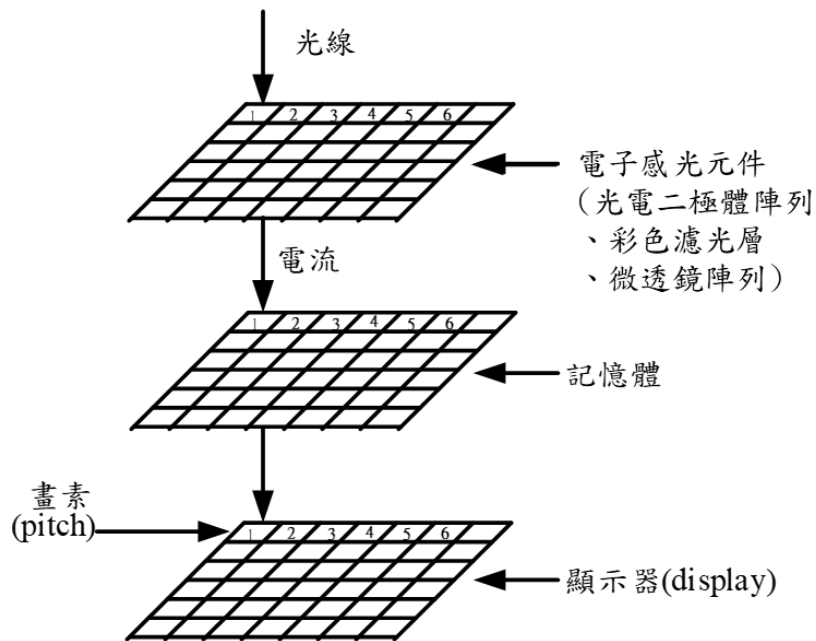


為台灣加油打氣專欄(307)電子照相機內部鏡片和彩色濾光層的製造

李家同

我要在這篇文章中介紹電子照相機內部兩個元件的製造原理，可是在解釋這兩個元件製造以前，我先要試圖用最簡單的方法解釋電子照相機的原理。請看圖一。

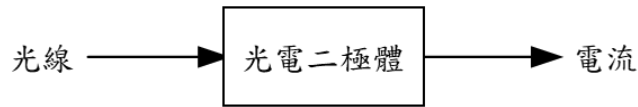


圖一 電子照相機的簡易流程

過去的照相機圖像是成像在底片上，電子照相機是成像在光電二極體上，電子照相機拍攝完的圖像是可以直接在顯示器上呈現。光電二極體內有很多畫素，智慧型手機中解析度最高的會有將近 2 億個畫素。每一個畫素都可以有彩色。

圖一的最上方顯示光電二極體的陣列，我們可以想像這些陣列是可以編號的。從 1 號開始，如果光電二極體有 2 億個畫素，拍完照後的照片畫素就會有 2 億個之多。

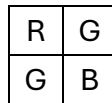
光電二極體的作用如圖二所示。



圖二 光電二極體的功能

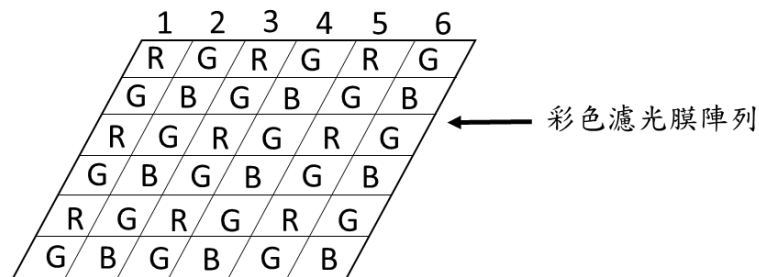
光線射入光電二極體以後，光電二極體就會輸出電流。為了要能分辨影像的色彩，光電二極體上方需設置彩色濾光層，彩色濾光層一般有三種，分別限制紅光(R)、綠光(G)、藍光(B)進入到光電二極體。也就是說，如果一個光電二極體的彩色濾光層是紅色，那就只讓紅光通過進入到光電二極體，對紅光的能量進行光電轉換。如果紅光射入光電二極體綠色的彩色濾光層，理想情況下，光能量將被綠色的彩色濾光層完全吸收，使得綠色下方的感光二極體不會有反應。

為了讓光電二極體可以感測不同波長的光線，圖一的光電二極體上方需要有彩色濾光層，彩色濾光層有一定的排列順序，如圖三所示。



圖三 位於光電二極體上方的彩色濾光層排列方式

由於 R、G、B 彩色濾光層分別對光波長進行過濾，每一個光電二極體都只會分別接收到紅光(R)、綠光(G)、藍光(B)而進行光電反應，而且這個矩陣上的排列順序由一個基本單元由左至右排列，永遠是 R、G、G、B 為一基本單元。圖一的光電二極體矩陣可以用圖四來表示。



圖四 彩色濾光層陣列

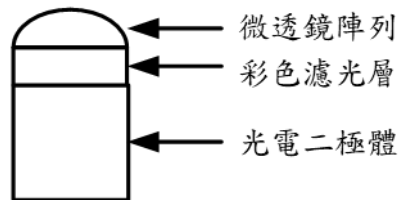
假設有光線進入到彩色濾光層陣列的 1 號位置，光線會被彩色濾光層過濾再進入到光電二極體中，這時光電二極體就會產生電流，電流會流進記憶體中，紀錄 1 號位置的光線強度。記憶體有電流通過，因此它知道 1 號光電二極體已經接受到紅光。

假設我們要看圖像，顯示器會從記憶體中拿資料，記憶體提供顯示器 1 號畫素的光線強弱資訊，並且在顯示器上 1 號畫素位置顯示紅光，依此類推到每一畫素位置，即可顯示整張照片。

當然，照射到畫素上的光線範圍不會那麼細小，所以那一束紅光一定也會進入到 G 和 B 的光電二極體產生畫素串擾(cross-talk)，這種畫素間的串擾可以藉由微透鏡陣列(Micro-lens array, MLA)或是彩色濾光片之間的光學結構(Optical Grid)來進行阻絕。

相信大家都知道，大自然有很多顏色，但是基本的三原色就是紅、綠、藍，所以只要能感測這三種顏色便能在相片上呈現人眼看得到的所有顏色。

光電二極體上面的另外兩個重要元件為微透鏡陣列和彩色濾光層，如圖五所示。

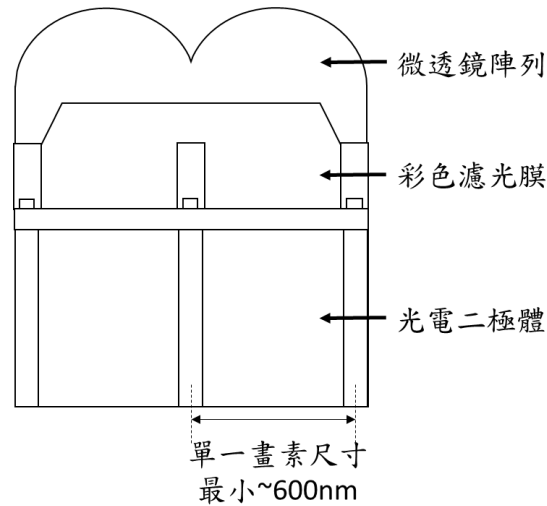


圖五 微透鏡陣列和彩色濾光層

光電二極體對所有的可見光都會產生光電轉換，因此若要感應彩色影像我們要有一個濾光層，透過濾光層的作用讓光電二極體可以感測進來的光線是何種色光。在下面，我們要介紹這個濾光層是如何製作的。

請再看圖一。圖一顯示，一個畫素即對應一個光電二極體。在這篇文章中，我們不討論如何製作光電二極體，因為這是相當複雜的，以後會介紹。以下我們只討論彩色濾光層和微透鏡陣列的製作。

單一個畫素的濾光層和微透鏡是非常小的，如圖六所示。



圖六 畫素的濾光層和微透鏡的大小

光電二極體本身是用半導體技術製作的，假設圖六的光電二極體陣列已經完成，而我們現在要在這個陣列上，為所有感應紅色的畫素製作一個只許紅光通過的濾光層，步驟如下：

- (1) 在光電二極體陣列上塗一種負光阻，這種負光阻只能允許紅光通過。
- (2) 在光罩上畫一個與濾光層形狀對應的正方形開口，這個正方形開口的位置要正確對應紅色濾光層要留下來的位置。也就是說，每一個畫素為 R 的光電二極體上會有一個正方形開口。
- (3) 實施曝光，曝光的時間必須正確，如此可以使得正方形開口下方的光阻感光產生固化。
- (4) 實施顯影，用顯影液沖洗，可把未感光的區域清洗掉，留下畫素區域的正方形(只在特定位置留下正方形)。

用上面的方法可以使得每一個 R 畫素上都有一個只允許紅光通過的濾光層，用同樣的方法，我們可以使得所有的畫素上都有正確的濾光層。

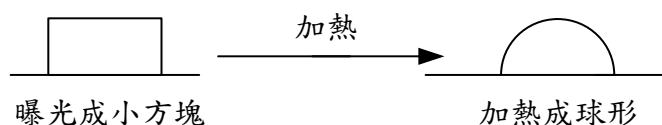
以上的程序雖然看起來很簡單，其實有很多地方需要參數精確的控制，與實驗的經驗累積。

- (1) 塗佈光阻要注意厚度，光阻的厚度要等於濾光層的厚度。塗佈機是一種旋轉型的，轉速要精準控制。
- (2) 在光罩上的正方形並非完全的正方形，工程師必需經由對光罩的瞭解而設計正方形的細微形狀補償，有了這些形狀補償才能保證顯影完後留下來的濾光

層形狀是正確的。

(3)曝光時間和對焦深度也需要由實驗和經驗來找到的最佳參數，才能有完美的濾光層形狀。

從圖六中可以知道我們需要微透鏡陣列，而微透鏡陣列的製程步驟請看圖七。



圖七 微透鏡陣列的製作

微透鏡陣列的製作是使用一種透明的正光阻材料，先用曝光和蝕刻做成正方形陣列，再經過加熱，讓正方形成為半球形。此方法稱為熱熔成形 (Reflow)。熱熔成形的時間和溫度必須非常精確，需要許多的實驗和經驗才能生產出各種符合光學設計的微透鏡陣列形狀。

我們應該知道我國的工業已經進入非常精密的境界，我們也應該知道，要得到這種精密的工業產品，不能僅僅依靠精密的儀器和設備，最重要的是工程師的學問和經驗。要製作電子照相機內部的濾光層和透鏡，工程師要對光學、電子學、化學和機械都要相當的精通。

感謝這些工程師的努力，使我國的工業產品精益求精。