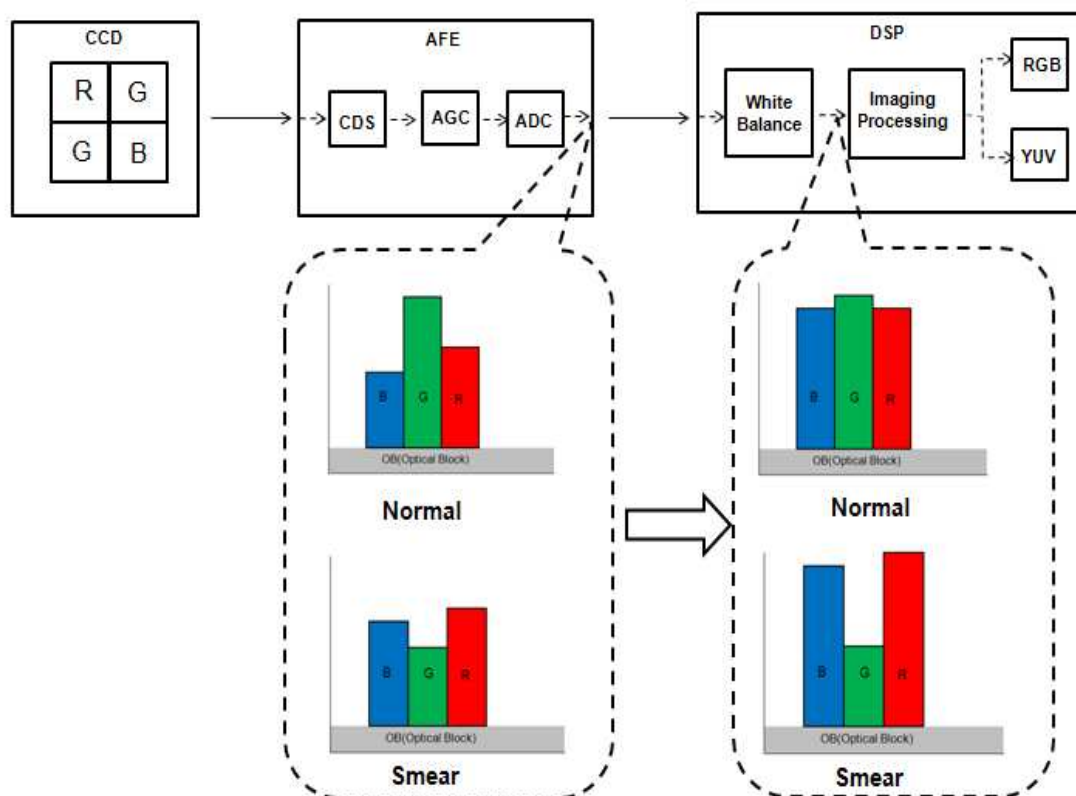


圖 3-20 白平衡後 RGB 比例不正確的原因

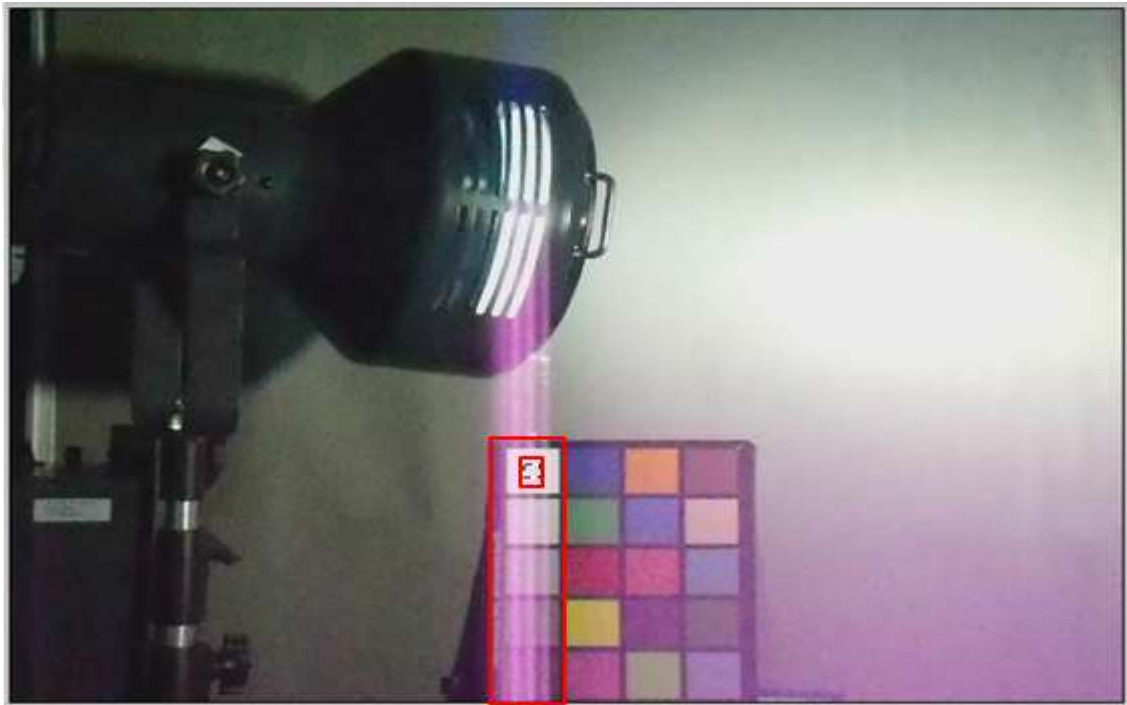


圖 3-21 標準色板置入位置



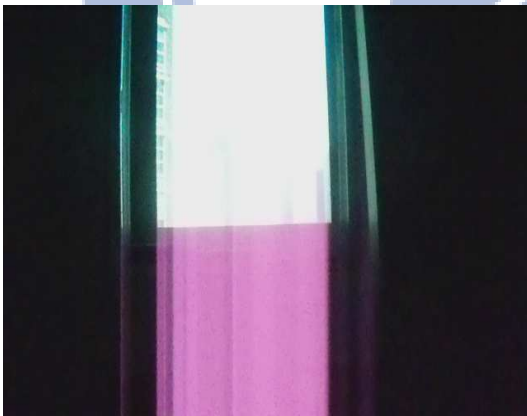
圖 3-22 Photoshop 讀值設定

第四章 實驗結果

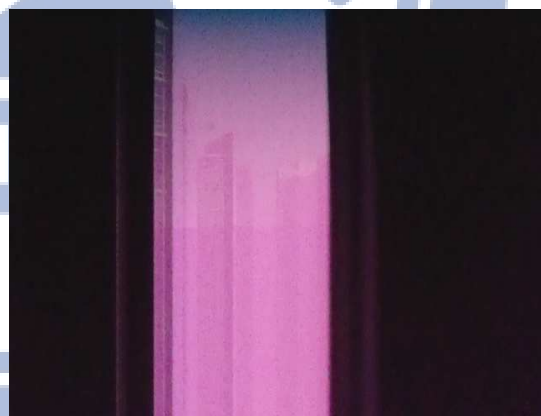
4.1 電子快門實驗結果

由圖 4-1 與圖 4-2 的結果可得知，除了光源位置輸出訊號減低外，其餘的位置的漏光訊號幾乎沒有改變，光源位置輸出衰減的原因，是因為電子快門一直開啟導致訊號電荷被傳輸到基板吸收，所以也證實了，在強光照射下，光電二極體的飽和訊號並不會造成漏光，此外我們由圖 4-1(b)與 4-2(b)可些微看出原先拍攝物體的輪廓，表示電子快門無法完整清除訊號電荷。

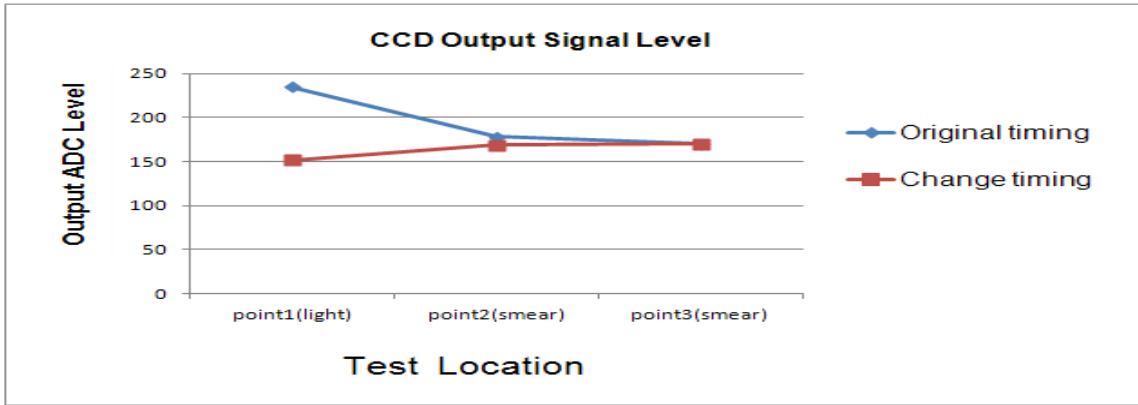
(1) 光源：陽光



(a) 原先的控制時序



(b) 變更後的時序



(c) 變更前後其漏光訊號的變化

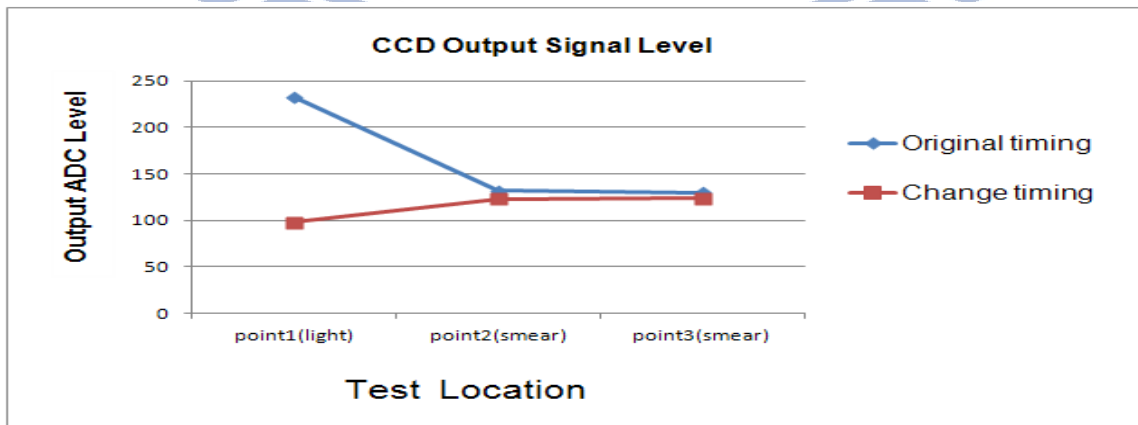
圖 4-1 光源為陽光時其時序變更前後的結果比較

(2) 光源：日光燈



(a) 原先的控制時序

(b) 變更後的時序



(c) 變更前後其漏光訊號的變化

圖 4-2 光源為日光燈時其時序變更前後的結果比較

4.2 機械快門實驗結果

第一項使用機械快門變更的時序對 light box 進行錄影，其測試的結果如表 4-1 所示，由此結果發現其輸出靈敏度會比變更前的下降，而此下降的原因是因為漏光電荷被清除所造成，在一般強度的燈光下，仍然會有漏光的發生，因為漏光的電荷量很小，所以對訊號的影響較小，比較不易發現。

第二項使用機械快門變更後的時序，對三種不同光源在其產生漏光的條件下進行錄影，其測試結果，如圖 4-3、圖 4-4、圖 4-5、圖 4-6 所示，由其結果可以發現，其漏光的情況都有明顯的改善，此結果也可以證實，使用此方式可以改善漏光現象，而在實驗的結果上，仍可以看到光源附近仍有一小段漏光，是因為機械快門延遲所造成的。

第三項使用機械快門變更後的時序進行錄影，量測灰階色板每一區塊的 RGB 值，其實驗的結果如表 4-2 所示，比較其時序變更前後測試的結果，使用機械快門變更後的時序，其結果 R/G 和 B/G 的比例均接近 1:1，使用變更前的時序其結果 R/G 和 B/G 的比值都大於 1，如圖 4-7 所示，因正常灰階的 RGB 的數值是相同的，所以由此結果可以確定，此方式確實可以改善漏光電荷的影響。

4.2.1 靈敏度

(1) 光源：light box(LSB-111XE)

表 4-1 使用 LSB-111XE 提供不同強度的光源量測結果

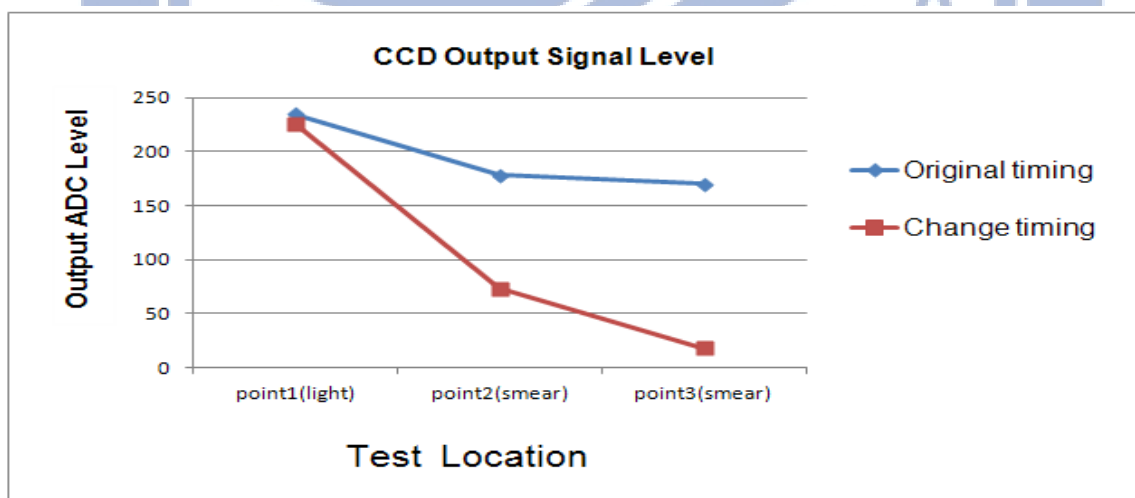
Item	Light density	Point-1	Point-2	Point-3	Point-4	Point-5
without shutter	LV11	86	90	84	78	80
with shutter		82	86	79	75	74
sensitivity drop(%)		5	4	6	4	8
without shutter	LV12	87	90	85	80	82
with shutter		84	89	83	76	76
sensitivity drop(%)		3	1	2	5	7
without shutter	LV13	90	94	88	85	84
with shutter		86	90	84	78	80
sensitivity drop(%)		4	4	5	8	5
without shutter	LV14	95	100	91	88	88
with shutter		86	90	85	80	80
sensitivity drop(%)		9	10	7	9	9
without shutter	LV15	103	107	100	94	93
with shutter		98	103	97	89	89
sensitivity drop(%)		5	4	3	5	4

(2) 光源：陽光



(a) 未加入機械快門

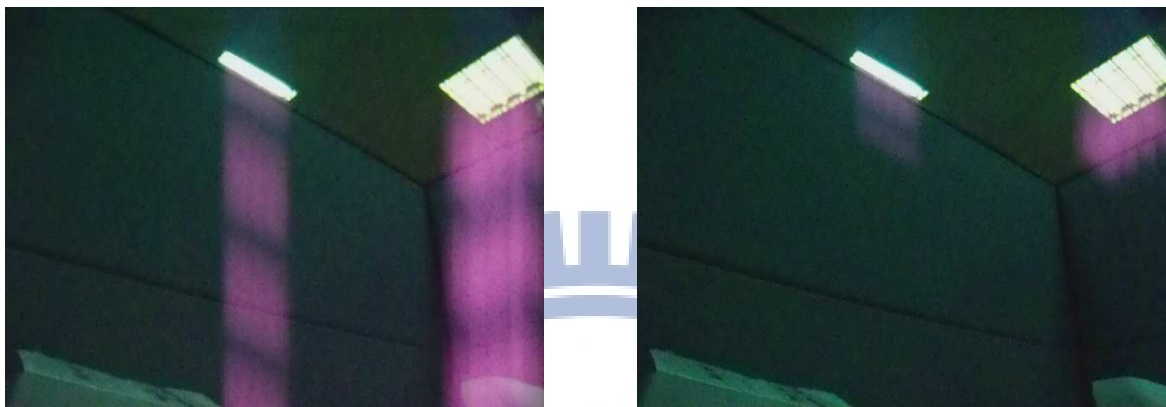
(b) 加入機械快門



(c) 變更前後其漏光訊號的變化

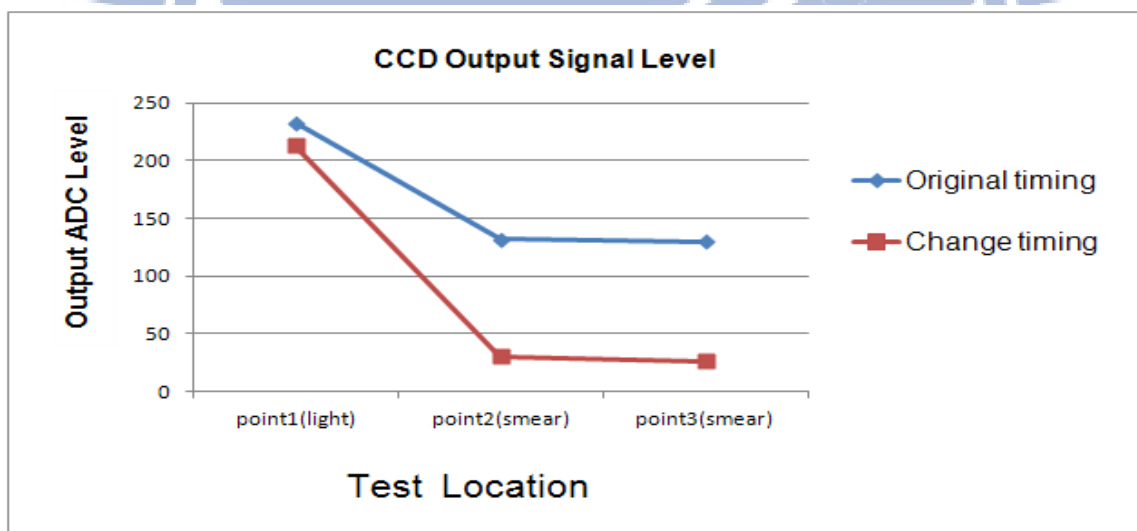
圖 4-3 光源為陽光時有無加入機械快門的結果比較

(3) 光源：日光燈



(a) 未加入機械快門

(b) 加入機械快門



(c) 變更前後其漏光訊號的變化

圖 4-4 光源為日光燈時有無加入機械快門的結果比較

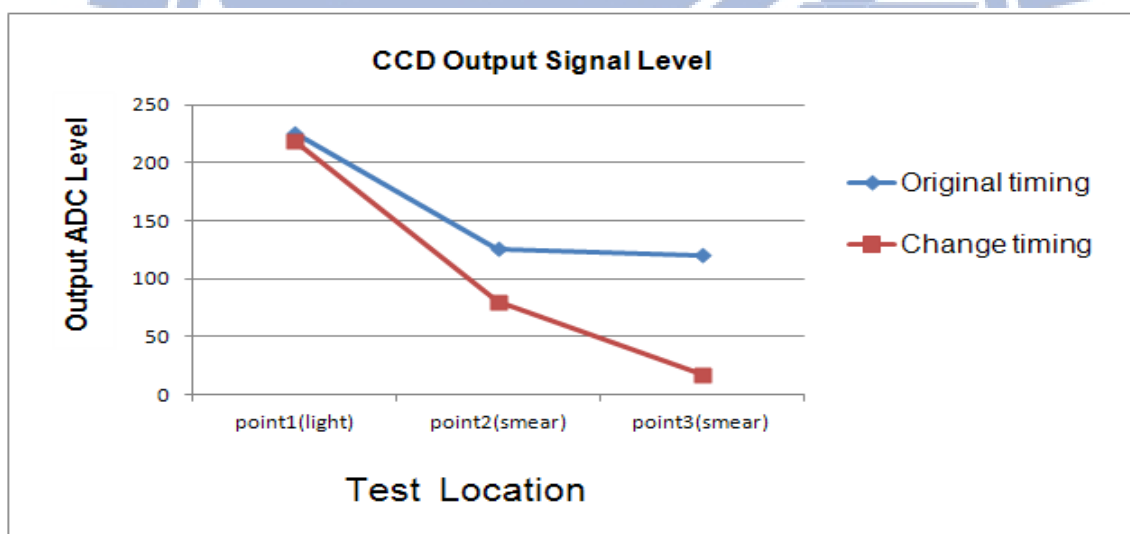
(4) 光源：太陽燈



(a) 未加入機械快門



(b) 加入機械快門



(c) 變更前後其漏光訊號的變化

圖 4-5 光源為太陽燈時有無加入機械快門的結果比較

4.2.2 R、G、B Ratio



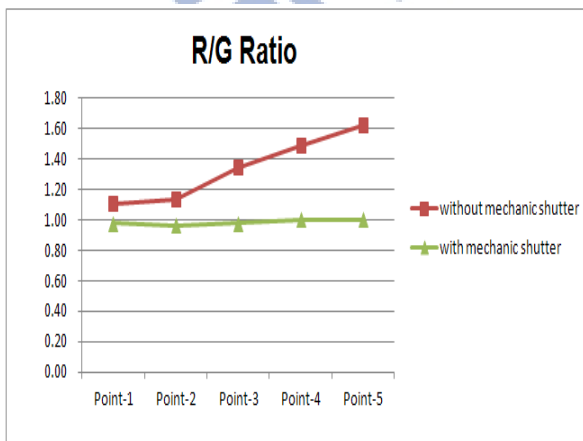
(a) 未加入機械快門

(b) 加入機械快門

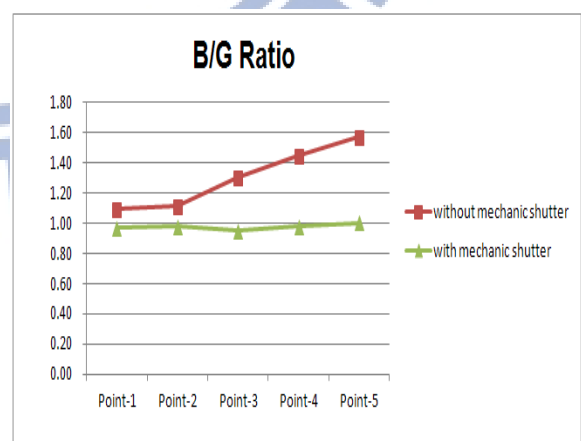
圖 4-6 光源為太陽燈加入機械快門的測試 RGB 比例結果

表 4-2 灰階各區塊 RGB 輝度值

Gray Chart	point 1(白)				point 2				point 3				point 4				point 5(黑)			
	R	G	B	Mean	R	G	B	Mean	R	G	B	Mean	R	G	B	Mean	R	G	B	Mean
Without Mechanic Shutter	242	219	239	225	237	209	232	206	227	169	220	192	220	148	214	174	219	135	212	162
With Mechanic Shutter	214	219	212	209	161	167	163	166	130	133	126	132	93	93	91	89	53	53	53	52



(a) R/G 比值



(b) B/G 比值

圖 4-7 灰階的各區塊 R/G & B/G 比值

第五章 結論

5.1 實驗結論

首先是使用電子快門變更後的控制時序進行測試，我們可以從結果中發現，變更時序的前後，其漏光電荷並沒有降低，所以電子快門並無法改善漏光電荷的影響，但機械快門使用變更後的控制時序，在不同的光源和場景下進行攝影，其攝影的結果確實將漏光的現象大幅的改善，讓原先因漏光無法清楚看到的攝影畫面都可以清楚看到，為了更確定此方式可以有效的改善漏光的問題，我們使用了灰階色板進行測試，因灰階僅是輝度強度的差異，其 RGB 的值是相同的，如其有受到漏光電荷的影響，其 RGB 的值就會不相同，其實驗的結果，RGB 的數值幾乎相同，所以不會造成白平衡的錯誤，因此筆者更加確定使用此方式可以消除漏光電荷，先前的兩個實驗都僅針對漏光明顯的條件下進行測試，所以我們使用一個可提供均勻光源輸出的燈箱，提供不同強度的光源，比較機械快門其控制時序變更前後，CCD 的輸出強度變化，實驗的結果是其輸出平均會有 5% 的衰減，所以在一般攝影條件下其漏光電荷佔訊號的比例並不高，藉由此方式將少量的漏光電荷清除，可使得影像的對比度有些微的提升。因漏光是 CCD 本身結構所產生的問題，經過這次實驗的結果，即使我們改變其訊號讀出時的相關控制時序，仍然無法改善漏光電荷的影響，僅靠改變外部機械快門控制時序才能改善漏光現象。

5.2 未來改善

雖然本論文使用機械快門在不需要曝光的時間內，可有效的改善漏光的問題，但因機械快門有機械延遲問題，所以無法精確控制，如實際應用在錄影時，會造成錄影檔案裡有快門快速切換的雜音，須靠演算法將其雜音消除，長時間作動會造成系統耗電量上升等等。因上述的原因，此方式將無法導入實際應用。

所以在無法變更 CCD 設計的條件下，僅能使用外部機構或是影像處理的方式改善漏光現象。

外部機構：

其功能類似機械快門，且必須滿足以下需求：作動速度快、易控制且精確度高、作動時不會產生噪音與不影響影像品質等條件。後續可以考慮使用液晶快門，它可以解決噪音、精準度和功耗的問題，但因其是極化元件會造成光衰減，對影像品質的影響就須驗證。

影像處理：

根據本論文實驗結果，筆者有一個以影像處理的方式可以進行測試，圖 5-1[7] IT-CCD 的結構，當發生漏光的時其漏光電荷同樣會溢到 OB(Optical Black)造成系統黑的準位錯誤，導致輸出訊號變小，所以我們可以藉由讀取 OB 值異常時，判斷目前的已發生漏光的現象，在藉由 4.1 實驗的結果得知其漏光的電荷量，除了光源本身外，其他漏光位置量到

的漏光電荷量是相同，我們以每 6 個圖框為一組，一直重覆相同的方式進行，其中的一個圖框做為漏光電荷量的參考，而其值取得，就是同 4.1 使用的方式，在此圖框曝光時間內加入電子快門如圖 5-2，DSP 取得此圖框的數值如圖 5-3，作為後續讀入圖框的參考值，當 DSP 讀入後續的圖框數值時如圖 5-4，需將此圖框的每個畫素減去參考圖框裡相對應的畫素值後，輸出新圖框到顯示器或是儲存。以每 6 個圖框一組的原因，是為了拍攝動態場景時，比較不會造成運算錯誤，此概念還有很多細節須經由實驗後的結果再進行修改，如參考圖框在讀入後須經過一些處理修正，才可與後續讀入的圖框進行運算。

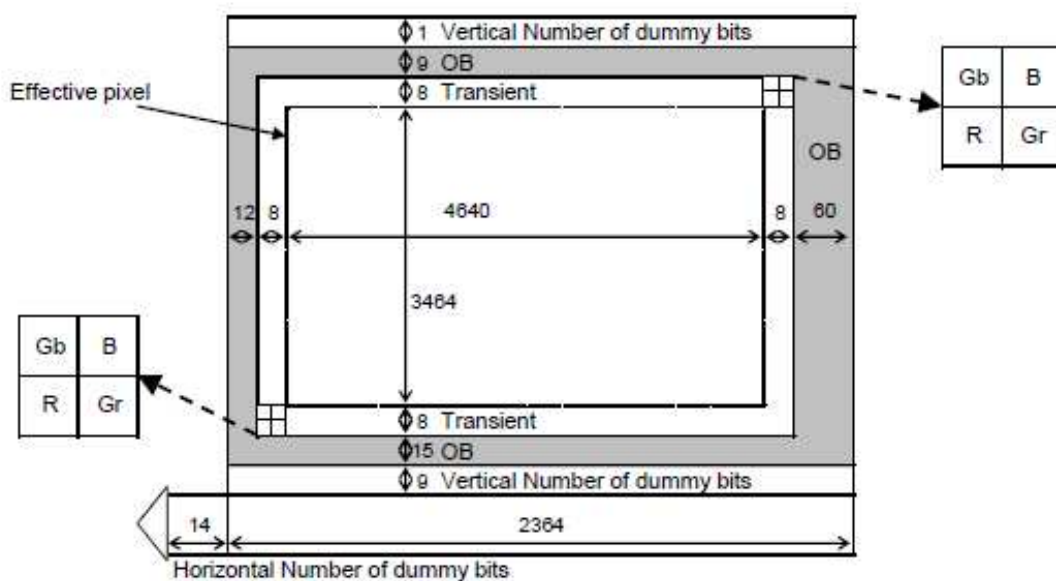


圖 5-1 IT-CCD 結構 [7]

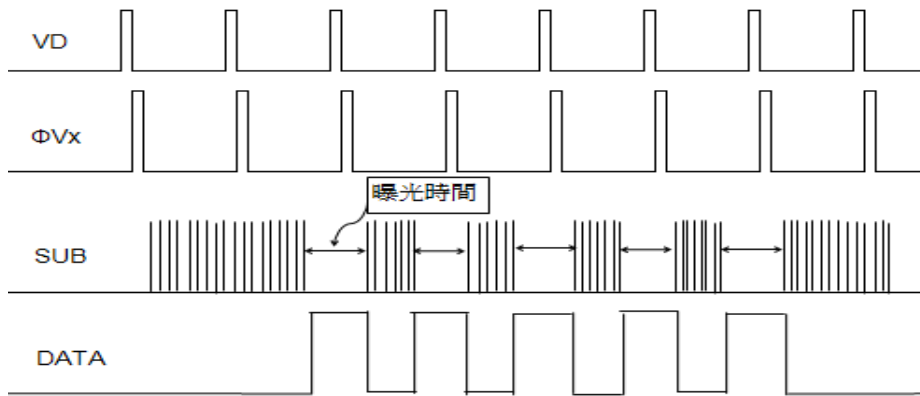


圖 5-2 新曝光時序

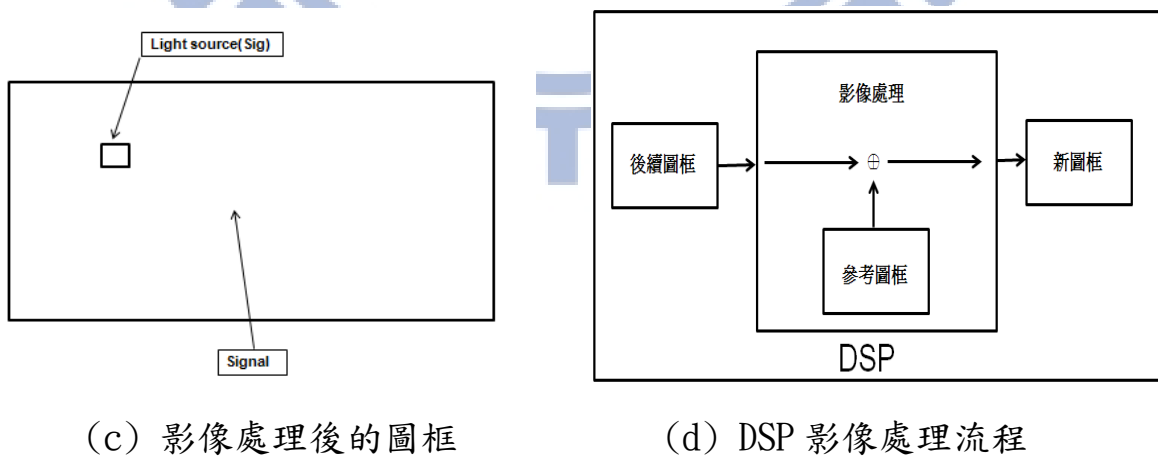
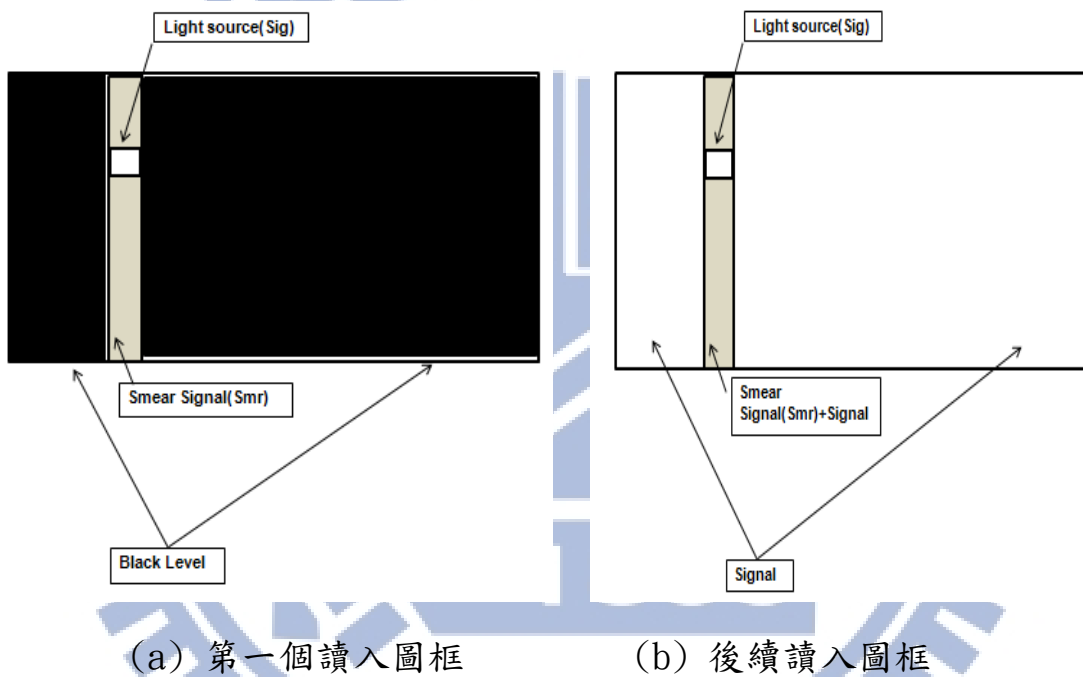


圖 5-3 新時序控制與影像處理後的結果

參考文獻

- [1] 米本和也， “CCD/CMOS 影像感測器之基礎與應用” ，陳榕庭、彭美桂，二版，全華科技圖書，民95
- [2] Nobukazu Teranishi and Yasuo Ishihara， “Smear Reduction in the Interline CCD Image Sensor” ， IEEE Transaction on Electron Device, VOL.ED-34. NO.5, MAY 1987
- [3] H. Shiraki and N. Ushijima， “A consideration on signal charge increase in the photodiodes with VOD structure.” in Proc. ITE Annul Convention, PP. 21-22, 1997(in Japanese)
- [4] W. Ruyten “Smear correction for frame transfer charge - coupled-device cameras” , Opt. Lett. vol. 24. no. 13. pp. 878-880. 1990.
- [5] 蘇彥榮， “使用金氧半影像感測器之平行處理遞迴式12位元類比數位轉換器” ，國立成功大學，碩士論文，民94
- [6] A. Tanabe, et al “ Dynamic Range Improvement by Narrow-Channel Effect Suppression and Smear Reduction Technologies in Small Pixel IT-CCD Image Sensors” ， IEEE Transaction on Electron Device, vol. 47, PP. 1700-1706, Sep 2000
- [7] Panasonic “MN34590PLJ-Y_Specification” , Sep 2010

- [8] H. Ono, T Ozaki, H Tanaka, and Y. kawamoto, “ Analysis of smear noise in interline-CCD image sensor with gate-free isolation structure ” in Ext. Abst. Int. conf. on solid state devices and Materials , pp. 68-70, 1991
- [9] S. Kawai, M. Morimoto, N. Mutoh, and N. teranishi, “Photo response analysis in CCD image with a VOD structure,” IEEE Trans. Electron Devised, vol. 42, No 4, pp. 652-655, 1995
- [10] Y. Ishihara, E. Oda, H. Tanigawa, A. Kohno, N. TERANISHI, E. Takeuchi, L. Akiyama, and T. Kamata, “interline CCD image sensor with an antiblooming structure,” IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-31, pp. 83-88, 1984
- [11] 許慈軒, “先進技術及新穎結構應用於高效能深次微米互補式金氧半影像感測器元件之研究”, 成功大學, 博士論文, 民94
- [12] Suzuki, J, et al, “A 1/4-Inch 250k Pixel IT-CCD Image sensor,” IEEE Transactions on ConsumerElectronics, v39, no. 3, pp. 392-397, Aug, 1993
- [13] Lee. Hsien-Che, “Introduction to Color Imaging Science” , 第一版, Cambridge Univ Pr, 2009