

彩色濾光片之先進製程與缺陷改善

學生：蔡憲慶

指導教授：張翼 博士

國立交通大學工學院專班半導體材料與製程設備組碩士班

摘 要

彩色濾光片為 CMOS Image Sensor 的關鍵組件。而高品質的彩色濾光片決定性的影響 CMOS Image Sensor 之畫素及色彩的表現，而彩色濾光片的製程技術涵蓋了精密大面積的蝕刻技術，高速旋轉塗佈技術及精細的微影技術。隨著電子元件尺寸逐步的微小化，蝕刻特性必須被精確的控制，其中包含：蝕刻率和均勻性等等。本論文將針對在彩色濾光片主流製程技術做詳盡敘述外，主要目標為彩色濾光片之製程改善，包含如何提升彩色濾光片的製程生產良率，簡化流程並降低彩色濾光片製作成本。

第一種方法為改良彩色濾光片的製程，讓 Bond pad 在製程中的最後一道步驟中再打開，來達成保護 Bond pad 不受彩色濾光片光阻和顯影液的傷害。同時因為增加了表面的平坦度，也一併改善了 image defect。第二種方法為利用蝕刻的方式來取代傳統的彩色濾光片顯影步驟，因此減少了光罩的數量並降低彩色濾光片製作成本。

Advanced Process developed and Defect density Improvement of Color Filter

Student: Hsien-Ching Tsai

Advisor: Edward Dr. Yi Chang

Program of Semiconductor Materials and Process Equipment
Nation Chiao Tung University

ABSTRACT

Color filter is a key component of CMOS image sensor. The quality of color filter decides the performance of the pixel and the color of CMOS image sensor. The manufacturing technologies of the color filter include the precise larger area etching technology, the high speed coating technology and the precise Photolithography technology. To minimize electronic components, the etching process should be controlled precisely, including the etching rate and uniformity. This thesis focuses on the process improvement of the color filter, for example, improving the yield rate of the color filter, simplifying the process and reducing the manufacturing cost of the color filter. These topics will be the major challenge for process improvement of the color filter manufacturers in Taiwan.

The first method is improving the process of color filter. Open the bond pad in the last step of the process can protect the bond pad without the influence of the photo resist and developer. As the same time, it can make the surface of the color filter smoother and reduce the image defect also. The second method is using the etching technology to substitute for the developing technology of Color Filter. It can decrease the amount of the TMA and the manufacturing cost of the color filter.

誌謝

回顧這三年豐富的碩士班生活，最感謝我的指導教授 張翼博士，他秉持著孜孜不倦的教導方式，不斷的給予我們指導及鼓勵，百忙之中還不辭辛苦的指導我們，另我十分敬佩教授的精神與毅力。同時也要感謝 張立博士、謝宗雍博士的審閱，並給予我許多寶貴的意見與指正，使得本論文能更加完善。

另外要謝謝許多同學們(林美慧、毛智仁、莊仁吉、徐政宏、曾文松)在這段時間的照顧與相互激勵，因為有你們的存在，讓我在交大碩士班這段期間增添許多難忘的回憶。

最後要謝謝我的家人，在這段時間對我的支持與鼓勵，是我在這段碩士班期間最大的原動力，讓我能順利完成學業與論文。在此祝福我的家人及所有關心及幫助我的親友們都能健健康康、快快樂樂。

目錄

摘 要.....	i
ABSTRACT.....	ii
誌 謝.....	iii
目 錄.....	iv
表目錄.....	vii
圖目錄.....	viii
第一章、緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	1
1.3 研究架構.....	1
第二章、文獻回顧及彩色濾光片基本製程介紹.....	3
2.1 彩色濾光片的功用.....	3
2.2 彩色濾光片基本構造.....	3
2.3 彩色濾光片製程流程介紹(圖 2-3).....	5
2.3.1 常見的彩色濾光片製程流程.....	5
2.3.2 去水烘烤(Dehydration Bake).....	5
2.3.3 塗底(Priming) HMDS.....	6
2.3.4 塗佈製程.....	6
2.3.5 EBR 製程.....	7
2.3.6 曝光前烘烤(Pre-Exposure bake).....	8
2.3.7 微影製程.....	9
2.3.8 顯影製程.....	11

2.3.9 Post-bake 製程	12
2.4 Color Filter step by step flow(圖 2-11)	13
第三章、彩色濾光片製程改善流程	14
3.1 彩色濾光片簡介	14
3.2 彩色濾光片材料簡介	15
3.3 彩色濾光片製程修正結果	16
3.3.1 平坦層 Planarization layer	16
3.3.2 紅/藍/綠 層 RGB layer	19
3.3.3 Micro-Lens	25
3.3.4 總結	28
3.4 缺陷來源分析	29
3.4.1 製程缺陷(一): Pad metal damaged	29
3.4.2 製程缺陷(二): Yellow strip	30
3.5 檢閱缺陷機台簡介	31
第四章、實驗設計與數據分析	38
4.1 實驗設計	38
4.1.1 New Color Filter flow	38
4.1.2 新/舊彩色濾光片製程特性比較	39
4.2 實驗方法	40
4.2.1 實驗方法(一)	40
4.2.2 實驗方法(一)結果與討論	41
4.3 實驗方法(二)	43
4.3.1 調整機台和參數	43
4.3.2 實驗方法(二)結果與討論	43
4.4 Etch(Ash) chamber 特性探討	45
4.4.1 Canon Ash chamber 基本設定	45

4.4.2 Ash chamber 均勻性探討.....	45
4.4.3 Ash chamber 蝕刻率探討.....	50
4.4.4 蝕刻最適條件阻合.....	53
4.4.5 蝕刻最適條件原理探討.....	54
4.5 確認實驗.....	58
4.6 產品驗證.....	59
4.7 產品的光學驗證.....	60
第五章、結論.....	62
參考文獻.....	64



表目錄

表 3-1	彩色濾光片材料	15
表 3-2	Particle Level for 彩色濾光片平坦層	18
表 3-3	彩色濾光片平坦層均勻性	18
表 3-4	彩色濾光片光阻剝落極限	21
表 3-5	彩色濾光片各製程參數最佳化	28
表 4-1	新/舊彩色濾光片各製程流程	40
表 4-2	Canon Ash chamber 基本設定	45
表 4-3	Chamber power split 設定	45
表 4-4	Chamber power split 設定	46
表 4-5	Chamber pressure split 設定	47
表 4-6	Chamber gas split 設定	48
表 4-7	降低 Chamber pressure 至 0.4torr 測得 3 片晶片資料	49
表 4-8	Ash recipe 和 Clean recipe 比較	51
表 4-9	實驗最適條件組合	53

圖目錄

圖 2- 1 CMOS Image Sensor 之結構與工作原理之示意圖.....	3
圖 2- 2 CMOS Image Sensor 與彩色濾光片之結構示意圖.....	4
圖 2- 3 彩色濾光片製程流程簡介.....	5
圖 2- 4 Tube 及 Slit 示意圖.....	7
圖 2- 5 Edge Bead Remove 示意圖.....	8
圖 2- 6 Edge Bead Remove 的高度檢查.....	8
圖 2- 7 厚膜光阻或烘烤溫度太高使光阻表面過早乾燥.....	9
圖 2- 8 Proximity 式示意圖.....	10
圖 2- 9 Stepping 式示意圖.....	11
圖 2- 10 顯影示意圖.....	12
圖 2- 11 Color Filter step by step flow 示意圖.....	13
圖 3- 1 彩色濾光片完成示意圖.....	14
圖 3- 2 Micro-Lens 聚光示意圖.....	14
圖 3- 3 彩色濾光片曝光量分佈圖.....	17
圖 3- 4 彩色濾光片 Pattern undercut 示意圖.....	20
圖 3- 5 彩色濾光片 RGB 對 i-line 的穿透率頻譜(transmittance spectra).....	21
圖 3- 6 彩色濾光片圖案 Layer.....	22
圖 3- 7 彩色濾光片紅藍綠單獨 Pattern SEM 示意圖.....	23

圖 3-8 彩色濾光片紅藍綠 Pattern SEM 示意圖.....	24
圖 3-9 彩色濾光片藍色光阻烘烤後收縮量示意圖	24
圖 3-10 彩色濾光片綠色光阻烘烤後收縮量示意圖	25
圖 3-11 Micro-Lens 有/無 HMDS Particle level 示意圖	26
圖 3-12 Micro-Lens 可見光穿透率示意圖	27
圖 3-13 Micro-Lens 膜厚示意圖.....	27
圖 3-14 Micro-Lens 剖面示意圖.....	28
圖 3-15 良好的金屬 Pad	29
圖 3-16 金屬 Pad damaged.....	29
圖 3-17 斷差造成的 RGB 光阻濺灑入 Pixel 區	30
圖 3-18 Yellow strip 造成 CIS 光學圖片的差異.....	30
圖 3-19 光學顯微鏡機台(LEICA INS3000).....	32
圖 3-20 顯微鏡的光學路徑.....	33
圖 3-21 掃瞄式電子顯微鏡(日立 S-5200)	37
圖 3-22 掃瞄式電子顯微鏡的密閉室.....	37
圖 4-1 傳統的彩色濾光片製程流程	39
圖 4-2 New 彩色濾光片製程流程.....	39
圖 4-3 彩色濾光片平坦層(一)和 GC SiN 厚度剖面圖.....	41
圖 4-4 彩色濾光片 RGB 被過度蝕刻圖	41

圖 4- 5 Bond Pad 蝕刻乾淨未殘留圖.....	42
圖 4- 6 平坦層(二)膜厚增加後彩色濾光片 RGB 被過度蝕刻圖.....	42
圖 4- 7 Etch(Ash) 60sec+ Etch SiN recipe 示意圖.....	44
圖 4- 8 Etch(Ash) 80sec+ Etch SiN recipe 示意圖.....	44
圖 4- 9 Chamber power split 結果.....	46
圖 4- 10 Chamber temperature split 結果.....	47
圖 4- 11 Chamber pressure split 結果.....	48
圖 4- 12 Chamber gas split 結果.....	49
圖 4- 13 降低 Chamber pressure 至 0.4torr 測得 3 片晶片結果.....	50
圖 4- 14 Ash chamber 加上 clean recipe 後的蝕刻結果.....	51
圖 4- 15 Clean recipe 置換成 Ash recipe 的蝕刻結果.....	52
圖 4- 16 Run10 片光阻控片後再蝕刻的結果.....	53
圖 4- 17 New recipe 在控片蝕刻的結果.....	58
圖 4- 18 產品驗證 NEW-Recipe 加上 SiN Etch Recipe 蝕刻結果.....	59
圖 4- 19 產品驗證 NEW-Recipe 加上 SiN Etch Recipe 再次確認蝕刻結果.....	59
圖 4- 20 拍攝彩色跟黑白照片於色版.....	60
圖 4- 21 實驗結果的彩色濾光片.....	61
圖 4- 22 半導體龍頭大廠生產的彩色濾光片.....	61

第一章、緒論

1.1 研究動機

隨著製程技術的演進，CMOS Image Sensor 之 pixel 中的線寬設計愈來愈小，而其感光區域(fill factor)的尺寸不斷地縮小，對 pixel-pixel 的間距也不斷地縮小。傳統的 Color filter 製程技術，因 pixel 的密積度與表面不平坦的限制，在 $0.18\ \mu\text{m}$ 以下的製程，為了提高 pixel 的密積度，傳統的 Color filter 製程技術已經有許多的技術瓶頸，並會產生 Image defect。因此新的 Color filter 製程發展已經刻不容緩的進行當中。

1.2 研究目的

傳統的 Color filter 製程雖然能應用在 $0.18\ \mu\text{m}$ 以上之製程，但 $0.18\ \mu\text{m}$ 以下製程因為 pixel density 和平坦度的限制中衍生許多問題須加以解決，傳統的 Color filter 製程多以 Coating、Exposure、Development 來製造 Color filter，近來 New structure of color filter fabrication process，因具有良好的 Pattern 能力、Low cost、更短的製程步驟和高產出而被廣泛使用在 CMOS Image Sensor 上。

1.3 研究架構

本計劃書共分成五章：

第一章、緒論：說明本研究動機、研究目的與研究架構。

第二章、文獻回顧：Color Filter 製程流程介紹、缺陷形成機制，包含 Bond Pad damaged、Yellow strip 等方面之相關文獻。

第三章、彩色濾光片製程方法與材料簡介：利用半導體晶圓廠在製程中所產生的彩色濾光片晶圓進行分析,並運用實驗設計方法來找出製程上的主要問題點,以改善此缺陷問題及提升良率。

第四章、為實驗分析及製程流程修正驗證，其中包含實驗數據分析、製程流程修正，最適條件的決定及確認實驗及產品驗證。

第五章、結論，為本研究結果的說明。



第二章、文獻回顧及彩色濾光片基本製程介紹

2.1 彩色濾光片的功用

彩色濾光片是 CMOS Image Sensor 的關鍵原件，而透過彩色濾光片才能使高灰階的 CMOS Image Sensor 達到全彩化。所以彩色濾光片之作用在於利用濾光的方式產生紅(R)、綠(G)、藍(B)、三原色光，再將三原色光以不同的強弱比例混合而呈現各種色彩，使 CMOS Image Sensor 顯示出全彩。如圖一所示即為 CMOS Image Sensor 之結構與工作原理之示意圖。

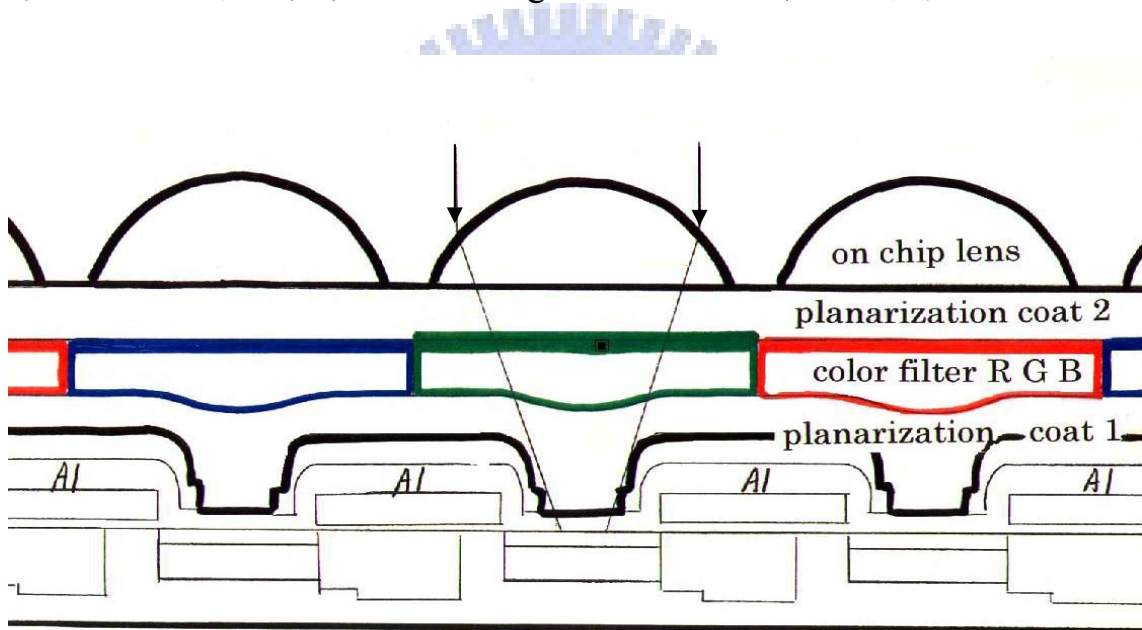


圖 2- 1 CMOS Image Sensor 之結構與工作原理之示意圖

2.2 彩色濾光片基本構造

彩色濾光片是在 CMOS Image Sensor 上製作出許多紅(R)、綠(G)、藍(B)的圖素，每個圖素對應 CMOS Image Sensor 上的一個畫素，當白光背光

通過這些圖素後，變成紅、綠、藍光，而構成三原色光。最基本的彩色濾光片其結構為 CMOS Image Sensor 上製作平坦層，再依序製作上有透光性的紅、綠、藍三原色之彩色濾光膜層(濾光層之形狀、尺寸、色澤配列，依不同用途之 CMOS Image Sensor 而異)，最後在鍍上 Micro-lens。其結構如圖 2-2 所示。

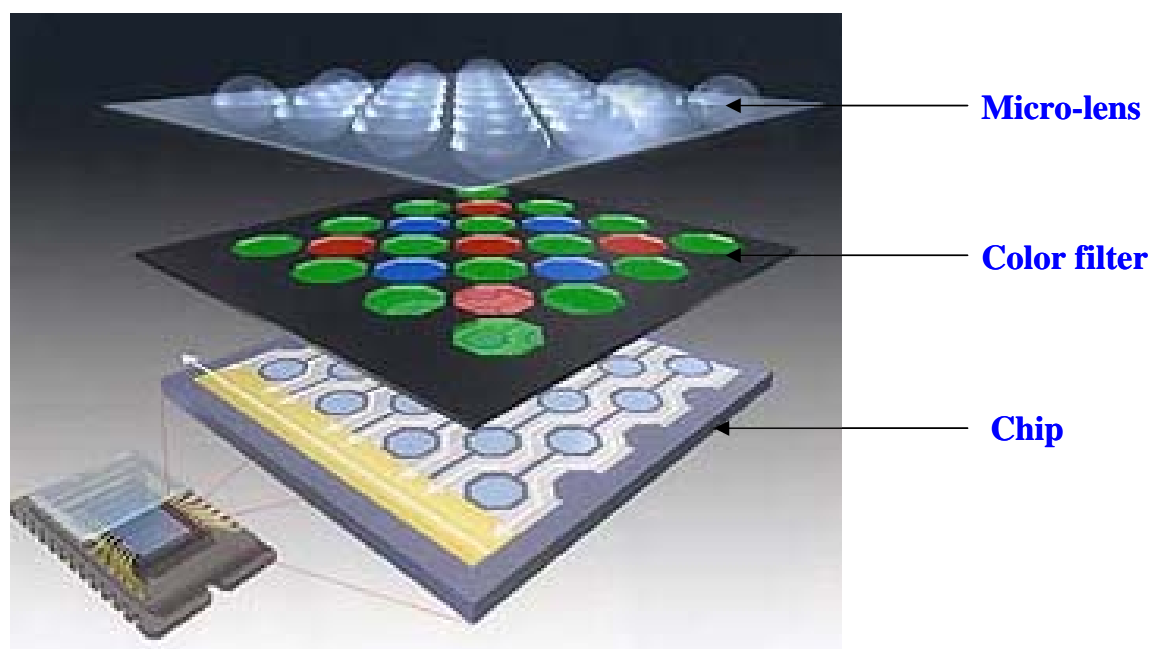


圖 2- 2 CMOS Image Sensor 與彩色濾光片之結構示意圖

2.3 彩色濾光片製程流程介紹(圖 2-3)

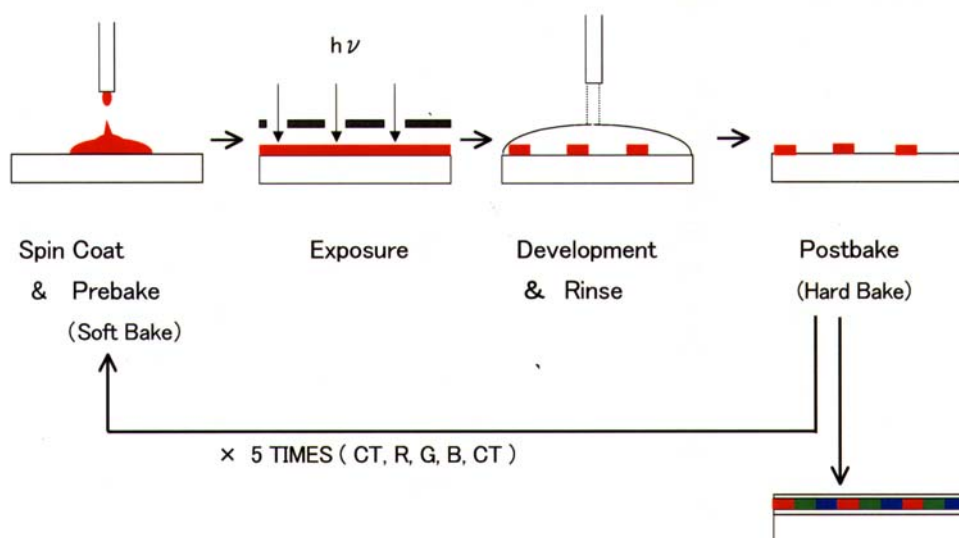


圖 2-3 彩色濾光片製程流程簡介

2.3.1 常見的彩色濾光片製程流程

首先在 CMOS Image Sensor 前段 Pattern 後，利用傳送機構將其送到 R、G、B 光阻製程中。而 R、G、B 製程流程為：(1) Spin Coater 塗佈負光阻，由轉速控制膜厚，進而調整色度。(2) Exposure：曝光部分因聚合而失去溶解性。(3) Developer：洗去未曝光部分，形成所需圖案樣式。(4) Post-bake：加熱以硬化殘留之負型光阻。

2.3.2 去水烘烤(Dehydration Bake)

去水烘烤要的目的是主要在晶片表面上做處理以提昇光阻與晶片表面間的附著力。(Curing condition $150^{\circ}\text{C} \sim 250^{\circ}\text{C}$)由於晶圓表面是氧化矽容易吸

附水份，有機光阻則是斥水性，光阻和晶圓表面不易附著，所以必須去水烘烤的步驟。去水烘烤的處理步驟是在高溫烤盤下烘烤，將晶圓表面的水氣去除，接著進行下一步驟即是塗底，塗上一 HMDS(Hexamethyldisilazane) 材料，做為晶圓與光阻的界面活性劑。

2.3.3 塗底(Priming) HMDS

塗底主要的目的是要提昇光阻與晶片表面間的附著力。晶片表面經過去水烘烤的步驟去除水氣後，加上一層底材以改善光阻與晶片的附著力。通常使用的底材為 HMDS (Hexamethyldisilazane)，HMDS 有如界面活劑，使得晶片與晶圓附著力增加。氣化塗底(Vapor Priming):為求 HMDS 塗底效率好，以往將「去水烘烤」及「HMDS 塗底」的步驟結合在一起，經過去水烘烤的晶片不需從容器拿出來，而直接進行 HMDS 塗底，如此 HMDS 塗底效率會更好。但目前「去水烘烤」溫度較高，且一般的瓶頸時間並不在這個步驟上，故大都將「去水烘烤」及「HMDS 塗底」的步驟分開。(閃火點=17°C，沸點 126°C，Curing condition 90°C~110°C)。

2.3.4 塗佈製程

光阻塗佈製程為送入端(1) Coat 塗佈(2)Spin 旋轉(3)減壓乾燥(4)端面處理(Edge Bead Remove)等，以下針對重要單元做一簡單介紹。在 Coater 塗佈製程主要有兩種機構，分別為 Tube(中央滴下)及 Slit(狹縫式)，皆是利用壓

力將光阻擠壓出的方式，其製程如圖 2-4 所示。Tube 即在玻璃中滴一定量的光阻，利用旋轉將光阻均勻塗佈在 wafer 上；Slit 即利用狹縫將光阻均勻塗佈在 wafer 上，最後再利用旋轉將光阻均勻塗佈在 wafer 上，而這兩種機構最主要的差異在於的用量(Tube>Slit)及 Tube 易產生斑駁。現在半導體的塗佈機台主要機構為 Tube 式。

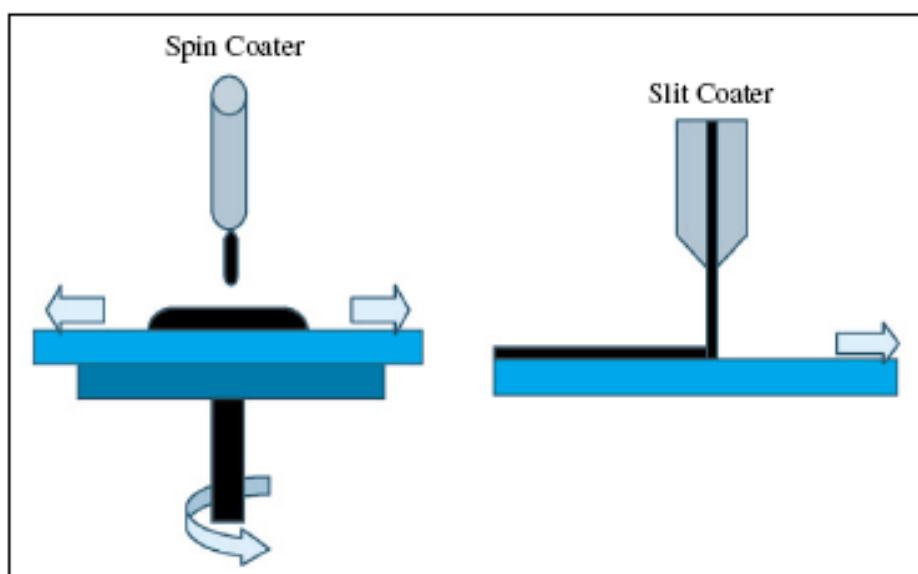


圖 2-4 Tube 及 Slit 示意圖

2.3.5 EBR 製程

在光阻旋轉塗佈完成之後，Wafer 邊緣的光阻需先清除，以免造成光阻的殘留。其所使用的的機構稱為端面處理(EBR)，在清洗頭中通入溶劑、Air、H₂O 以利光阻的清除，其裝置如圖 2-5 所示。最後再經過熱板及冷板的製程機構，其中熱板的目的為增加光阻與基板的附著力，即所謂的預烤(Pre-bake)，溫度一般在 120 至 150°C；而冷板的目的是在於將經熱板後的基

板回復至室溫狀態，溫度一般小於 25°C 。

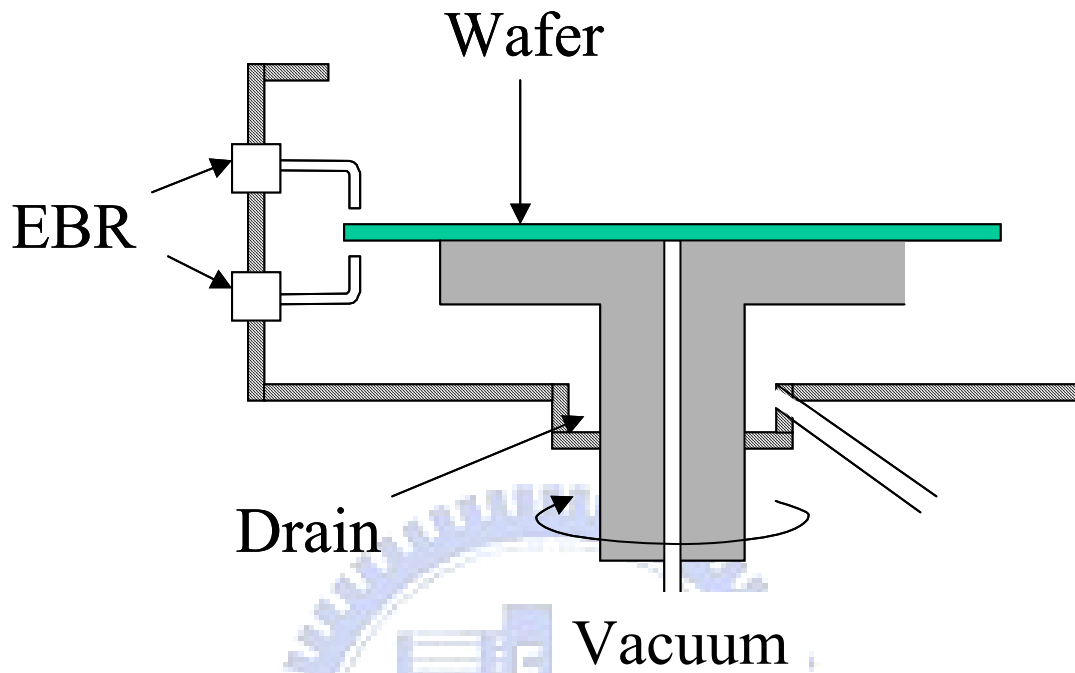


圖 2- 5 Edge Bead Remove 示意圖

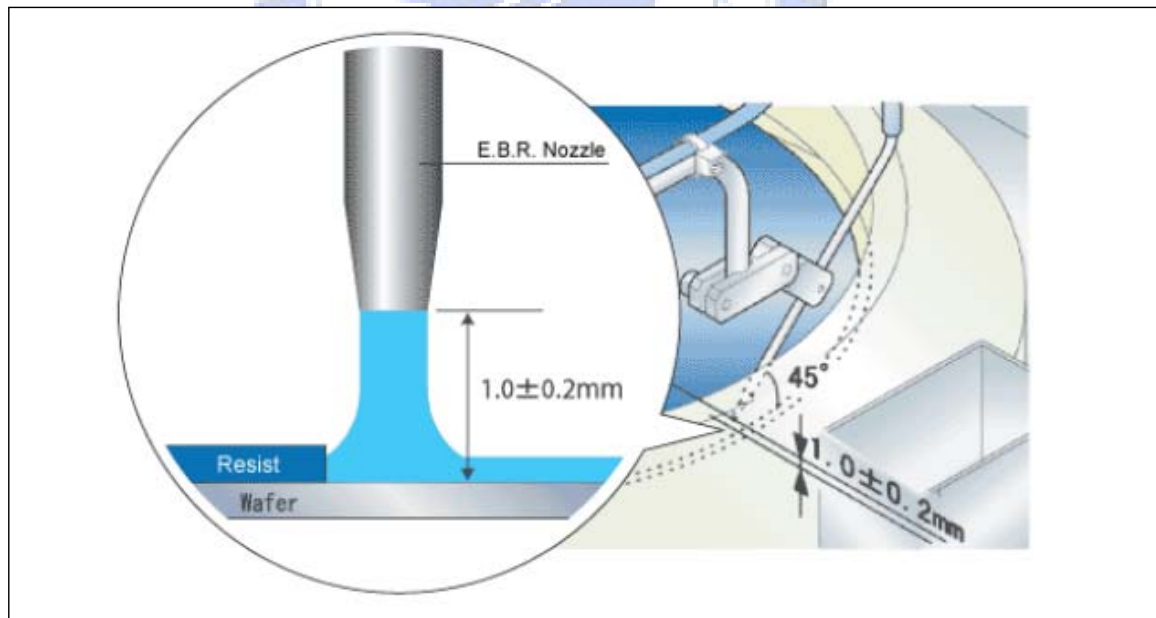


圖 2- 6 Edge Bead Remove 的高度檢查

2.3.6 曝光前烘烤(Pre-Exposure bake)

曝光前的烘烤，又稱為軟烤(Soft Bake)，主要目的是移去光阻覆蓋後，

光阻內殘留的溶劑，使其硬化成型，以提昇光阻顯影速率比、防上光阻層龜裂及增加光阻劑對晶圓的附著力，所以軟烤此步驟對光阻的附著力、溶解速率、線寬控制及光阻圖形的定義具有舉足輕重的地位。軟烤的主要參數是溫度及時間。軟烤會影響到光阻的厚度與活性，同時會影響光阻層的固化及光阻經曝光及顯影後的結果。



圖 2-7 厚膜光阻或烘烤溫度太高使光阻表面過早乾燥

2.3.7 微影製程

將塗佈好光阻的玻璃基板，送到曝光區，而曝光機的功能在於利用 UV 光透過光罩照射於光阻上，使光阻形成如同光罩所設計之 R、G、B 之圖案。而曝光機的重要動作步驟為：Pre-alignment→Proximity Gap 量測→對準 (Alignment, Mark Pattern)→曝光等。而曝光的種類有近接式 (Proximity) 及步進式 (Stepping)。一般半導體廠使用步進方式，步進式的解析度較佳，且 Mask 較便宜，但曝光機台單價較高。所謂的步進式即將 Mask 上之 Pattern 以 Step

方式投影在基板上之曝光法；近接式即將 Mask 與基板置於相對近位置曝光方式，近接式及步進式示意圖分別如圖 2-7 及圖 2-8 所示。其曝光時所使用的光源有許多種，但一般以 G-line(436nm)及 I-line (365nm)兩種為考量，依光阻特性而定。

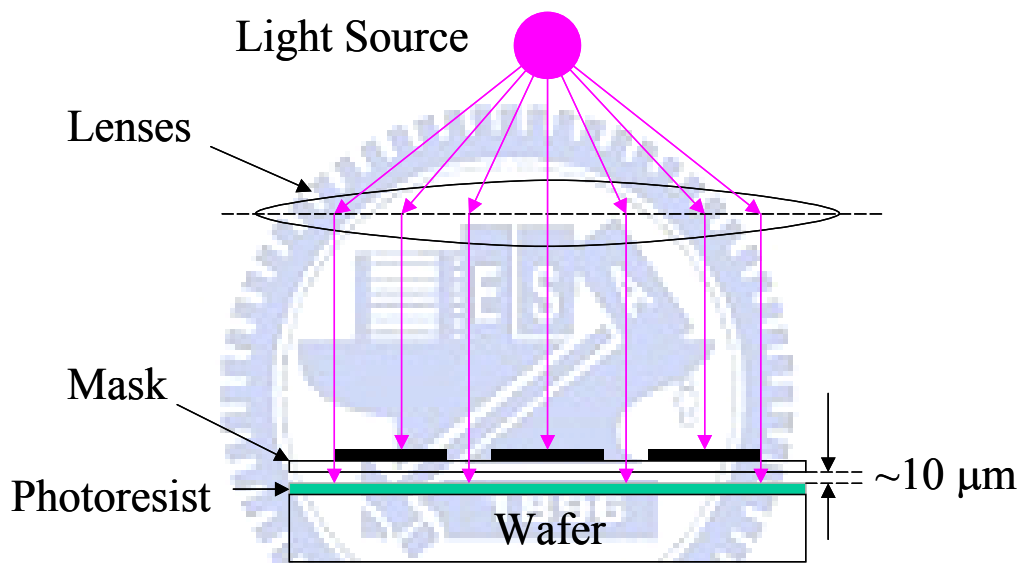


圖 2-8 Proximity 式示意圖

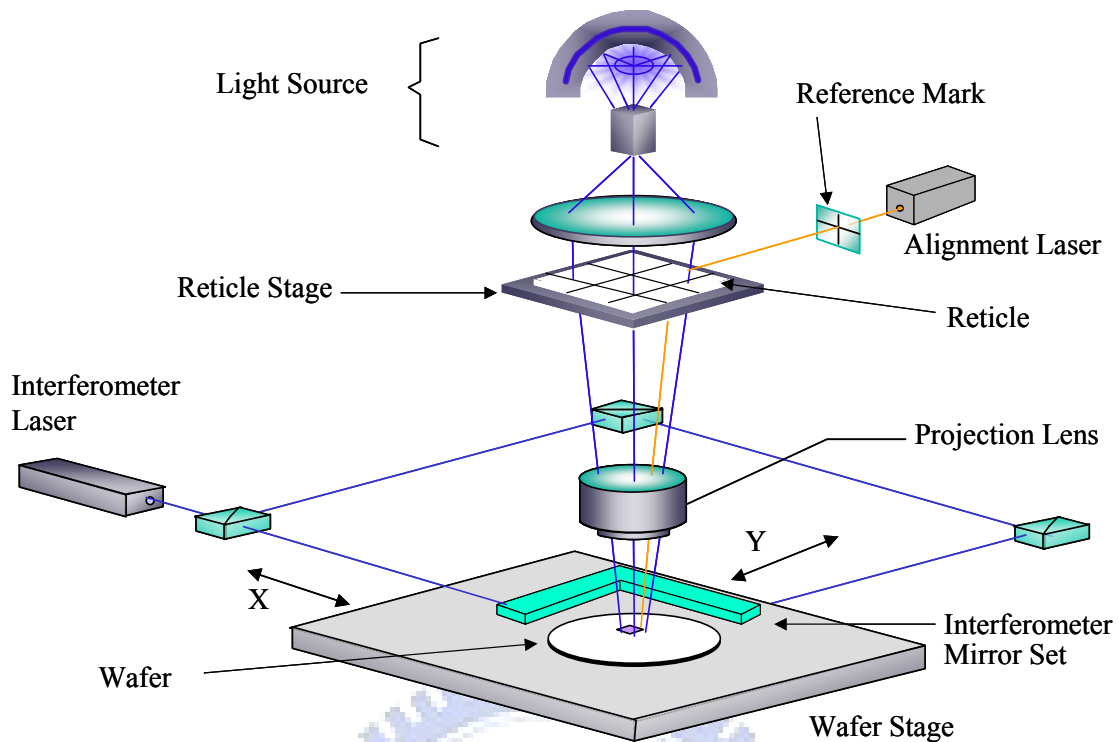


圖 2-9 Stepping 式示意圖

2.3.8 顯影製程

經過了曝光後，將玻璃送到顯影機(Developer)，進行顯影的方式有許多種，但是為了配合整條微影製程的一貫式(In-Line)的作業，商業上的顯影方式大都採用噴灑/混扮(Spray/Puddle)的方式來進行。這種方式大致上分為三個階段。首先，顯影液將噴灑在置於旋轉器上的晶片表面，然後晶片將在靜止的狀態下進行所謂的混扮顯影(Puddle)。顯影完後，經過水洗便旋乾(Spray Dry)，而完成顯影的程序。顯影方式示意圖如圖 2-10 所示。

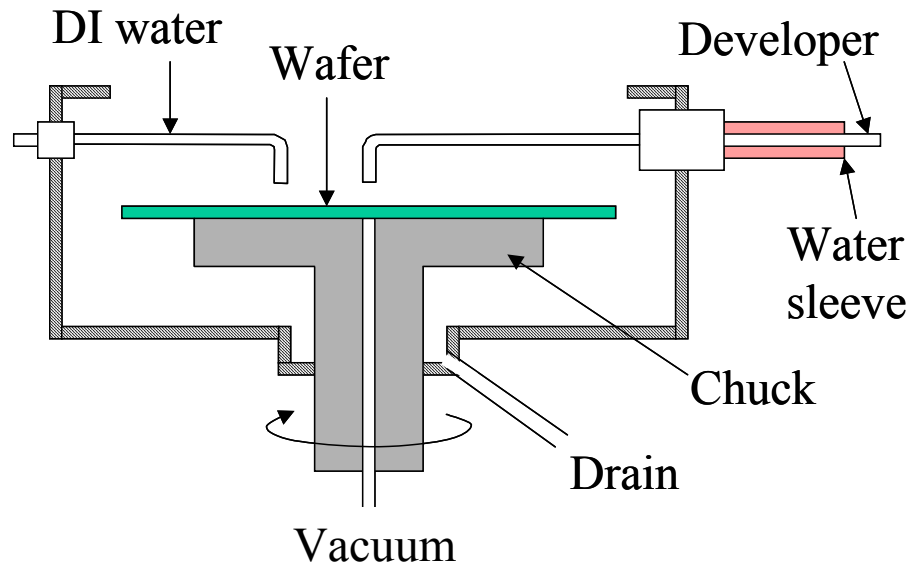


圖 2-10 顯影示意圖

2.3.9 Post-bake 製程

硬烤(Hard Bake)又稱為後烘烤(Post Bake)，經過顯影之後的最後一道的烘烤步驟即稱為硬烤。硬烤主要目的是去除殘存的水氣及溶劑，使光阻內未溶解的感光物質和樹脂之間緊密結合，以增加強光阻的附著力，提高抗蝕刻能力，以利於光阻的後續製程如電漿蝕刻或離子植入。硬烤的溫度比軟烤及曝光後的烘烤溫度更高，光阻在高溫之下產生形變，光阻成為在玻璃高溫之下的熔融狀態，光阻因表面張力而圓滑化，減少針孔的發生，增加光阻的平坦度。經過 Develop 製程的晶片，利用傳送機構將晶片送到烘烤箱，進行後烘烤(Postbake)，其主要目的為將光阻完全的硬化，在進行後段製程時，不易剝落。一般燒成爐的燒成溫度設定為 $80^{\circ}\text{C} \sim 250^{\circ}\text{C}$ ，設定時間為 30~99 秒，依廠商的需求找出最佳的製程參數。

2.4 Color Filter step by step flow(圖 2-11)

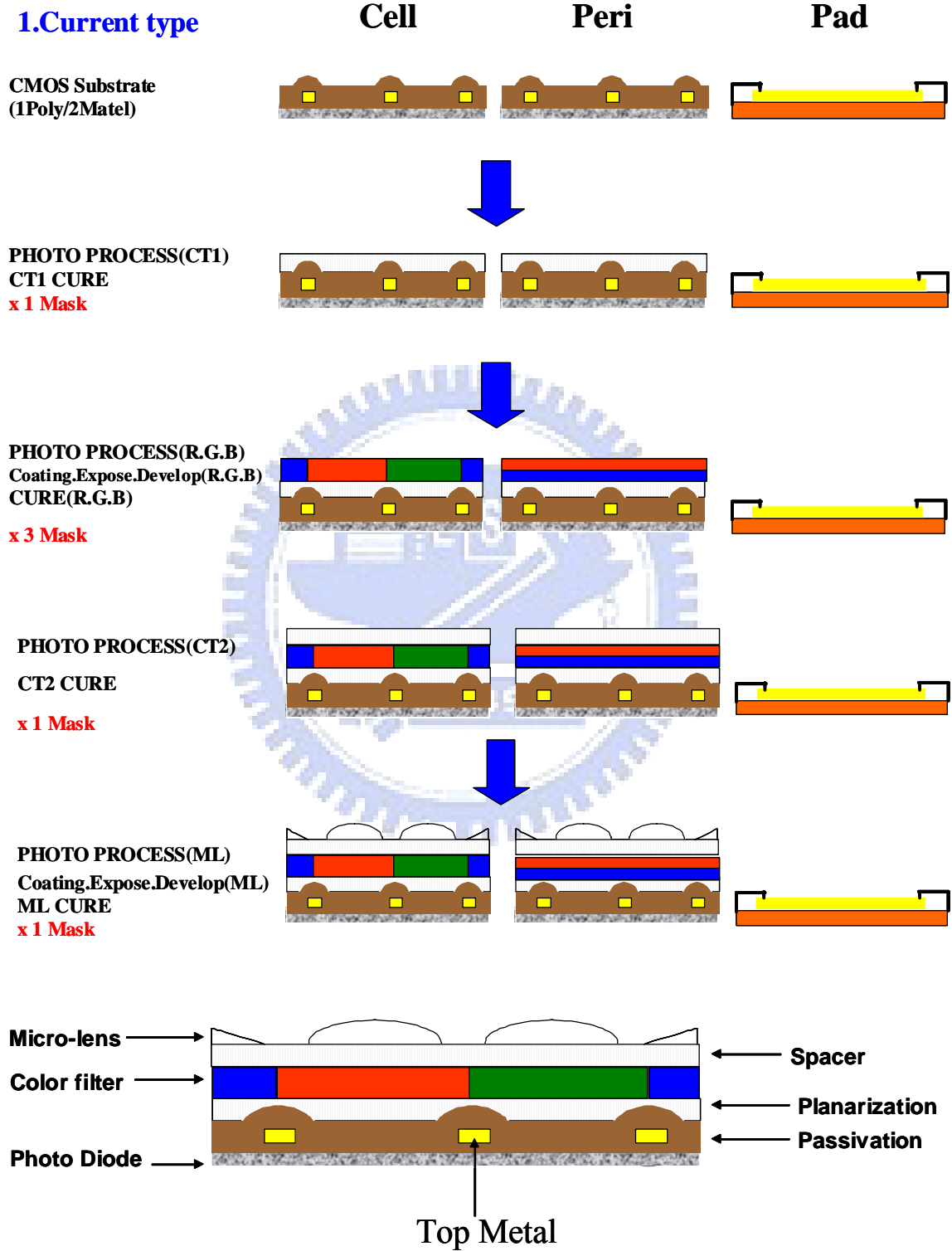


圖 2- 11 Color Filter step by step flow 示意圖

第三章、彩色濾光片製程改善流程

3.1 彩色濾光片簡介

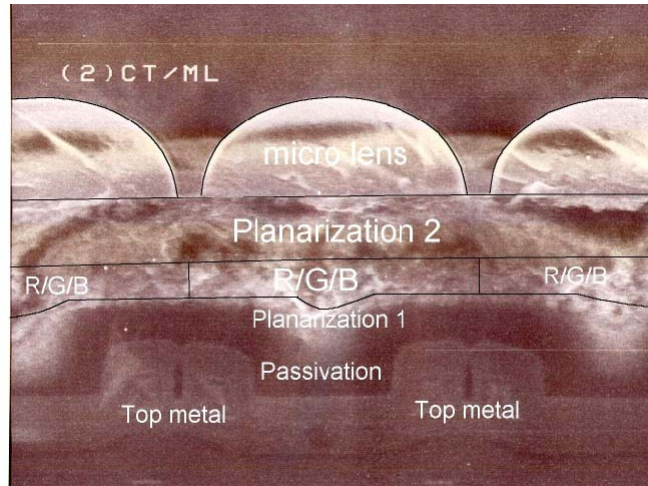


圖 3-1 彩色濾光片完成示意圖

上圖為 CMOS image sensor (CIS)之 color filter (CF)的簡易結構，因 photo diode (PD)的感測面積較小，故須利用 micro-lens 來聚焦，防止光的損失，增加感光度，斷面如下圖所示。

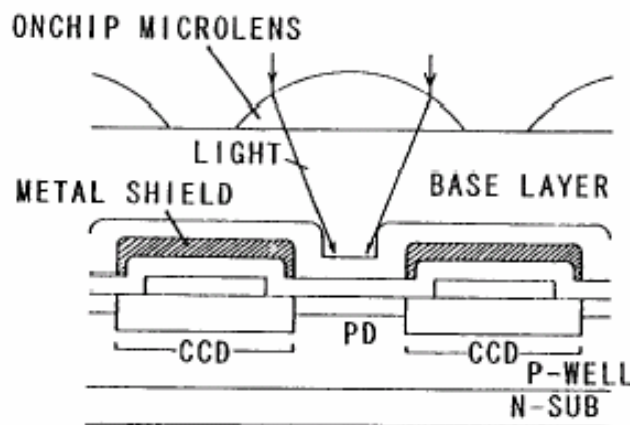


圖 3-2 Micro-Lens 聚光示意圖

一般而言，CF 製程有 6 層，兩層平坦層、CF 層(Red, Green, and Blue) 和

Micro-lens (ML)。

3.2 彩色濾光片材料簡介

表 3-1 彩色濾光片材料

Layer	Photo-resist	Vendor	Dev.	Conc. (wt % TMAH)	D.I.W. rinse	Special
Planarization	EOC100	EVERLIGHT	ENPD30	0.79	normal	surfactant
	CT-3050L	Fuji-Film	CD-2030	0.15	spray	surfactant
Red filter	SRY-A778	Fuji-Film	CD-2030	0.15	spray	surfactant
Green filter	SGY-A779	Fuji-Film	CD-2030	0.15	spray	surfactant
Blue filter	SBV-A780	Fuji-Film	CD-2030	0.15	spray	surfactant
Micro-lens	NPS400	EVERLIGHT	ENPD30	0.79	normal	surfactant

上表為廠商提供的 Materials data，也是這次評估的對象。平坦層有 2 source，一是永光的 EOC100，另一是 Fuji-Film 的 CT-3050L，而 CT-3050L 是之前所用的平坦層，兩者皆是 Photo type (需曝光、顯影)，而不是 thermosetting type (熱固型，不需曝光、顯影)。差異之處在於顯影液濃度和 D.I. water rinse mode，EOC100 所用的顯影液 ENPD3 2.38wt% TMAH 以 1:3 稀釋(by D.I. water)，再加上介面活性劑，而 Fuji-Film 的顯影液 CD-2030 為 pure 0.5 wt % TMAH 以 30 %稀釋，同時再加上介面活性劑。由表中可知，Fuji-Film 系列的光阻，其 D.I. water rinse 一律須用 spray nozzle，原因是強大的撞擊力可減少彩色濾光片的顏料殘留，進而降低顏色的污染。Color filter 層(RGB)所用的 SRY-A778、SGY-A779 和 SBV-A780，是 Fuji-Film 的 4th generation color MOSAIC materials，之前的 SR-7100L、SG-7100L 和 SB-7100L 為 2nd generation。4th generation 有兩點改進之處，一是高解析

度(smaller pixel size)，解析度約 2 um square pattern，而 2nd generation 的解析度約 7 um；另一是顏料尺寸的控制(一小部分大尺寸的顏料超過 0.5 um)。事實上，永光也有提供彩色濾光片的材料，只是專門針對 TFT-LCD 設計的，而 TFT-LCD 的 CF 是用 i-line、g-line 和 h-line 混 run 的，且其 pattern 通常大於 10 um，因此，並不適合用來作 CIS CF 的 materials，因一般 8 吋 IC 廠僅用 i-line 和 DUV，換句話說，永光的 CF (特別是 Blue 和 Green)，因對 i-line 光源的吸收能力很弱，pattern 無法成型。

3.3 彩色濾光片製程修正結果

3.3.1 平坦層 Planarization layer

CT 平坦層評估的重點如下：

1. 可見光高穿透性(> 95 % after curing) (400 ~ 700 nm)
2. Particle level(顯影後) (< 100 counts，based on 0.3 um)
3. 膜厚的均勻性(spec.: < 1 % by 9 points)
4. Good adhesion for RGB (depends on process recipes)以下將以 laye 分別敘述製程微調歷程和分析結果。

這裡主要提供的數據是針對永光的 EOC100，因以上述條件而言，在跳過顯影和烘烤時(全曝並不用光罩)，RGB 在 EOC100 上的 peeling margin 大於在 Fuji-Film 之 CT-3050L，且 CT-3050L 在烘烤後，晶面有 shot 性的淡綠色之溶劑殘留，改用黃光的高溫熱盤烘烤亦無效，故 Fuji-Film 的 CT-3050L

暫時不評估。根據永光所提供的 transmittance spectra 數據，EOC100 (1.8 m)在 200C30M curing 後，其 transmittance 在可見光區約 98 %，符合我們的標準 (>95 %)。為方便 run 貨，平坦層 CT 與 RGB 的顯影液 D.I. water rinse mode 須統一，在 run 貨時，顯影液才不用 purge，而硬體也不用改，但 RGB 對顯影液和沖洗方式較關鍵，故我們擬將永光的平坦層所用顯影液變更成 Fuji-Film 的顯影液，但以永光建議 EOC100 的條件(PB = 110°C w/o PEB)，使用 Fuji-Film 的顯影液 CD-2030 和噴灑沖洗方式去顯影，發現晶片會有殘留的光阻，此為顯影極度不均之現象，懷疑是曝光量不足，當時曝光量為 48 msec，因此，改變不同曝光量(spin speed = 1200 rpm)去尋找最佳條件，data 如下



圖 3-3 彩色濾光片曝光量分佈圖

上述的資料是用 QZ131 (long scan profiler, depth measurement)測量的，在完全不 PEB 下，曝光量約到 80 msec 就達飽和了，但晶片還是會有殘留的光阻，因此，推測須用 PEB 達成完全反應效率，因光阻的內聚力不足，無論

使用多大的曝光量，在此條件下，晶片還是會過度顯影，由實驗證明了材料特性，雖然曝光量對反應效率是關鍵，在常溫下即可形成鍵結，但需一段時間，而 PEB 正是加速因子。另外，我們嘗試改變一些條件去測試顯影後 Particle level，資料如表 3-2

表 3-2 Particle Level for 彩色濾光片平坦層

HMDS	Spin speed (rpm)	PB	PEB	Particle counts after Dev.
80C40S	800	110C120S	70C90S	8029
×	800	110C120S	70C90S	727
×	800	100C120S	80C90S	48

可知 HMDS 對 Particle level 有決定性的影響。原條件(PB = 110°C) 加上 PEB (70°C, 90 sec) 後，其 particle counts 也高達 727 顆因此調降 PB:110 至 100°C 並提升 PEB: 70 至 °80 C，且不上 HMDS，此為最佳條件。一般而言，CT 平坦層在烘烤後的膜厚約 2um，以此為基準，確認厚度的均勻性，詳細資料如表 3-3

表 3-3 彩色濾光片平坦層均勻性

EOC100				after PB				after PDB			
PB	PEB	P2 (ms)	Spin speed (rpm)	Mean	StDv	Range	Uniformity	Mean	StDv	Range	Uniformity
110C120S	×	48	1200	22596.70	89.48	262.51	1.16	19086.29	389.05	1327.99	6.96
100C120S	80C90S	120	800	26237.96	80.13	231.17	0.88	23744.14	66.71	161.95	0.68

表中的均勻性 = (range/mean) x 100 %。在不用 PEB 下，就如同前述過度顯影並顯影不均，造成 PDB 後，均勻性 = 6.96 %，而最終條件 (PB = 100°C/120sec, PEB = 80°C/90sec) 卻可在顯影後，進一步提升均勻性(0.88

至 0.68 %)。平坦層製程參數嚴重影響 RGB 對平坦層的 adhesion 程度，舉 Blue (0.6um)來說，若 EOC100 不加 PDB 步驟，曝光量需 800 msec 以上，Blue layer 方才不會剝落，但若進行正常步驟 (顯影+顯影後烘烤)，並變更烘烤條件: 200°C/30Min 至 220°C/60Min，則曝光量僅需 300 msec 以上，即不會光阻剝落，至於顯影、顯影後烘烤和烘烤溫度提升三者分別的效應，並無詳細具體數據，不過，因在顯影後，晶片表面通常較粗糙，故可用微調三者來增加 RGB 光阻剝落極限。

3.3.2 紅/藍/綠 層 RGB layer

RGB filter layers 評估的重點如下:

1. 光阻剝落極限
2. 光阻(Pigment)殘留極限
3. CD，烘烤後收縮，斷面檢查
4. RGB material Q-time (在室溫)

簡述 RGB 的特性，因彩色濾光片材料含有 5~10 wt %的 RGB pigment，故會吸收大部份曝光之 i-line 光源(365 nm)，造成起始劑 (initiator) 感光不足，特別是 RGB layer film 的底部，起始劑(initiator)所受到的曝光更少，光阻圖案易產生 undercut，造成光阻剝落，如圖 3-4 所示。

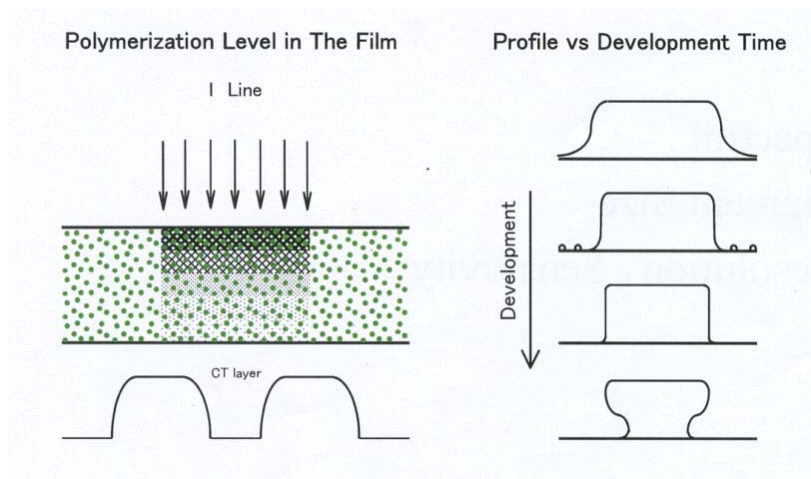


圖 3-4 彩色濾光片 Pattern undercut 示意圖

起始劑(initiator)其實是 photo radicals 產生，即在曝光後產生 radicals，進而發生交差聚合反應，此反應在室溫即可進行，也屬於對曝光較關鍵的(可不用 PEB)。圖 3-5 是 Red、Green 和 Blue 對 i-line 的穿透率頻譜(transmittance spectra)，以 Red layer 的 transmittance 最高(~ 20 % at 1.0um)，可想而知只要所有的製程參數設定相同，Red layer 的光阻剝落極限必定最大，Blue layer 最小。同時此頻譜也透露出，Green layer 和 Blue layer 的製程條件遠較 Red layer 難修正許多，因穿透率隨膜厚提高下降速度過快，在 1.0 um 時，兩者的穿透率近乎於零。

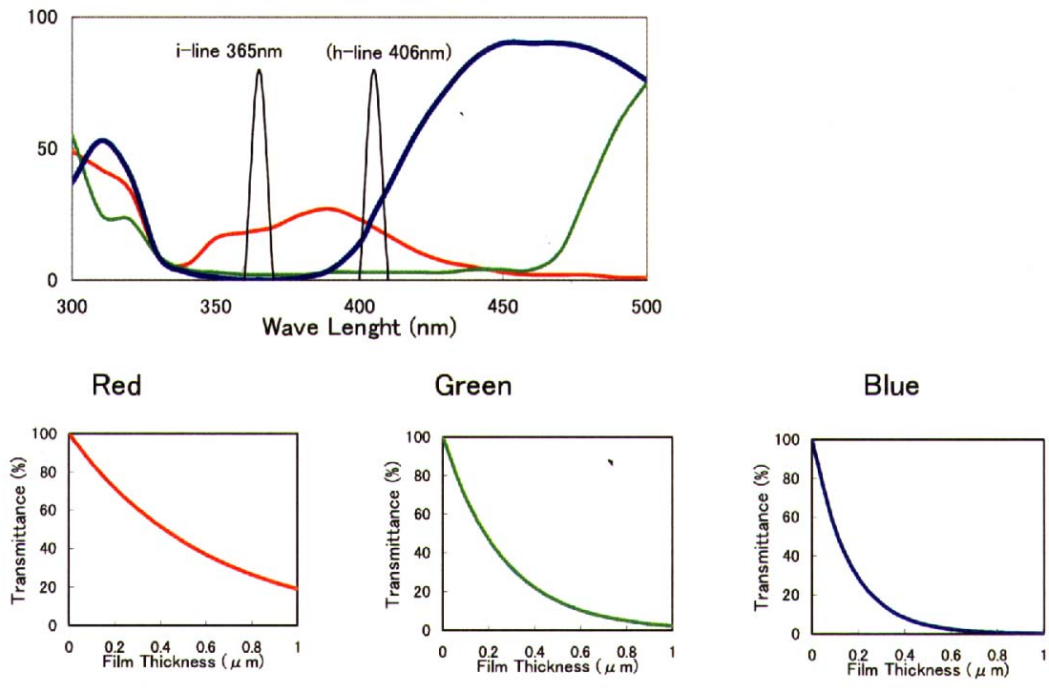


圖 3-5 彩色濾光片 RGB 對 i-line 的穿透率頻譜(transmittance spectra)

以 0.25 EP Shuttle 2 為例，RGB 光阻剝落極限整理成下表 3-4，CAD pitch 為 5.6 PB 和 PEB 的設定是利用溫度 matrix 來搜尋最佳條件。Ep 為最低不會光阻剝落的曝光量，Eo 為兩倍 Ep，以上的數據是建構在 0.6um 膜厚，若是膜厚 1.0um 時，Ep 將 up-shift，因為膜厚愈厚，穿透率愈低，愈易光阻剝落。而 Blue 對 i-line 的穿透率最低，亦較易光阻剝落，故將 PEB 設得較高 (80°C/90sec)。

表 3-4 彩色濾光片光阻剝落極限

Layer	PR thickness (μm)	Pre-bake	PEB	Ep (ms)	Eo (ms)	Residue
Blue	0.6	85C90S	80C90S	300	600	OK
Red	0.6	85C90S	70C90S	150	300	OK
Green	0.6	85C90S	70C90S	300	600	OK

對光阻殘留極限而言，特別是 pigment 殘留常是關鍵。在敘述 pigment 殘留之前，先簡介 CF layout，目前業界大都採用 Bayer color filter array，主要原因是光線干擾較少和具有較好的色彩解析力，pattern layout 如圖 3-6，Red 和 Blue 都是獨立的 pattern，只有 Green 是 dense pattern，每一個 Red 和 Blue 四方皆是 Green，由此可知以 single layer 而言，Green 因四周沒有間隙，residue 沖洗的效率較差，故 Green layer 的光阻殘留通常較嚴重。

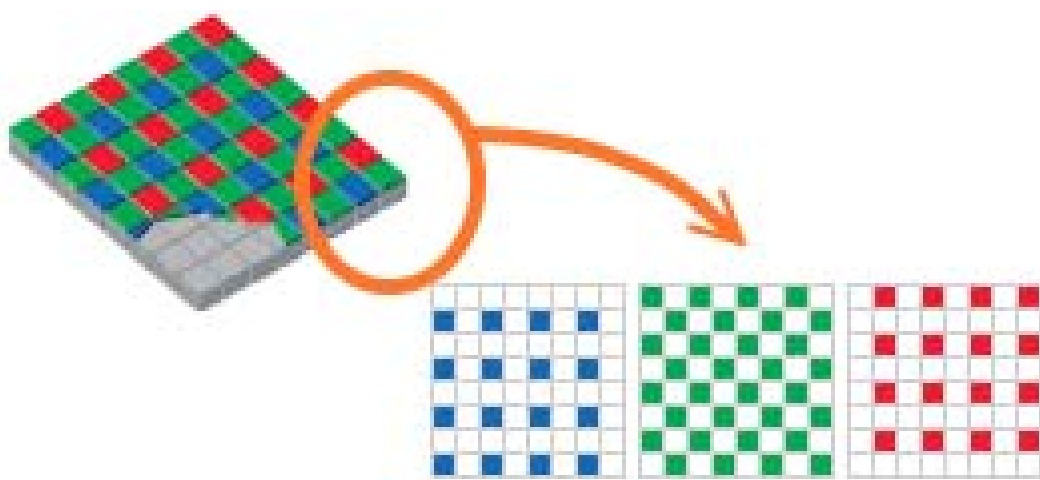
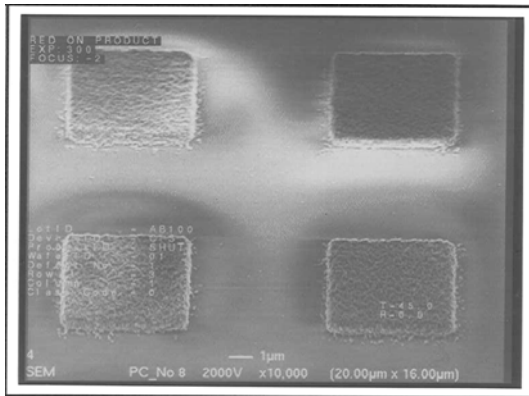
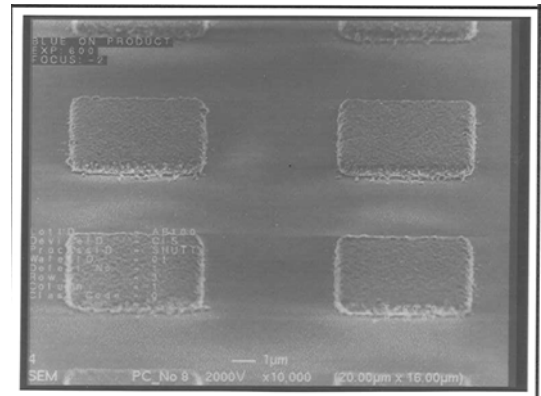


圖 3-6 彩色濾光片圖案 Layer

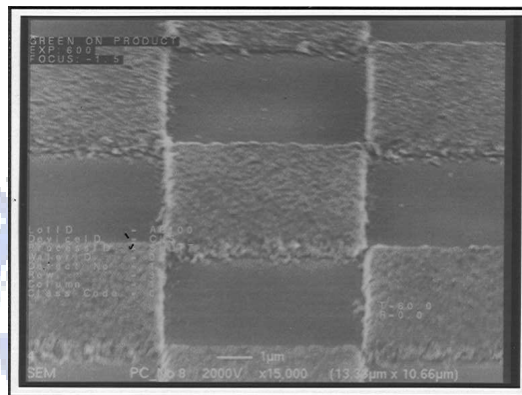
下圖 3-7 是 Red 和 Blue 的 SEM 照片(製程條件如前述)，小顆粒的 residue 尚可接受，而 Green 僅在 pattern 的周遭較嚴重，其餘區域雖不比 Red 和 Blue 佳，但仍在可接受的範圍內，且 Green 是 RGB 中最後上的 layer (B→R→G)，故不必擔心光阻殘留。Green pattern 間的 cross-linkage 程度不足會影響到光阻剝落極限，可用提高曝光量或光罩 over-sizing (0.1 um/side) 來改善。



Red



Blue

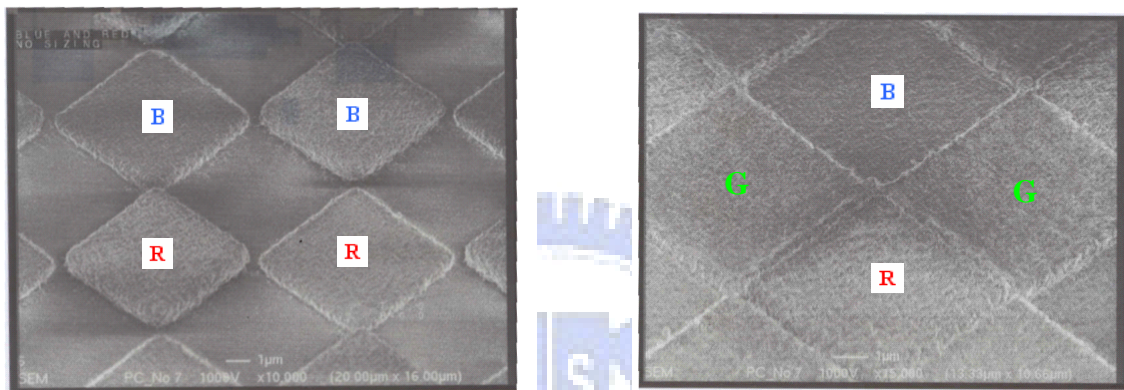


Green

圖 3-7 彩色濾光片紅藍綠單獨 Pattern SEM 示意圖

這次 RGB 排列順序為 B→R→G，與之前的排列順序是一樣的，Blue 之所以優先上的原因是為了增加 sensitivity，若 Blue layer 太厚，將使 sensitivity 過低，故 Blue 必定最薄，又因最薄的 layer 必須先上，因段差問題會造成膜厚控制上的困難。Green 之所以最後上的原因是基於光阻剝落和光阻殘留的考量，因 Green 的光阻剝落和光阻殘留極限皆較 Red 差，若最後上將可避免光阻殘留。下圖 3-8 為 B→R 和 B→R→G 的 SEM 照片，製程條件除了轉速不同之外，其餘皆相同，膜厚估計 Blue layer 0.6µm、Red layer

1.0 um 和 Green layer 1.0um，因此從膜厚高低的判斷，即可得知何者為 Blue layer，何者為 Red layer。在 B→R 中，有輕微殘留情況，但尚可接受，而在 B→R→G 中，RGB pattern 並不是緊密接合，曝光量需要再提高，以確保無間隙。



B→R

B→R→G

圖 3-8 彩色濾光片紅藍綠 Pattern SEM 示意圖

在烘烤後，RGB 收縮量顯示如下(CAD pitch=5.6 um)，RGB 各顏色的曲線分別代表烘烤前的 CD trend，粉紅色的曲線代表各顏色烘烤後的 CD trend，平均的收縮量~0.15um。

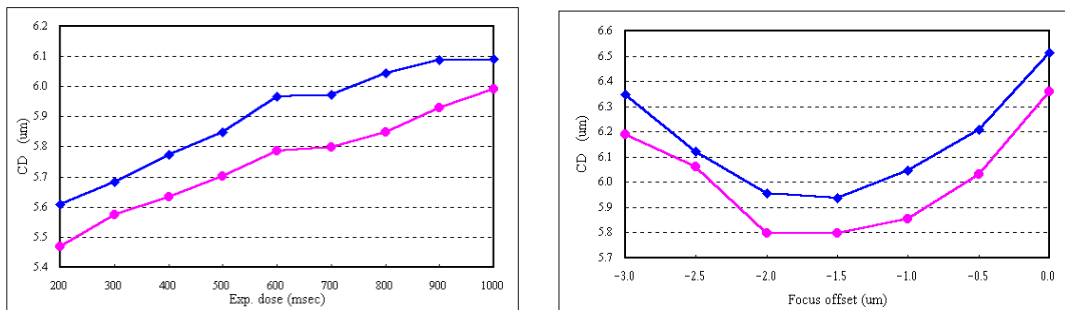


圖 3-9 彩色濾光片藍色光阻烘烤後收縮量示意圖

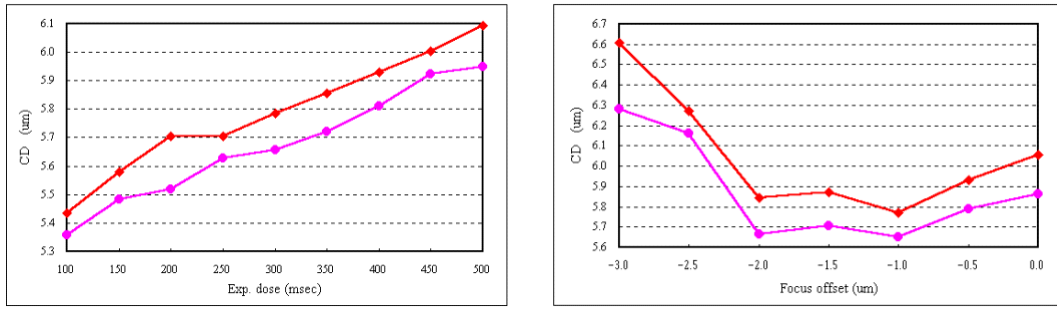


圖 3-9 彩色濾光片紅色光阻烘烤後收縮量示意圖

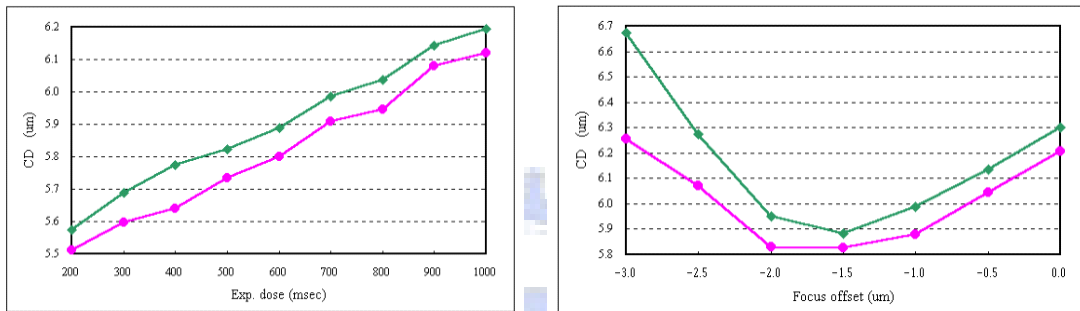


圖 3-10 彩色濾光片綠色光阻烘烤後收縮量示意圖

請注意，上述資料是建構在膜厚為 0.6um 上，若不同膜厚須再 check。以 烘烤後之 CD 為準，若 RGB 要改變 0.1um 之 CD，則 Red、Green 和 Blue 的 曝光量分別需 70、130 和 160 msec，Blue 仍是最遲鈍的。

3.3.3 Micro-Lens

ML 評估的重點如下：

1. 顯影後 particle level (< 100 counts, based on 0.3um)
2. 高可見光穿透力 (烘烤後)
3. 膜厚均勻性 (spec.: < 1 % by 9 points)

永光之 ML 材料 NPS400 顯影後 particle check 的結果與平坦層 EOC100 類似，只是顯影液不同而已，下圖中的資料是用 ENPD30 顯出的結果，很明顯，不上 HMDS 為共同準則，因不上 HMDS 時，顯影後 particle check 僅有 17 顆，而上 HMDS 時，顯影後 particle check 卻暴增為 710 顆。補充說明顯影所用的沖洗參數，總沖洗時間為 70 秒，不論是 CT、ML 或 RGB 各層皆相同，差異之處僅在快慢相間的 spin speed 而已，因用 spray nozzle 來沖洗，故需較長的時間才能使整片晶片皆沖洗到，用一般正常 nozzle 來沖洗，僅需 20 秒左右，此 spray mode 的沖洗時間極限約為 50 秒，多加 20 秒是為了確保安全，因 nozzle 的高度、角度、出水量、管口大小和 N2 壓力等皆會影響洗淨能力。

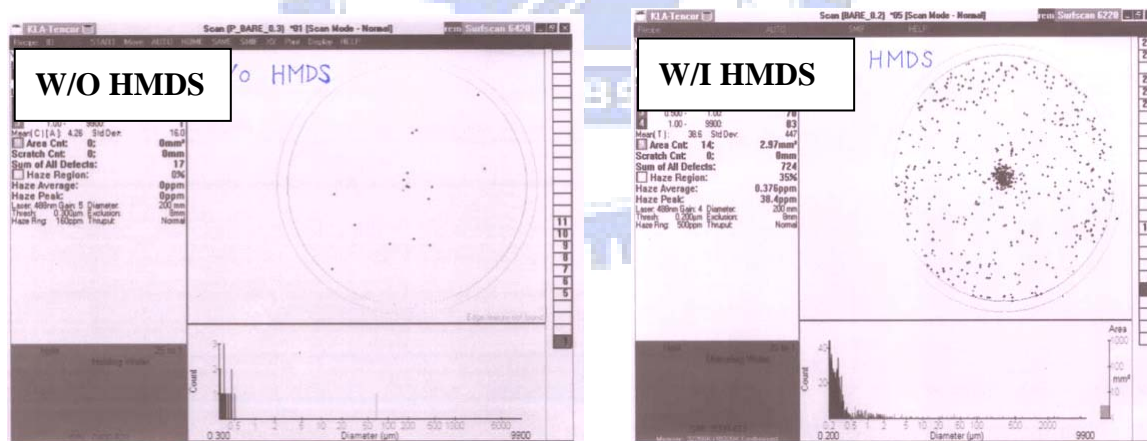


圖 3- 11 Micro-Lens 有/無 HMDS Particle level 示意圖

根據永光所提供的 transmittance spectra 數據 (見圖 3-12)，NPS400 (1.8um)在 200°C/30Min 烘烤後，transmittance 在可見光區約 98% (對紅光和綠光區而言)，符合我們的標準 (> 95%)，與 EOC100 不同之處在於對藍

光區 decay 的速度較快，在 400 nm 時，穿透率約僅剩下 85%，這會造成藍光的 sensitivity 稍微降低。

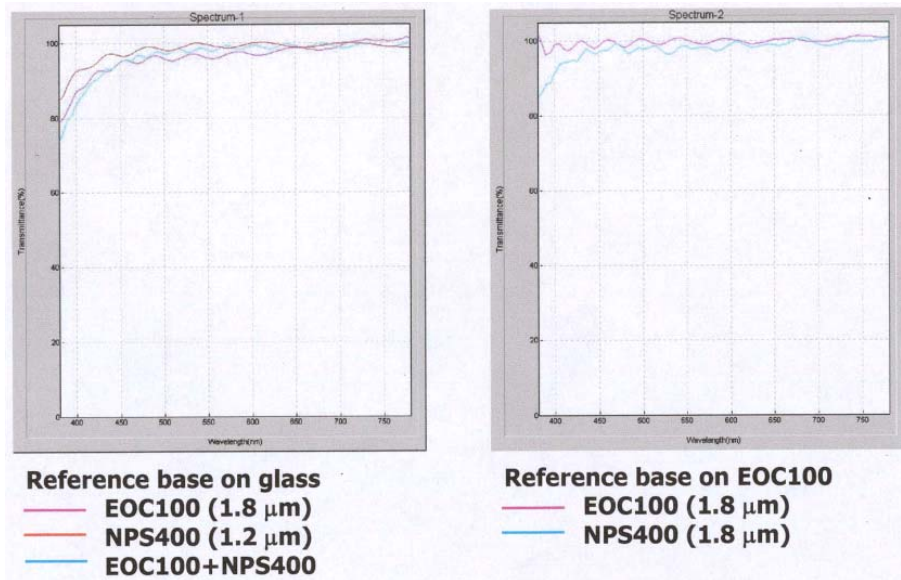


圖 3-12 Micro-Lens 可見光穿透率示意圖

下圖 3-13 中的數據為 ML 的膜厚資料，uniformity = 0.67% (<1%)，符合我們的標準。

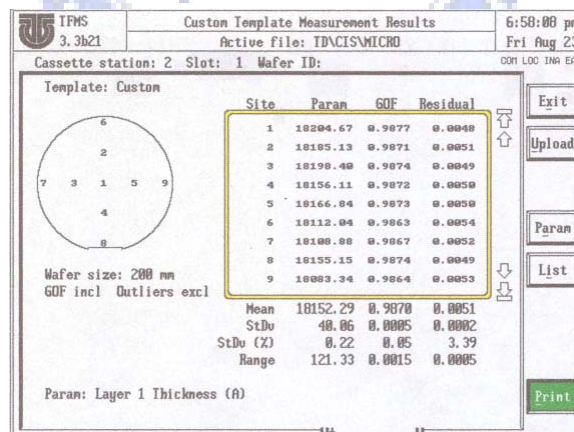


圖 3-13 Micro-Lens 膜厚示意圖

ML 理想的切面如下圖 3-14 所示，具有高度:長度 = 1:4，且 pattern 間距為 0.5um (底部最短距離)。

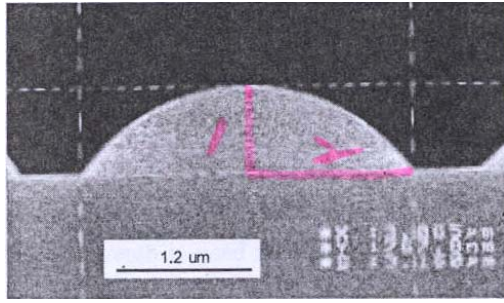


圖 3- 14 Micro-Lens 剖面示意圖

3.3.4 總結

將此次評估的總結果整理成下列表 3-5，各個製程參數完成率達 100%，僅剩下 Q-time experiments 等細節。目前改善 Pad damage and Yellow strip 兩項 Defect 為當務之急。需要開發新的製程方式，以符合下一代 CMOS Image Sensor 的演進並達到客戶要求的水準。

表 3- 5 彩色濾光片各製程參數最佳化

Layer	Photo-resist	Viscosity (cp)	Thickness (um)	DHP	HMD5	Pre-bake	ID	Exp. dose (msec)
CT1	EOC100	18~22	2.0	150C60S	×	100C120S	5	120
	CT-3050L	16	2.0	150C60S	×	120C120S	5	250
Blue	SBV-A780	7.2	T_B	150C60S	×	85C90S	5	600
Red	SRY-A778	10.6	T_R	150C60S	×	85C90S	5	300
Green	SGY-A779	7.2	T_G	150C60S	×	85C90S	5	600
CT2	EOC100	18~22	2.0	150C60S	×	100C120S	5	120
	CT-3050L	16	2.0	150C60S	×	120C120S	5	250
Micro-lens	NPS400	18~22	T_M	150C60S	×	90C70S	5	42

Notice: 1. T_B , T_R , T_G , and T_M are determined by spectra data and gain of sensitivity

2. The optimal temperature of CT-3050L have not yet been found, the above data is old condition

3.4 缺陷來源分析

3.4.1 製程缺陷(一) : Pad metal damaged

根據製程實驗發現，彩色濾光片的製程流程當中，金屬 Pad 會接觸數次的彩色濾光片光阻，和數次的顯影液，造成金屬 Pad damaged。被 damaged 的金屬 Pad 會造成後段電性測試、封裝時探針無法順利連接在金屬 Pad 上。

如圖 3-15、3-16

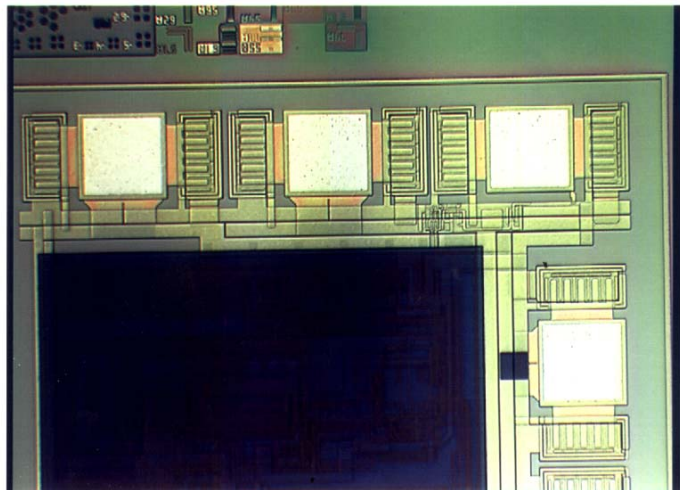


圖 3-15 良好的金屬 Pad



圖 3-16 金屬 Pad damaged

3.4.2 製程缺陷(二) :Yellow strip

根據微觀來看製程實驗發現，彩色濾光片光阻每一次的塗佈、曝光、顯影後會因為 Chip 週邊和金屬 Pad 的斷差而濺灑入 Chip pixel 內如圖 3-17。

而造成後續光學發現的 Yellow strip 如圖 3-18。

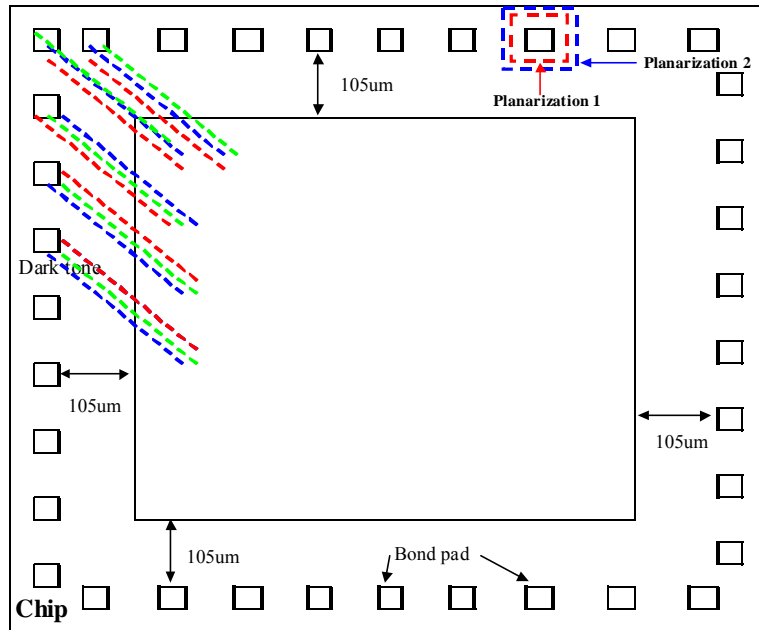
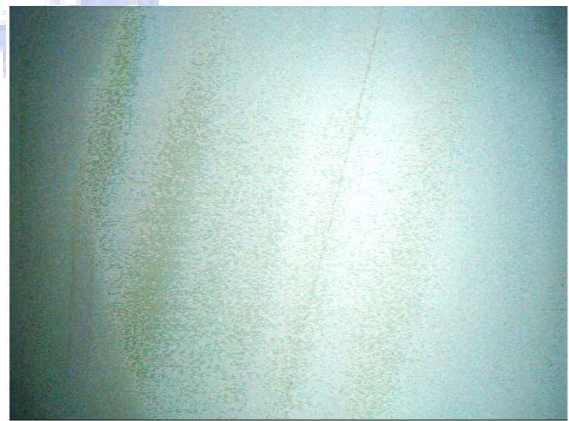


圖 3-17 斷差造成的 RGB 光阻濺灑入 Pixel 區



沒有 Yellow strip 的 CIS 光學圖片



Yellow strip 的 CIS 光學圖片

圖 3-18 Yellow strip 造成 CIS 光學圖片的差異

3.5 檢閱缺陷機台簡介

此研究會用到兩種機型的檢閱缺陷機台，一個是光學顯微鏡(OM)另外一個是掃瞄式電子顯微鏡(SEM)。

光學顯微鏡(圖 3-19)是一種利用光學透鏡產生影像放大效應的顯微鏡。由物體入射的光被至少兩個光學系統(物鏡和目鏡)放大。首先物鏡產生一個被放大實像，人眼通過作用相當於放大鏡的目鏡觀察這個已經被放大的實像。一般的光學顯微鏡有多個可以替換的物鏡，這樣觀察者可以按需要更換放大倍數。這些物鏡一般被安置在一個可以轉動的物鏡盤上，轉動物鏡盤就可以使不同的目鏡方便地進入光路，物鏡盤的英文是 Nosepiece，又譯作鼻輪。光學顯微鏡的解析度受到光波長的限制，一般不超過 0.3 微米。假如顯微鏡使用紫外線作為光源或物體被放在油中的話，解析度還可以得到提高。光學顯微鏡依樣品的不同可分為反射式和透射式。反射顯微鏡的物體一般是不透明的，光從上面照在物體上，被物體反射的光進入顯微鏡。這種顯微鏡經常被用來觀察固體等，多應用在工學、材料領域，在正立顯微鏡中，此類顯微鏡又稱作金相顯微鏡。透射顯微鏡的物體是透明的或非常薄，光從可透過它進入顯微鏡。這種顯微鏡常被用來觀察生物組織。

光學顯微鏡依其聚光鏡(condenser)和物鏡(Objective)的設計，可用來觀察不同的樣品。明視野(Bright-field)用來觀察薄的染色生物組織樣品，暗視

野(Dark-field)功能的視野下，背景為黑色，能突顯樣品的細微面貌，觀察未染色樣品時，如活細胞，可利用相位差(Phase)功能。另外還有微分干涉差(differential interference contrast, DIC)功能，都常搭配在光學顯微鏡上。

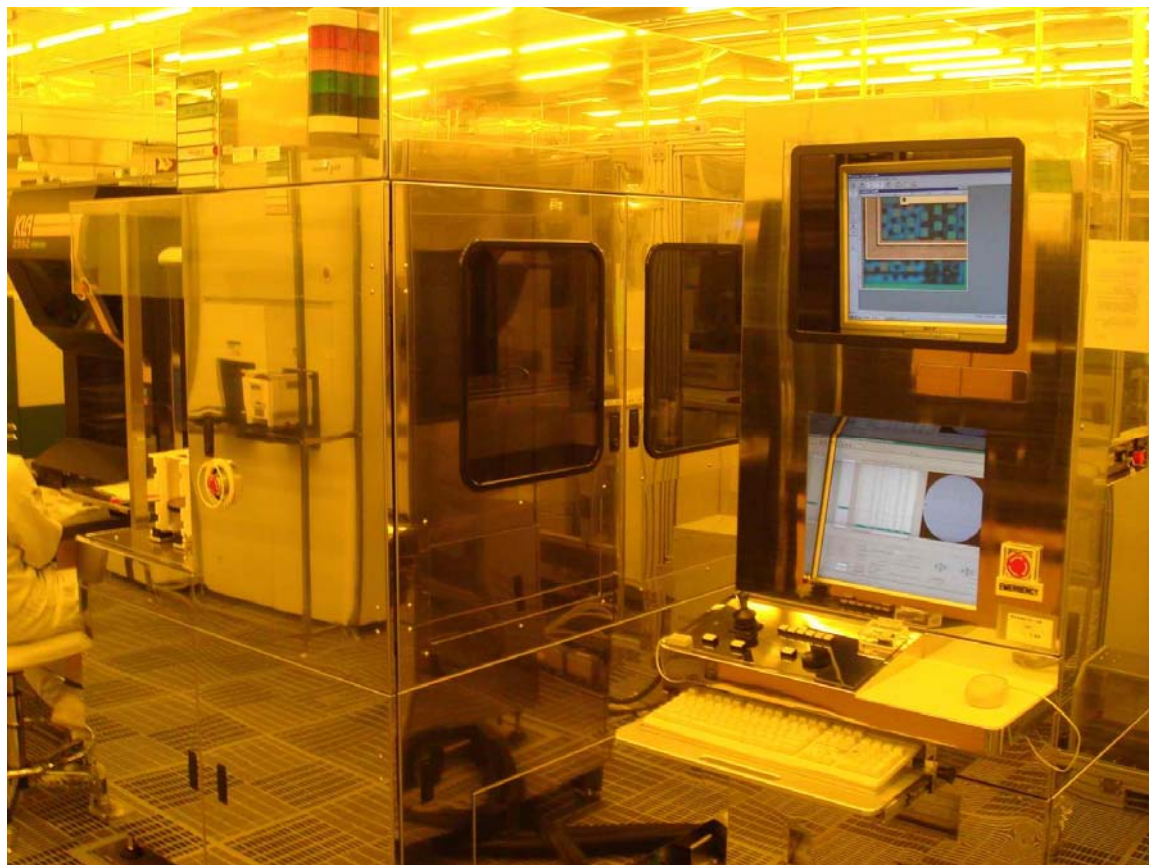


圖 3- 19 光學顯微鏡機台(LEICA INS3000)

現在的光學顯微鏡的構造非常的複雜精密，為了精準成像，顯微鏡的光學路徑必須嚴謹的設計與控制。儘管如此，光學顯微鏡的運作原理是非常簡單的。

最簡單的物鏡是由高解析度的玻璃鏡製成，有非常短的焦距，大概是 160 mm 左右，而產生了放大倒立成像，因此像是非常靠近試片來觀察，經

由對焦，其產生的是實像，不用經由目鏡即可用肉眼看到，或者成像於紙張上。在多數的顯微鏡，目鏡是雙鏡組成的，一個在眼睛，產生虛像，使肉眼看到放大成像；一個則靠近物鏡，產生實像。

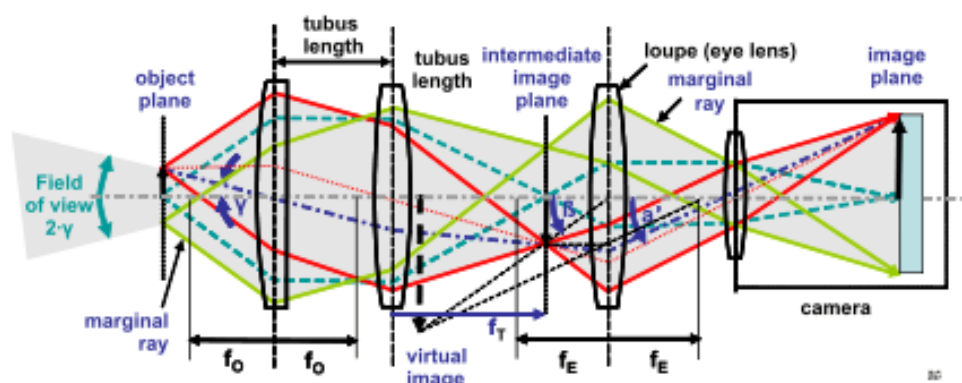


圖 3- 20 顯微鏡的光學路徑

掃描電子顯微鏡 (scanning electron microscope) (圖 3-21)，簡稱掃描電鏡 (SEM)。是一種利用電子束掃描樣品表面從而獲得樣品信息的電子顯微鏡。它能產生樣品表面的高解析度圖像，且圖像呈三維，掃描電子顯微鏡能被用來鑒定樣品的表面結構。是奈米材料顯微形貌觀察方面使用最廣泛普遍的分析儀器。其影像解析度極高達 0.6nm，且具有景深長特點，可以清晰的觀察起伏程度較大的樣品，如破斷面等。並可以作微小區域的化學組成分析，陰極發光分析等。SEM 是以一極細的電子束在試樣表面作平面掃描，再偵測電子束與試樣表面形貌(Morphology)有極大敏感性。要提高 SEM 的解析度，就要採用一極細且亮度極高的電子束來掃描，高亮度的微小電子束與試片交互作用時，才能在微小作用區域產生足夠數量的二次電子以供偵測。

掃描電子顯微鏡由三大部分組成：真空系統，電子束系統以及成像系統。真空系統主要包括真空泵和真空柱兩部分。真空柱是一個密封的柱形容器。真空泵用來在真空柱內產生真空。有機械泵、油擴散泵以及渦輪分子泵三大類，機械泵加油擴散泵的組合可以滿足配置鎢槍的 SEM 的真空要求，但對於裝置了場致發射槍或六硼化鏷槍的 SEM 則需要機械泵加渦輪分子泵的組合。成象系統和電子束系統均內置在真空柱中。真空柱底端即為右圖所示的密封室，用於放置樣品。之所以要用真空，主要基於以下兩點原因：電子束系統中的燈絲在普通大氣中會迅速氧化而失效，所以除了在使用 SEM 時需要用真空以外，平時還需要以純氮氣或惰性氣體充滿整個真空柱。為了增大電子的平均自由程，從而使得用於成象的電子更多。

電子束系統由電子槍和電磁透鏡兩部分組成，主要用於產生一束能量分佈極窄的、電子能量確定的電子束用以掃描成象。電子槍用於產生電子，主要有兩大類，共三種。一類是利用場致發射效應產生電子，稱為場致發無線電子槍。這種電子槍極其昂貴，在十萬美元以上，且需要小於 10-10torr 的極高真空。但它具有至少 1000 小時以上的壽命，且不需要電磁透鏡系統。另一類則是利用熱發射效應產生電子，有鎢槍和六硼化鏷槍兩種。鎢槍壽命在 30~100 小時之間，價格便宜，但成象不如其他兩種明亮，常作為廉價或標準 SEM 配置。六硼化鏷槍壽命介於場致發無線電子槍與鎢槍之間，為 200~1000 小時，價格約為鎢槍的十倍，圖像比鎢槍明亮 5~10 倍，需

要略高於鎢槍的真空，一般在 10^{-7} torr 以上；但比鎢槍容易產生過度飽和和熱激發問題。

熱發無線電子需要電磁透鏡來成束，所以在用熱發無線電子槍的 SEM 上，電磁透鏡必不可少。通常會裝配兩組：匯聚透鏡：顧名思義，匯聚透鏡用匯聚電子束，裝配在真空柱中，位於電子槍之下。通常不止一個，並有一組匯聚光圈與之相配。但匯聚透鏡僅僅用於匯聚電子束，與成象會焦無關。物鏡：物鏡為真空柱中最下方的一個電磁透鏡，它負責將電子束的焦點匯聚到樣品表面。電子經過一系列電磁透鏡成束後，打到樣品上與樣品相互作用，會產生次級電子、背散無線電子、歐革電子以及 X 射線等一系列信號。所以需要不同的探測器譬如次級電子探測器、X 射線能譜分析儀等來區分這些信號以獲得所需要的信息。雖然 X 射線信號不能用於成象，但習慣上，仍然將 X 射線分析系統劃分到成象系統中。有些探測器造價昂貴，比如 Robinsons 式背散無線電子探測器，這時，可以使用次級電子探測器代替，但需要設定一個偏壓電場以篩除次級電子。與普通光學顯微鏡不同，在 SEM 中，是通過控制掃描區域的大小來控制放大率的。如果需要更高的放大率，只需要掃描更小的一塊面積就可以了。放大率由屏幕照片面積除以掃描面積得到。所以，SEM 中，透鏡與放大率無關。在 SEM 中，位於焦平面上下的一小層區域內的樣品點都可以得到良好的會焦而成象。這一小層的厚度稱為場深，通常為幾奈米厚，所以，SEM 可以用於奈米級

樣品的三維成像。電子束不僅僅與樣品表層原子發生作用，它實際上與一定厚度範圍內的樣品原子發生作用，所以存在一個作用「體積」。作用體積的厚度因信號的不同而不同：歐革電子：0.5~2 奈米。次級電子： 5λ ，對於導體， $\lambda=1$ 奈米；對於絕緣體， $\lambda=10$ 奈米。背散無線電子：10 倍于次級電子。特徵 X 射線：微米級。X 射線連續譜：略大於特徵 X 射線，也在微米級。工作距離指從物鏡到樣品最高點的垂直距離。如果增加工作距離，可以在其他條件不變的情況下獲得更大的場深。如果減少工作距離，則可以在其他條件不變的情況下獲得更高的解析度。通常使用的工作距離在 5 毫米到 10 毫米之間。歐革電子、特徵 X 射線、背散無線電子的產生過程均與樣品原子性質有關，所以可以用於成分分析。但由於電子束只能穿透樣品表面很淺的一層（參見作用體積），所以只能用於表面分析。表面分析以特徵 X 射線分析最常用，所用到的探測器有兩種：能譜分析儀與波譜分析儀。前者速度快但精度不高，後者非常精確，可以檢測到「痕跡元素」的存在但耗時太長。



圖 3- 21 掃描式電子顯微鏡(日立 S-5200)



圖 3- 22 掃描式電子顯微鏡的密閉室

第四章、實驗設計與數據分析

4.1 實驗設計

4.1.1 New Color Filter flow

傳統的 Color filter 製程為 CT1(平坦層 1)/R/G/B/CT2(平坦層 2)/M-L 五層的光阻各自塗佈、曝光、顯影，這樣的組合 5 次後形成彩色濾光片用於 CMOS Image Sensor。如圖 4-1 所示。而新的彩色濾光片一樣是將 CT1/R/G/B/CT2/M-L 五層的光阻各自塗佈、曝光、顯影，這樣的組合。但是一開始的 Bond Pad 並未打開，而是最後再利用 CT2 當 Hard Mask 用蝕刻的方法將 CT1 及 Bond Pad SiN 打開如圖 4-2。這樣的方式可以避免 Bond Pad 一開始就裸露而造成 Bond Pad damaged 和因為斷差原因造成 Yellow strip 影響光學的品質。

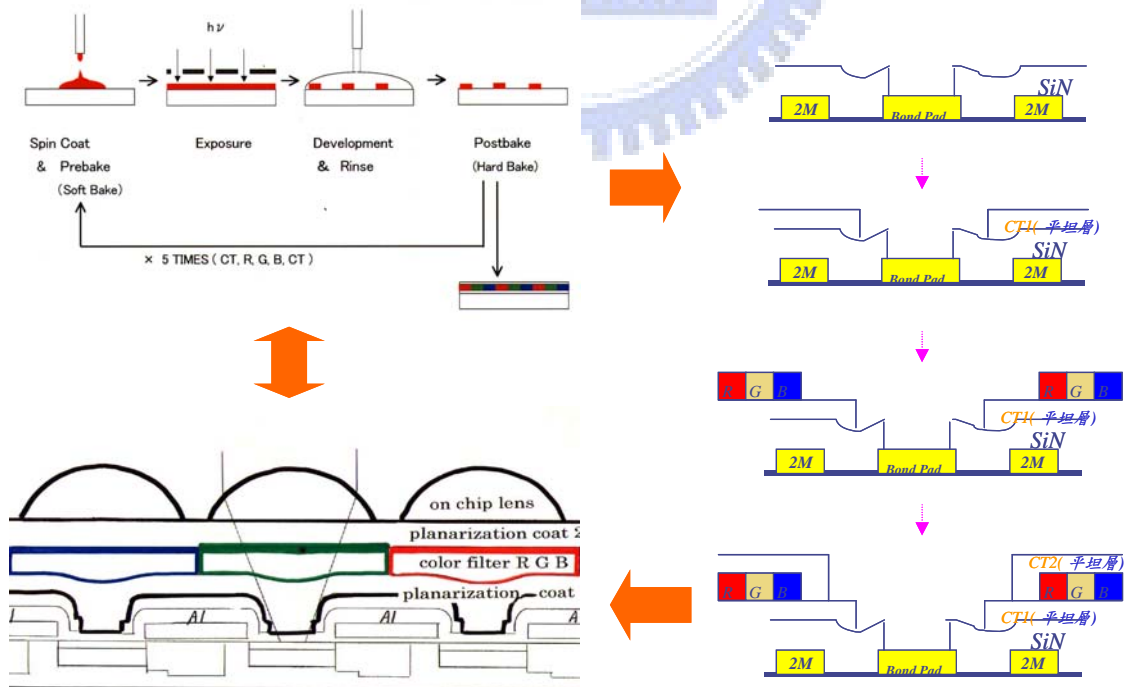


圖 4-1 傳統的彩色濾光片製程流程

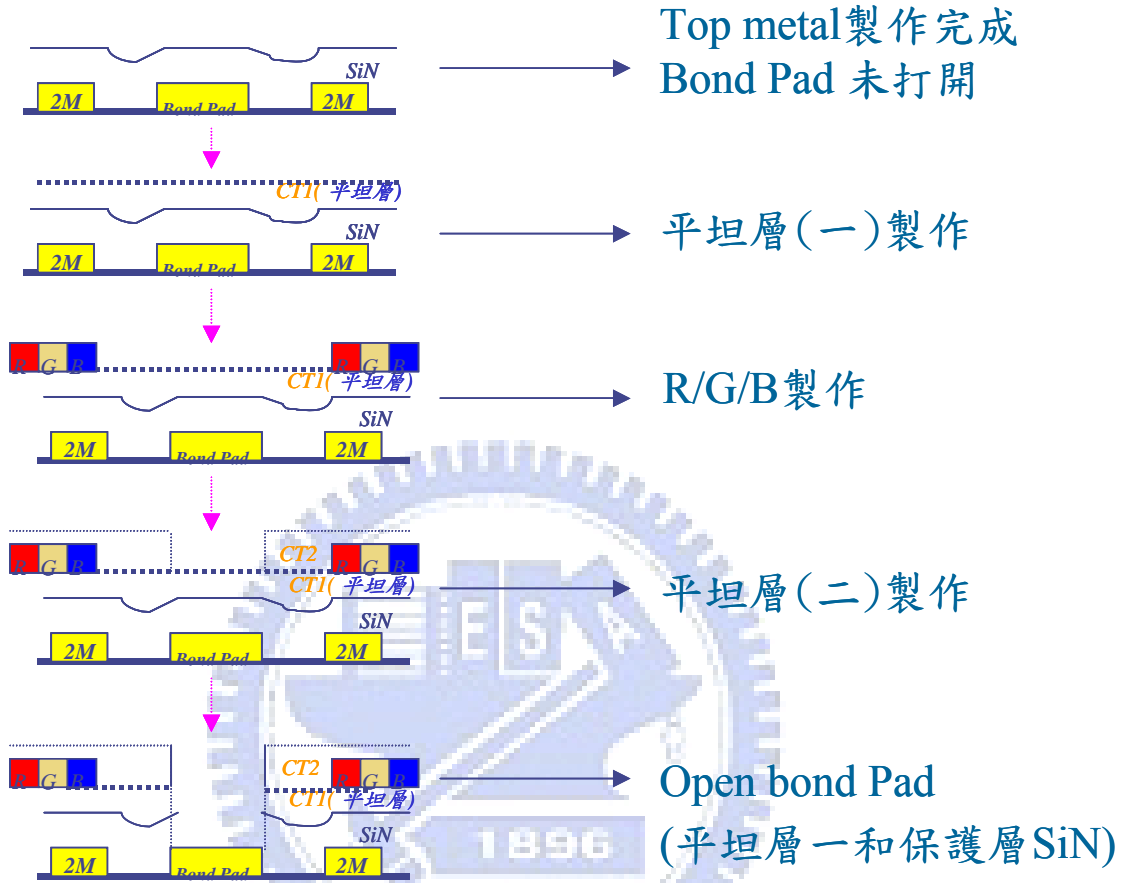


圖 4-2 New 彩色濾光片製程流程

4.1.2 新/舊彩色濾光片製程特性比較

表 4-1 顯示新的彩色濾光片製程除了可以避免 Bond Pad damaged 及因為斷差原因造成 Yellow strip 的影響外,也經由製程的改變節省了 2 枚光罩、一道塗佈的手續、一道曝光和顯影的手續。除了增進公司的產量之外更幫公司節省了經費。

表 4-1 新/舊彩色濾光片各製程流程

	Standard flow	New flow
Mask	GC	No
	CT1	No
	R/G/B	R/G/B
	CT2	GC
	ML	ML
Tota mask	7 mask	5 mask
Stepper	7	6
Track	7	6
Etch	1	1

4.2 實驗方法

4.2.1 實驗方法(一)

首先由 SEM Profile check 圖 4-3 得知，平坦層(一) on SiN 厚度為 1.4um，平坦層(二) on R/G/B 厚度為 1.85um。由控片量測得知平坦層蝕刻率 for GC SiN recipe 為 3700 Å /min 和平坦層蝕刻率 for new create recipe 為 9200 Å /min。估計當 Hard Mask 用的平坦層(二)將被蝕刻損失 for ASH recipe 9200 Å /min * 100sec= 15300 Å，加上平坦層(二) 將被蝕刻損失 for

GC SiN recipe = 3700 Å。平坦層(二) 被蝕刻厚度 15300 Å + 3700 Å = 18000

Å 且平坦層(二)將只剩厚度 500 Å 在 RGB 上。

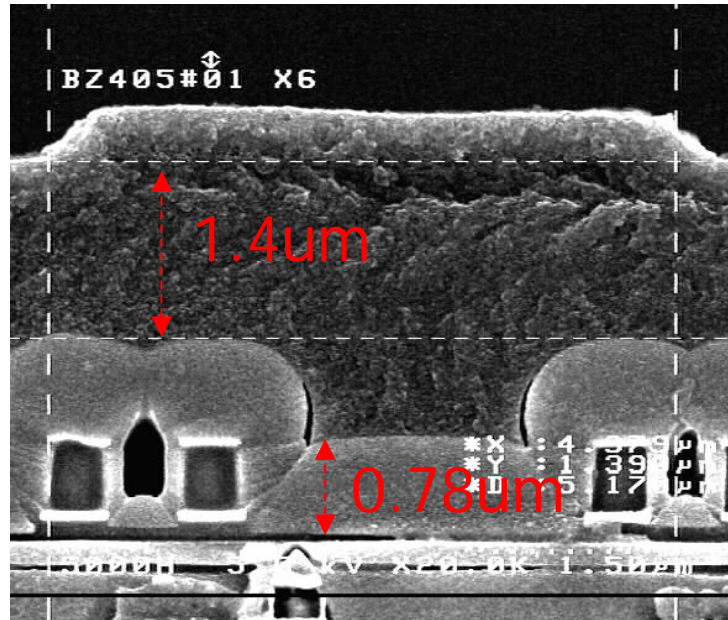


圖 4-3 彩色濾光片平坦層(一)和 GC SiN 厚度剖面圖

4.2.2 實驗方法(一)結果與討論

由 SEM Profile 和 OM check 得知，彩色濾光片光阻 RGB damaged，但是 Bond Pad 是有被蝕刻乾淨的。

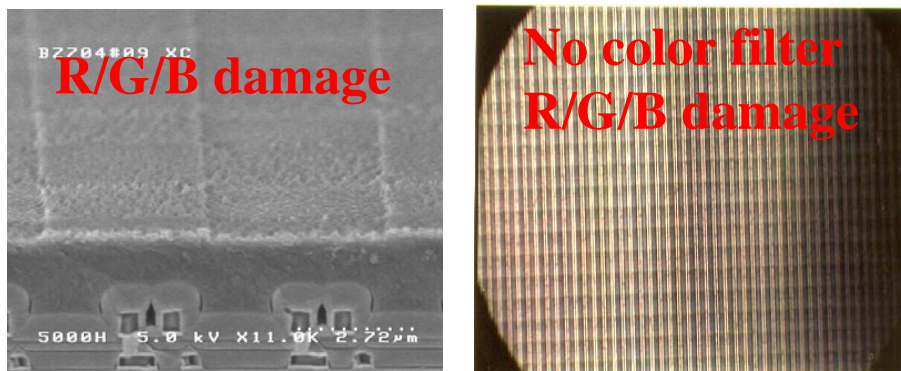


圖 4-4 彩色濾光片 RGB 被過度蝕刻圖

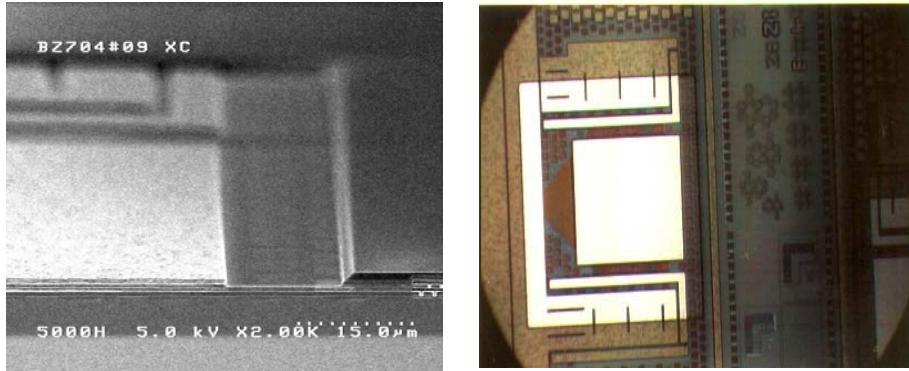
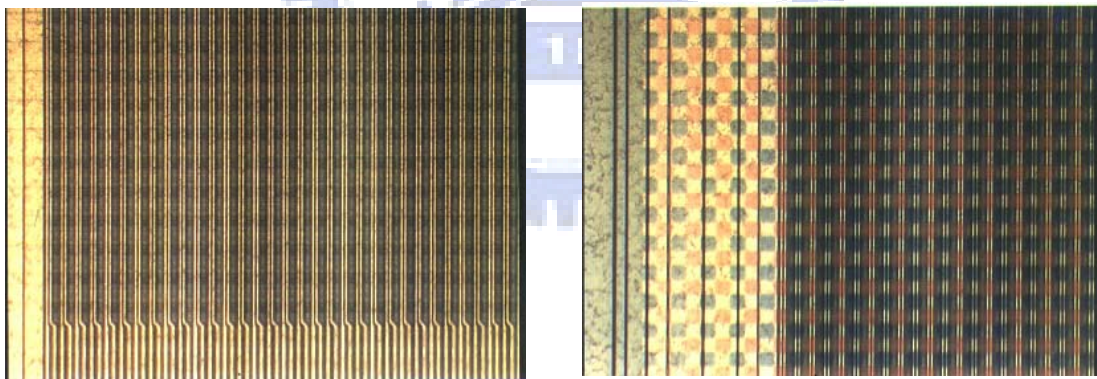


圖 4-5 Bond Pad 蝕刻乾淨未殘留圖

由上述結果得知平坦層(二)當 Hard Mask 抵擋 Bond Pad 蝕刻(平坦層(一)加上 SiN)的厚度是不夠的，由 spin curve 找出 600rpm(2.2~2.3um)當成平坦層(二)的厚度，增加抵擋 Bond Pad 蝕刻的能力。並再次的蝕刻一遍。



Wafer center no R/G/B

Wafer edge R/G/B remain a little

圖 4-6 平坦層(二)膜厚增加後彩色濾光片 RGB 被過度蝕刻圖

由圖 4-6 顯示增加平坦層(二)膜厚至 2.3um 後，彩色濾光片光阻 RGB 依然被過度蝕刻。以上的資料顯示舊型的 Etch(Ash) chamber 的蝕刻率和均

勻性是非常差的。更換 Etch(Ash) chamber 和針對 Wafer Center/Edge 蝕刻速率的差異調整機台參數，並對黃光塗佈機台再次做 spin curve 的確認是目前及須做的。

4.3 實驗方法(二)

4.3.1 調整機台和參數

首先更換新型的 Etch(Ash)chamber，並確認塗佈機台 spin curve 後調整平坦層(一)膜厚由 1.4um 至 0.9um(減少蝕刻的時間)，平坦層(二)膜厚至 1.8um 由 2.3um(增加蝕刻的極限)。再針對蝕刻做時間的 Split : 1. Etch(Ash) 80sec + Etch SiN recipe。2. Etch(Ash) 60sec + Etch SiN recipe。

4.3.2 實驗方法(二)結果與討論

由圖 4-7 和圖 4-8 結果顯示調整平坦層(一)和平坦層(二)膜厚之後，Split1 的彩色濾光片光阻 RGB 是沒有問題的，但是 Bond Pad 是沒有打開的，從 OM 的圖可以清楚的看見 Si₃N₄ 的殘留。而 Split2 的彩色濾光片光阻不論是晶片的中央 RGB 光阻是被過度蝕刻的，但是 Bond Pad 是有打開並且乾淨沒有問題的。由實驗(二)的結果發現，蝕刻速率與均勻性是非常不穩定的。由於半導體廠從未有人針對 Ash chamber 的蝕刻率與均勻性做過探討，接下來將針對 Ash chamber 的蝕刻率與均勻性做一些實驗，以確保 New Color Filter flow 是可以被實現的。

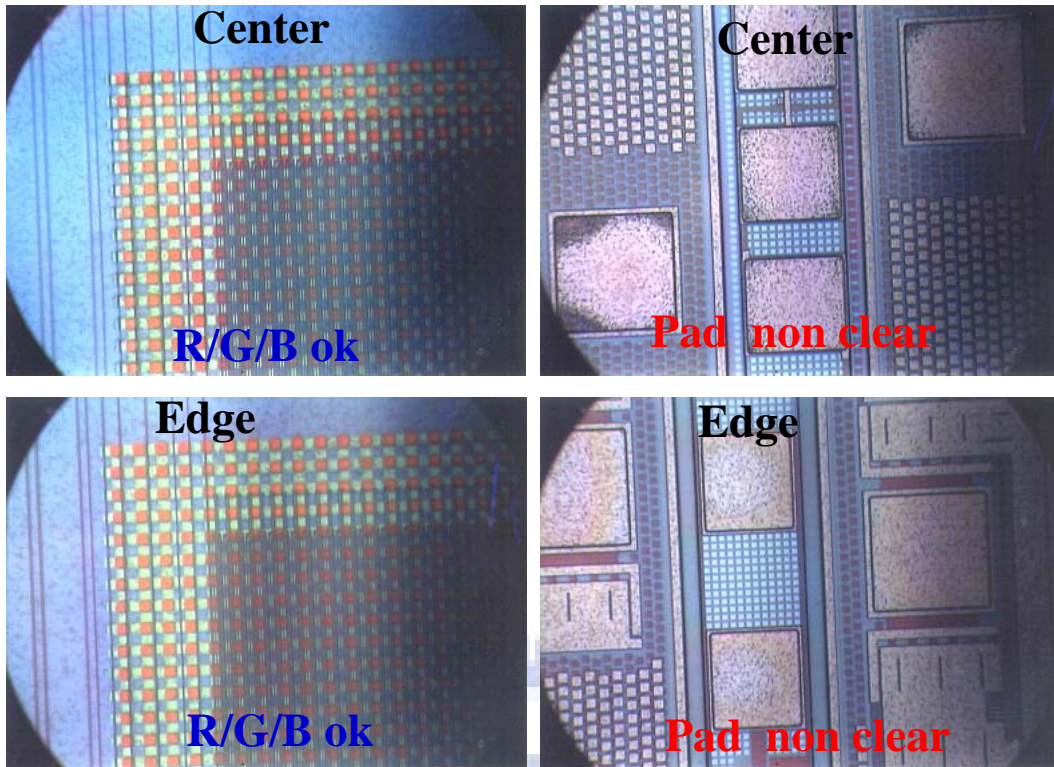


圖 4- 7 Etch(Ash) 60sec+ Etch SiN recipe 示意圖

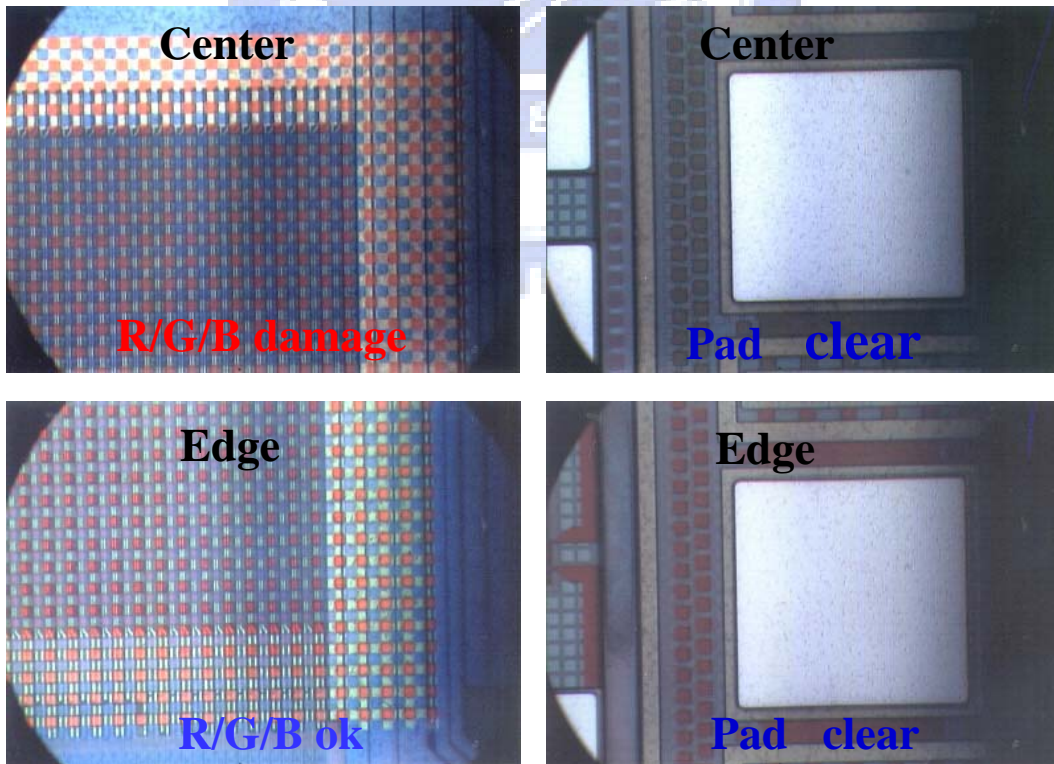


圖 4- 8 Etch(Ash) 80sec+ Etch SiN recipe 示意圖

4.4 Etch(Ash) chamber 特性探討

4.4.1 Canon Ash chamber 基本設定

表 4-2 是 Canon Ash chamber 的原始基本設定，從控片上測得的蝕刻速率為 5577 Å /min 和均勻性為 15.71%。

表 4-2 Canon Ash chamber 基本設定

Chamber Temp	100C
Gas	O ₂ =350sccm
Time	60sec
Power	600W
Pressure	0.6torr

4.4.2 Ash chamber 均勻性探討

首先是 Power split，由表 4-3 和圖 4-9 得知 power 不管是增大或縮小對均勻性都沒有幫助，三者的均勻性都落在 13%~15% 之間。

表 4-3 Chamber power split 設定

Power(W)	400	600(origin)	800
Ash rate(A/min)	6444	5577	8736
U%	13.46	15.71	14.87

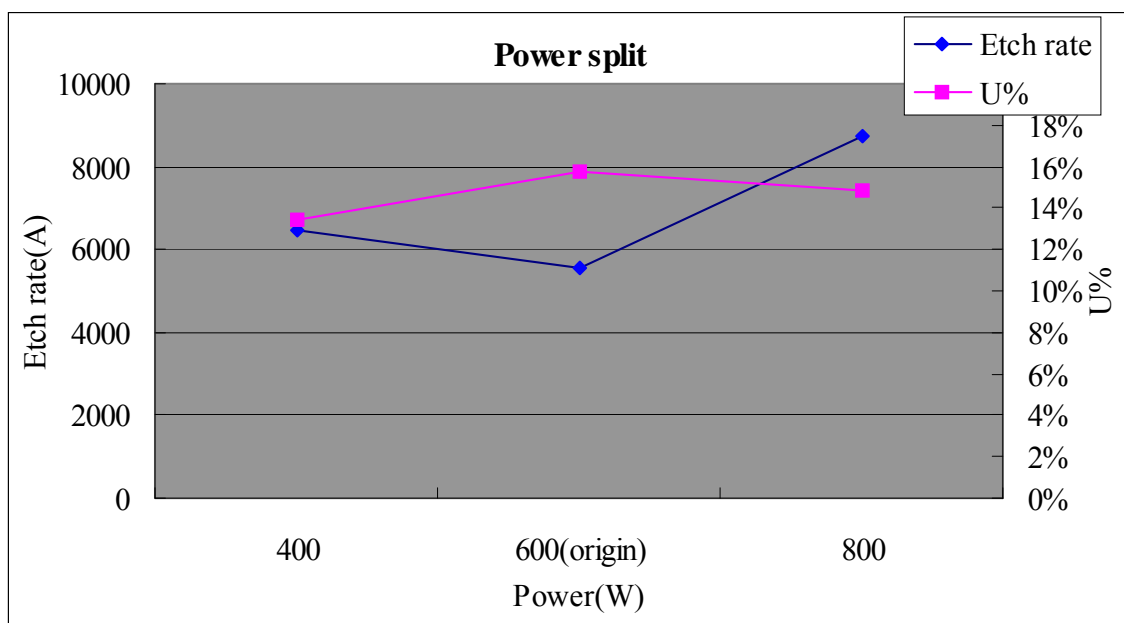


圖 4-9 Chamber power split 結果

接下來是 Temperature split，由表 4-4 和圖 4-10 得知 Temperature 增大對均勻性都沒有幫助，均勻性落在 20%。但是由結果顯示，提高 chamber temperature 蝕刻率明顯的增加，由 5577 Å /min 增加至 16517 Å /min。

表 4-4 Chamber power split 設定

Chamber Temp ©	100(origin)	200
Ash rate (Å/min)	5577	16517
U%	15.71%	20.82%

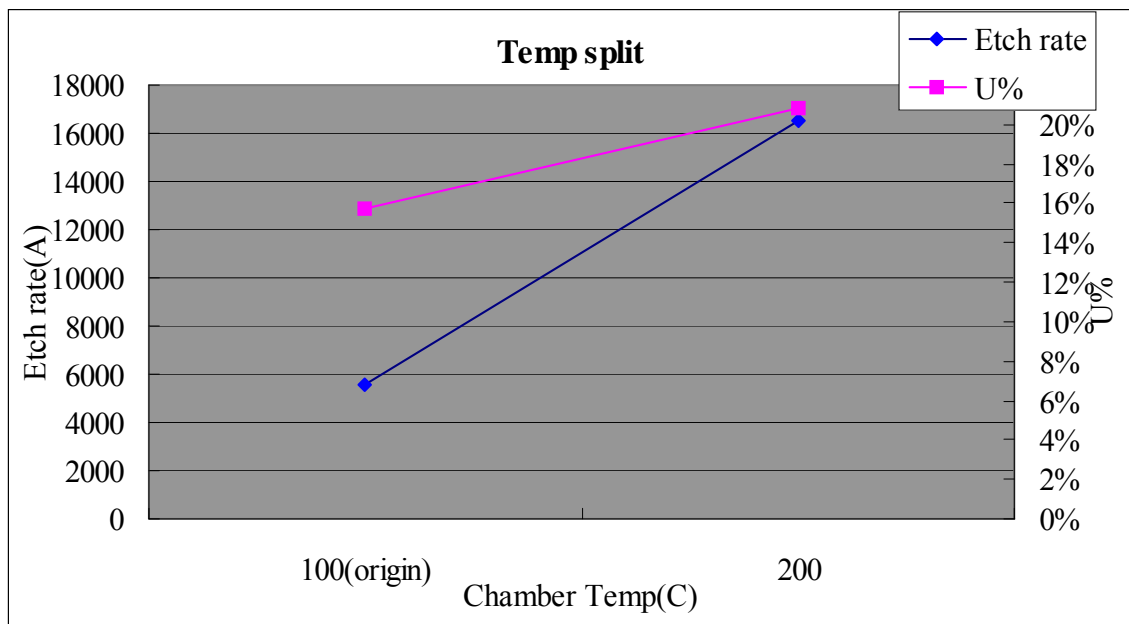


圖 4- 10 Chamber temperature split 結果

接下來是 Pressure split，由表 4-5 和圖 4-11 得知 Pressure 增大對均勻性沒有幫助，均勻性為 13%。但是從縮小 Pressure 來看均勻性確降低至 5% 左右，此結果對我們的實驗極有幫助。

表 4- 5 Chamber pressure split 設定

Pressure(torr)	0.4	0.6(origin)	0.8
Ash rate (A/min)	9986	5577	9041
U%	4.86%	15.71%	13.04%

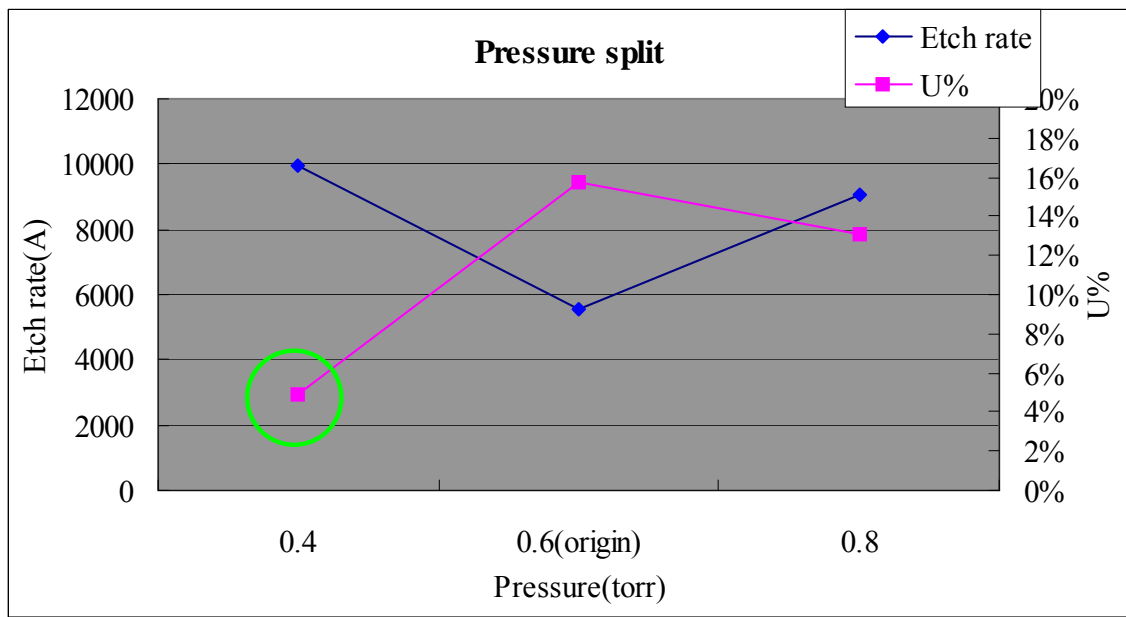


圖 4- 11 Chamber pressure split 結果

接下來是 Gas split，由表 4-6 和圖 4-12 得知 Gas 不管是增大或縮小對均勻性都沒有幫助，三者的均勻性都落在 14%~15% 之間。

表 4- 6 Chamber gas split 設定

Gas(sccm)	250	300(origin)	450
Ash rate(A/min)	7328	5577	6528
U%	14.14	15.71	15.67

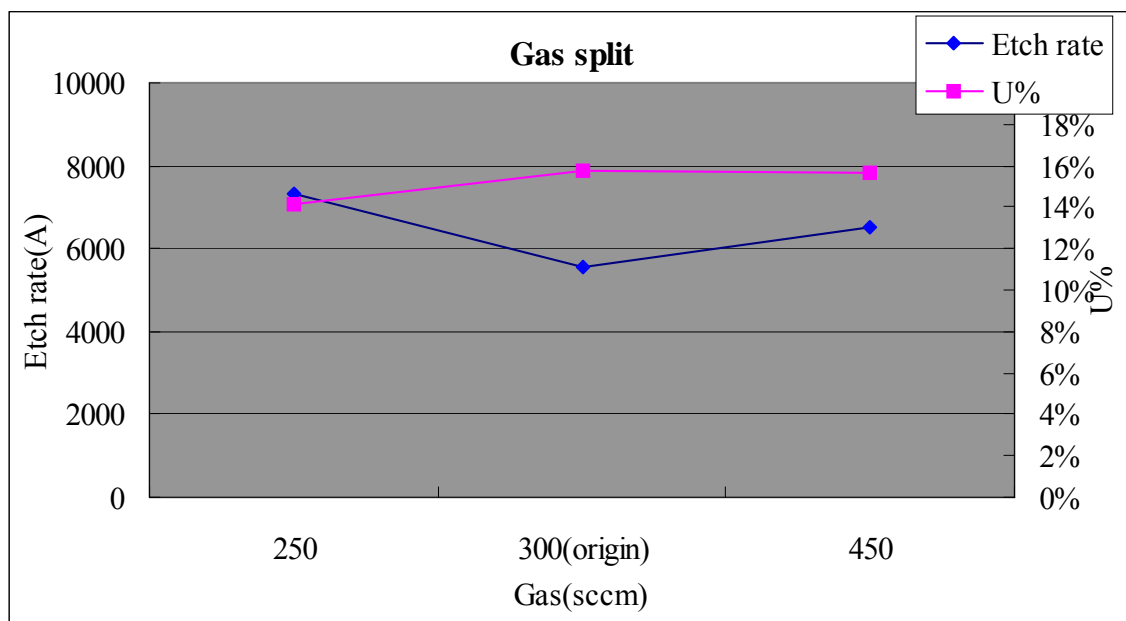


圖 4-12 Chamber gas split 結果

由以上的結果得知，當壓力由 0.6torr 降低至 0.4torr 時，Ash chamber 的均勻性會由 15%降低至 4%左右。這結果對我們的實驗極有幫助，因為之前 New color filter flow 就是因為蝕刻的均勻性不好的關係而造成停擺。下表 4-7 和圖 4-13 是將壓力由 0.6torr 降低至 0.4torr，同時測得 3 片晶片的資料。

表 4-7 降低 Chamber pressure 至 0.4torr 測得 3 片晶片資料

Pressure=0.4 torr	Run1	Run2	Run3
Ash rate (Å/min)	9986	5415	4225
U%	4.86%	6.70%	2.36%

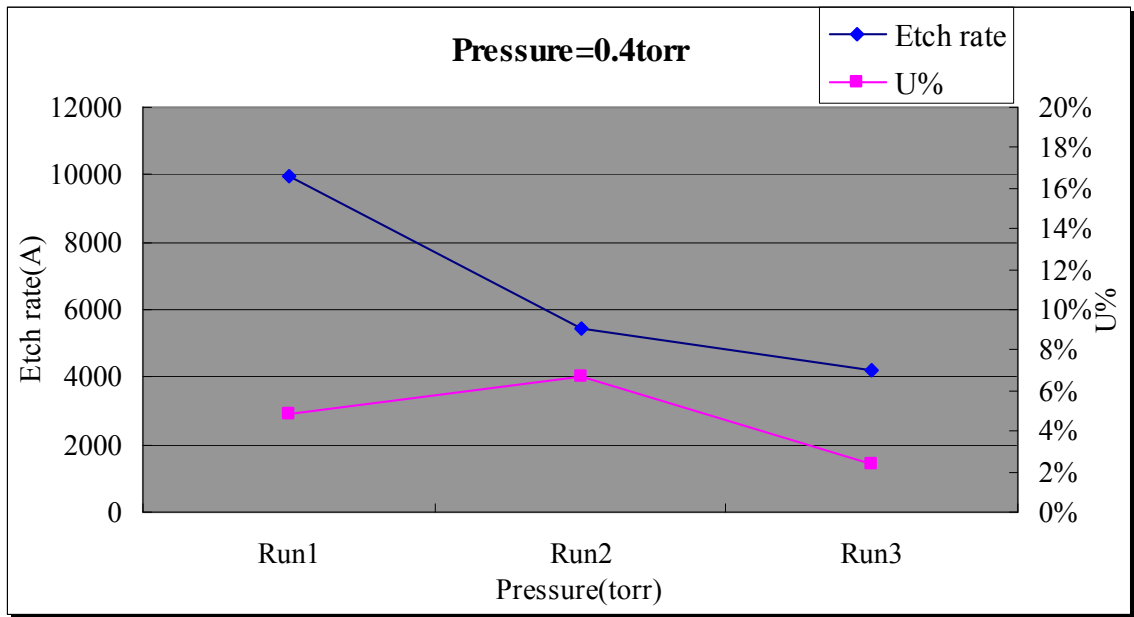


圖 4-13 降低 Chamber pressure 至 0.4torr 測得 3 片晶片結果

由圖 4-13 結果來看，三片晶片的均勻性皆相當好，約落在 5% 左右。但是其中有一片晶片的蝕刻率落在 10000 Å，晶片跟晶片之間的蝕刻率落差頗大。

4.4.3 Ash chamber 蝕刻率探討

經過討論後將 2 批控片用 Ash chamber 蝕刻，再測得每一片的蝕刻率，發現如果當一批控片開始蝕刻之前，Ash chamber 有加上 clean recipe，第一片晶片的蝕刻率就會上升的很快如圖 4-13，約增加了 50% 的蝕刻率。由此資料得知當 chamber wall 非常乾淨時蝕刻率會上升的非常快。這對製程的穩定是沒有幫助的。

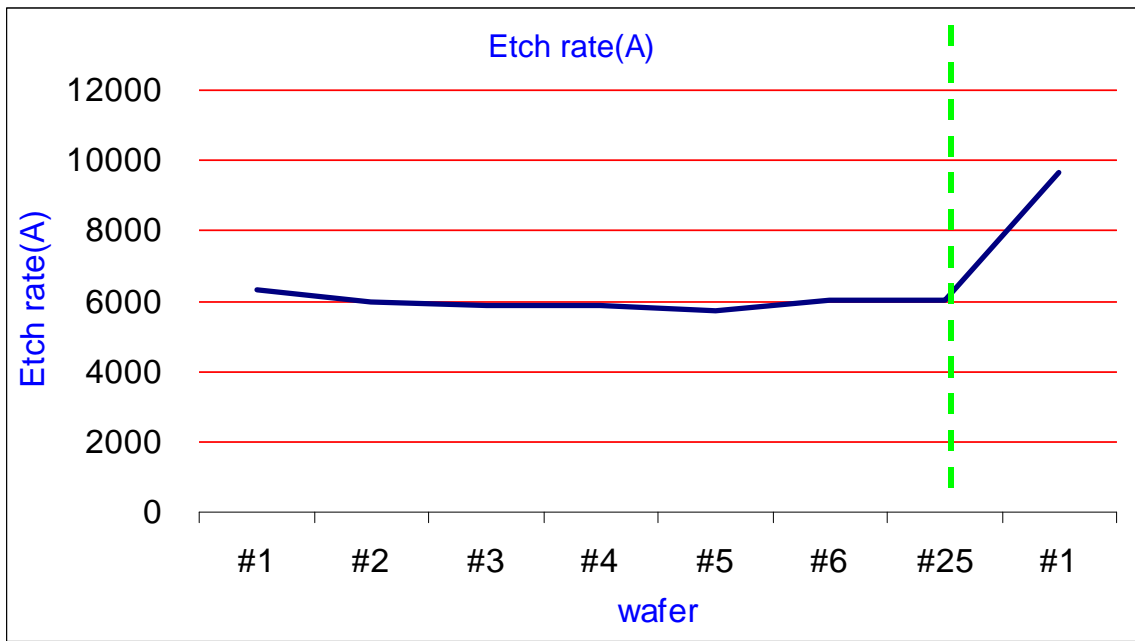


圖 4- 14 Ash chamber 加上 clean recipe 後的蝕刻結果

表 4-8 是 Ash recipe 與 clean recipe 的比較表，由表中的資料可以發現 clean recipe 的時間和 power 都比 Ash recipe 大的許多，而此兩項因素是影響蝕刻率的主因，判定 clean recipe 蝕刻率應該相當快。因此可以判定當 Ash chamber 使用過 clean recipe 後，剛開始的蝕刻率是非常快的。

表 4- 8 Ash recipe 和 Clean recipe 比較

	Ash recipe	clean recipe
Chamber Temp (°C)	100	100
Gas(sccm)	350	150
Time	60	150
Power(W)	600	1000
Pressure(torr)	0.4	0.6

因此建議將 clean recipe 置換成 Ash recipe，再蝕刻兩批晶片後量測蝕刻率和均勻性。圖 4-15 為 clean recipe 置換成 Ash recipe 的蝕刻結果。可以從量測資料發現，當 clean recipe 置換成 Ash recipe 後再蝕刻不管蝕刻率或是均勻性，前後兩批晶片都是相當與良好的。

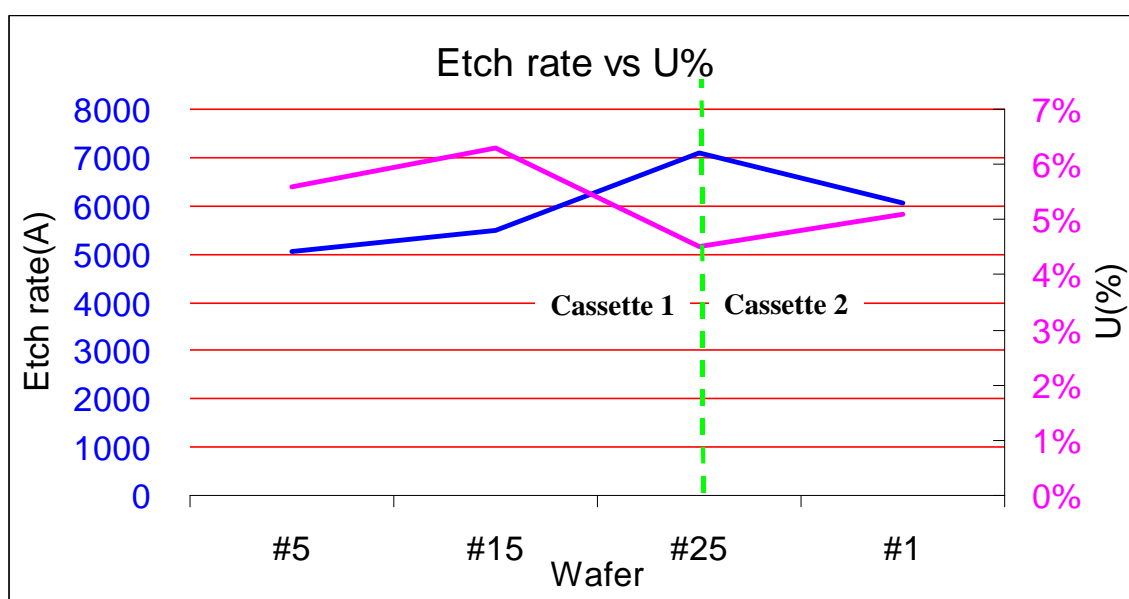


圖 4-15 Clean recipe 置換成 Ash recipe 的蝕刻結果

由於發現當每一批晶片第一片的蝕刻率都偏高不穩定的主因是因為 Chamber wall 太乾淨的原因所造成。因此決定當每一批晶片開始蝕刻之前先行 run10 片光阻控片，讓 chamber wall 充滿蝕刻後的 by product，使 chamber 達成一定的穩定性後再行蝕刻。圖 4-16 是蝕刻後的結果，發現當 run10 片光阻控片後再行蝕刻，前後兩批晶片的蝕刻率和均勻性都是相當穩定與良好的。

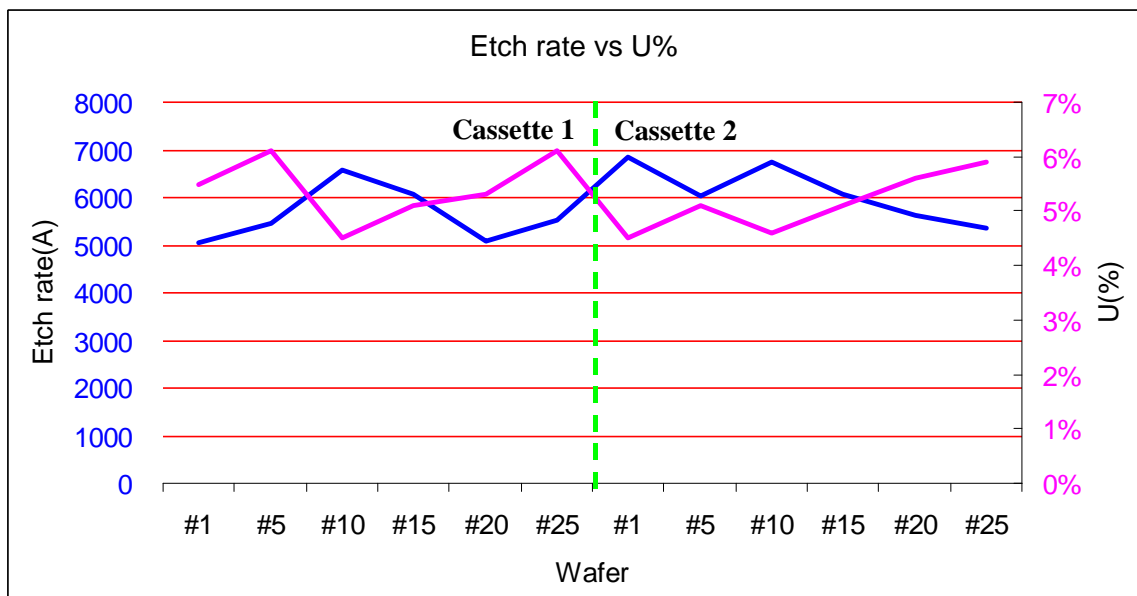


圖 4-16 Run10 片光阻控片後再蝕刻的結果

4.4.4 蝕刻最適條件組合

各因子最佳水準組合在一起即為實驗的最適條件，因此將(一)將 Ash chamber pressure 由 0.6 torr 降至 0.4 torr (二) 將 Ash clean recipe 置換成 on line recipe(三)蝕刻前先行 run10 片光阻控片。此三項所得到的最適蝕刻條件合併，以求得本實驗最適條件組合如表 4-9。

表 4-9 實驗最適條件組合

1	將Ash chamber pressure由0.6 torr 降至0.4 torr
2	將Ash clean recipe置換成on line recipe
3	蝕刻前先行run10片光阻控片

4.4.5 蝕刻最適條件原理探討

在乾式蝕刻中，隨著製程參數及電漿狀態的改變，可以區分為兩種極端的性質的蝕刻方式，即純物理性蝕刻與純化學反應性蝕刻。純物理性蝕刻可視為一種物理濺鍍(Sputter)方式，它是利用輝光放電，將氣體如 Ar，解離成帶正電的離子，再利用偏壓將離子加速，濺擊在被蝕刻物的表面，而將被蝕刻物質原子擊出。此過程乃完全利用物理上能量的轉移，故謂之物理性蝕刻。其特色為離子撞擊擁有很好的方向性，可獲得接近垂直的蝕刻輪廓。但缺點是由於離子是以撞擊的方式達到蝕刻的目的，因此光阻與待蝕刻材料兩者將同時遭受蝕刻，造成對遮罩物質的蝕刻選擇比變差，同時蝕刻終點必須精確掌控，因為以離子撞擊方式蝕刻對於底層物質的選擇比很低。且被擊出的物質往往非揮發性物質，而這些物質容易再度沉積至被蝕刻物薄膜的表面或側壁。加上蝕刻效率偏低，因此，以純物理性蝕刻方式在積體電路製造過程中很少被用到。

純化學反應性蝕刻，則是利用電漿產生化學活性極強的原(分)子團，此原(分)子團擴散至待蝕刻物質的表面，並與待蝕刻物質反應產生揮發性之反應生成物，並被真空設備抽離反應腔。因此種反應完全利用化學反應來達成，故謂之化學反應性蝕刻。此種蝕刻方式相近於濕式蝕刻，只是反應物及產物的狀態由液態改變為氣態，並利用電漿來促進蝕刻的速率。因此純化學反應性蝕刻擁有類似於濕式蝕刻的優點及缺點，即高選擇比及等向性

蝕刻。在半導體製程中純化學反應性蝕刻應用的情況通常為不需做圖形轉換的步驟，如光阻的去除等。一個僅基於化學反應機制的理想乾蝕刻過程可分為以下幾個步驟：1. 反應氣體進入腔體；2. 產生電漿形態之蝕刻物種，如離子及自由基(Radicals)；3. 蝕刻物種藉由擴散、碰撞或場力移至待蝕刻物表面並吸附於表面；4. 蝕刻物種停滯在待蝕刻物表面一段時間；5. 進行化學反應並產生揮發性之生成物；6. 生成物脫離表面；7. 脫離表面之生成物擴散至氣體中並排出。上述步驟中若其中一個停止發生，則整個反應將不再進行。而其中生成物脫離表面的過程最為重要，大部份的反應物種皆能與待蝕刻物表面產生快速的反應，但除非生成物有合理的蒸氣壓以致讓其脫離表面，否則反應將不會發生。綜觀而論，純物理性蝕刻，如離子束蝕刻(Ion Beam Etch)有兩大缺點：一為低選擇比，一為低蝕刻效率。而純化學反應蝕刻也有兩個缺點：一為等向性蝕刻，另一為無法應用至次微米的元件製程上，包含了線寬控制與均勻性等問題。

本論文利用了 Ash chamber 來將 Bond pad 打開的其中一道步驟，因此需要精準的控制 Ash chamber 的蝕刻率和均勻性，O₂ plasma 屬於純化學反應性蝕刻，由於 Ash chamber 特性與應用，一般半導體廠並不注重 Ash chamber 反應特性如蝕刻率和均勻性，因此探討 Ash chamber 特性也是本論文的另一個重點。

(一) Ash chamber 均勻性的探討: Ash 去光阻是純化學反應性蝕刻，是利用電漿產生化學活性極強的原(分)子團，此原(分)子團擴散至待蝕刻物質的表面，並與待蝕刻物質反應產生揮發性之反應生成物，並被真空設備抽離反腔。因此種反應完全利用化學反應來達成，故謂之化學反應性蝕刻。電漿蝕刻的蝕刻率主要由三項因子決定：中性原子和自由基濃度、離子濃度和離子能量，中性原子和自由基濃度控制反應速率，而離子能量控制非等向性蝕刻的程度，電漿的反應特性可以靠電壓的變化以及氣體壓力來控制。在降低壓力時，平均自由徑較長，電漿會分佈在反應室的各處，且因壓力降低時，離子的生成量會大幅減少，此時離子有很好的方向性因此蝕刻均勻性會變佳。本論文的實驗中，將 chamber 所有的參數都做了 split，包括溫度，氣體流量、power、壓力、發現將壓力往下調整由 0.6 torr 至 0.4 torr 後，晶片的蝕刻均勻性會從 15% 降至 2%~4%。並連續測試再現性，發現結果是一致的。這個對平坦層一的蝕刻是有幫助的，晶片的中央和邊緣將不會出現 under-etch / over-etch 同時存在得現象。在實驗結果確認時，利用 OM/SEM 同時去檢查 chip pixel, bond pad、還有週邊的部分，etch profile 都是沒有問題的。最後並利用實體完成的 CIS chip 去做光學上的測試，除了色彩方面沒有任何的問題，飽和度、色度、亮度也都相當均勻。論文中提到的 yellow strip 和 bond pad damage 的缺陷在實驗完成後也一併的解決此兩項會造成低良率的主要原因。

(二) Ash chamber 蝕刻率的探討: 當 chamber wall 充滿均勻且含碳的 polymer 時, chamber 內的 O₂ 會與 polymer 的碳結合, 因此會消耗氧分子。此時整體的蝕刻率會較乾淨的 chamber wall 來的慢。且因為使用控片暖機後, 整個 chamber condition 會較穩定, 因此蝕刻率也會相對的穩定。實驗中發現當每一批晶片第一片的蝕刻率都偏高不穩定的主因是因為 chamber wall 開始蝕刻前會有強烈的 clean recipe 將 chamber wall 蝕刻的非常乾淨, 因此當第一片晶片開始蝕刻時的蝕刻率都非常的快, 經過幾片的蝕刻, chamber wall 沉積了均勻的 polymer 後蝕刻率才會趨於穩定。因此決定當每一批晶片開始蝕刻之前先行暖機 10 片光阻控片, 讓 chamber wall 充滿蝕刻後的 by product, 使 chamber condition 達成一定的穩定性後再行蝕刻。在實驗結果確認時, 利用 OM/SEM 同時去檢查 chip pixel, bond pad、還有週邊的部分, 蝕刻率在同一批的晶片中的每一片都是沒有問題的。

4.5 確認實驗

依照表 4-9 最適條件組合進行確認實驗，本確認實驗將依此最適條件組合做實驗，並且將此最適條件組合之程式命名為 NEW-Recipe，然後再控片確認結果。圖 4-17 為 NEW-Recipe 確認實驗所得到的量測值，由量測值結果得到蝕刻率為 $5500 \text{ \AA} / \text{min}$ 與均勻性約 2~3%。另外在 SEM 照片來看，亦可明顯看出 NEW-Recipe 蝕刻完的 Profile 相當完整。根據以上兩項確認實驗結果，可證明 NEW-Recipe 為最適條件。

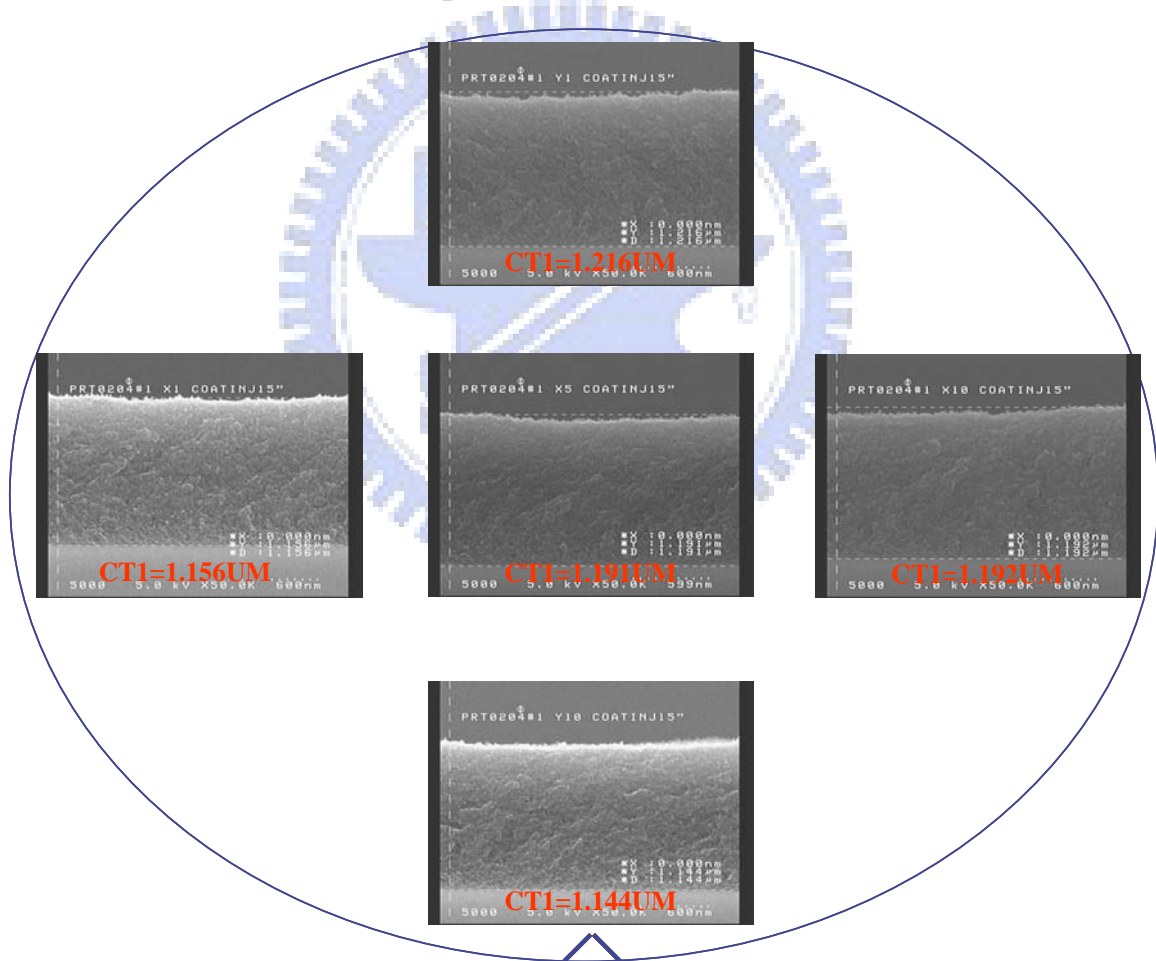


圖 4-17 New recipe 在控片蝕刻的結果

4.6 產品驗證

經由確認實驗所得到結果，可以證明 NEW-recipe 為最適條件組合，接下將利用 NEW-Recipe 做產品驗證。以 NEW-recipe100sec 加上 SiN etch recipe。取 25 片產品加以確認，最後並確認每一片晶片蝕刻的結果。蝕刻量測結果如圖 4-18 所示。由圖 4-18 可見晶片上、中、下、左、右每一區的 Bond Pad 都是乾淨的和彩色濾光片光阻都完整的保下來。再次確認的結果如圖 4-19。

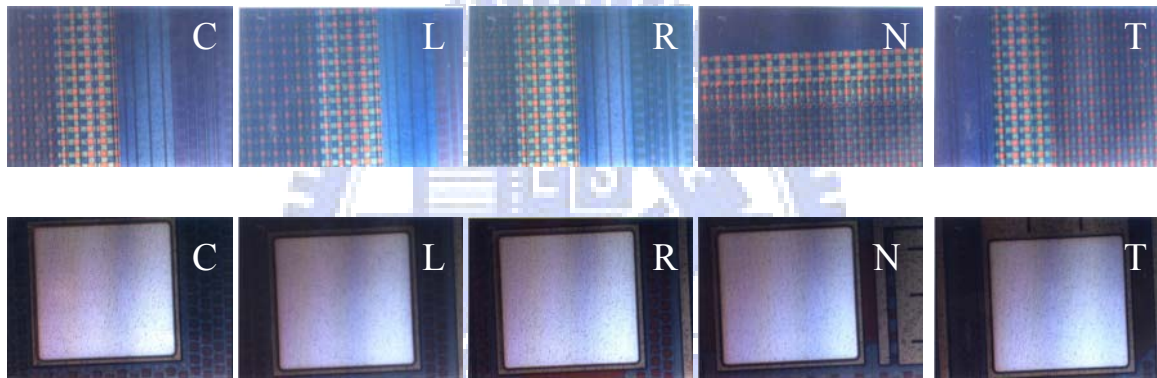


圖 4-18 產品驗證 NEW-Recipe 加上 SiN Etch Recipe 蝕刻結果

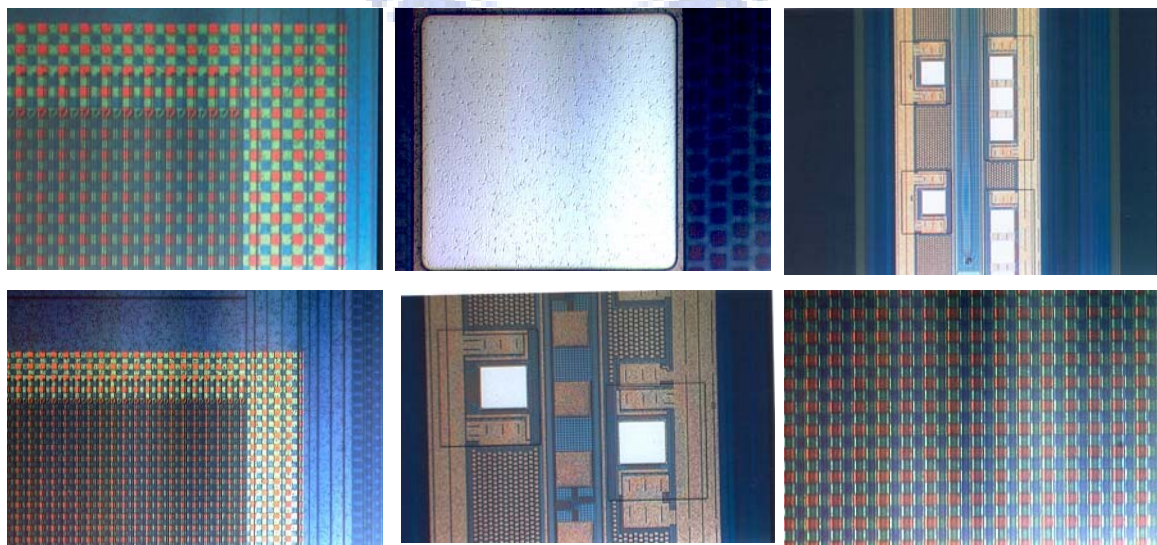


圖 4-19 產品驗證 NEW-Recipe 加上 SiN Etch Recipe 再次確認蝕刻結果

4.7 產品的光學驗證

經由實驗結果的彩色濾光片實際應用在 CMOS Image Sensor 上，並且透過光學鏡頭實際拍攝照片。圖 4-20 是拍攝彩色跟黑白照片在色版上，由於色版擁有國際認證的標準顏色，因此用完整的 CMOS Image Sensor 拍攝色版可以展現其對色彩的表現能力。



圖 4-20 拍攝彩色跟黑白照片於色版

圖 4-20是應用此次實驗生產的彩色濾光片應用在CMOS Image Sensor 上與半導體龍頭大廠所生產的彩色濾光片所作的比較圖 4-20，由圖可見不管從色飽和度、色調、或是色亮度來看。此次實驗結果的彩色濾光片並不遜色於半導體龍頭大廠所生產的彩色濾光片。由以上的結果得知，本研究經再確認後所選擇的最適條件組合，可以有效改善降低彩色濾光片的缺陷。我們將實驗所得最適條件應用到線上產品上，並與半導體龍頭大廠比較結果，如圖 4-21和圖 4-22所示，改善後的彩色濾光片，由圖中可以得知，完全符合新目標值的設定，而且改善效果相當顯著。



圖 4-21 實驗結果的彩色濾光片



圖 4-22 半導體龍頭大廠生產的彩色濾光片



第五章、結論

每個時代彩色濾光片的製程能力會隨著技術的演進而有所不同，在新製程開發階段，必須針對製程能力、晶圓廠的機台極限及客戶的需求，對每一個環節做驗證，建立不同的製程平台，以便提供給相同製程不同客戶的需求，一旦製程的平台建立好，後續任何的製程變更都會影響彩色濾光片的效能，進而影響整體 CMOS Image Sensor 的光學表現能力。半導體開發新製程時程緊迫，本實驗針對彩色濾光片產品製程上所面臨的任何問題，讓產品良率能夠快速提升。利用實驗規劃整個實驗流程，來解決半導體廠彩色濾光片的製程缺陷的問題，找出影響 CMOS Image Sensor 光學表現的重要因素，並選擇最佳的製程條件，也成功驗證在產品上，順利解決該半導體廠所遭遇的問題。

本研究的成果彙整如下：

1. 彩色濾光片之製程改善：利用改變製程來達到保護 Bond Pad 不受彩色濾光片光阻和顯影液的傷害，並解決了因製程而造成的光學缺陷。
2. 彩色濾光片製程成本改善：改變彩色濾光片之製程來減少光罩的數量及製程步驟而達到成本減少的支出，並成功移轉至量產模式。
3. 找出彩色濾光片蝕刻製程參數的最佳條件組合：其中 chamber 的壓力為影響蝕刻均勻性的重要因子；Chamber wall 殘留副產品的多寡則是影響 Ash(Etch) chamber 蝕刻率的重要因子。

上述方法都已成功驗證在現行彩色濾光片的生產線的產品上，而新製程也解決半導體廠彩色濾光片製程所衍生的缺陷問題。



參考文獻

- [1] M. J. Loinaz, K. J. Singh, A. J. Blanksby, D. A. Inglis, K. Azadet, and B. D. Ackland, "A 200-mV, 3.3-V, CMOS color camera IC producing 253x288 24-b video at 30 frames/s", IEEE Journal of Solid-State Circuits, 33(12), pp.2092-2103, 1998. ◦
- [2] H. S. Wong, "Technology and device scaling considerations for CMOS imagers", IEEE Trans. Electron Devices, 43(12), pp.2131-2142, 1996. ◦
- [3] A. J. Blanksby and M. J. Loinaz, "Performance analysis of a color CMOS photogate image sensor", IEEE Trans Electron Devices, 47(1), pp.55-64, 2000. ◦
- [4] H. Tian, B. Fowler and A. E. Gamal, "Analysis of temporal noise in CMOS photodiode active pixel sensor", IEEE Journal of Solid-state Circuits, 36(1). ◦
- [5] J. Adams, K. Parulski and K. Spaulding, "Color processing in digital cameras", IEEE MICRO, pp.29, 1998. ◦
- [6] J. P. Lavine, E. A. Trabka, B. C. Burkey, T. J. Tredwell, E. T. Nelson and C. Anagnostopoulos, "Steady-state photocarrier collection in silicon imaging devices", IEEE Trans Electron Devices, EDpp.92-101, 2001. 40(9), pp.1123-1134, 1983. ◦
- [7] J. E. Farrell, F. Xiao, P. Catrysse, and B. Wandell, "A simulation tool for evaluating digital camera image quality," in Proc. SPIE Electronic Imaging Conf., Santa Clara, CA, Jan. 2004, vol. 5294, pp. 124–131. ◦
- [8] P. Denyer, D. Renshaw, G. Wang, M. Lu, and S. Anderson, "On-chip CMOS sensors for VLSI imaging systems," in Proc. VLSI-91, 1991, pp. 157–166. ◦
- [9] B. Fowler, A. El Gamal, and D. X. D. Yang, "A CMOS area image sensor with pixel-level A/D conversion," in 1994 IEEE Int. Solid-State Circuits Tech. Dig., pp. 226–227. ◦

- [10] N. Stevanovic, M. Hillegrand, B.J. Hostica, and A. Teuner, “A CMOS image sensor for high speed imaging,” in ISSCC Tech. Dig., 2000, vol. 43, pp. 104–105 ◦
- [11] S. Kleinfelder, S.H. Lim, X.Q. Liu, and A. El Gamal, “A 10,000 frames/s 0.18 μm CMOS digital pixel sensor with pixel-level memory,” in ISSCC Tech. Dig., San Francisco, CA, 2001, pp. 88–89 ◦
- [12] P. Catrysse and B. Wandell, “Optical efficiency of image sensor pixels,” J. Opt. Soc. Amer. A, Opt. Image Sci., vol. 19, no. 8, pp. 1610–1620, 2002 ◦
- [13] S. Ohba, M. Nakai, H. Ando, S. Hanamura, S. Shimda, K. Satoh, K. Takahashi, M. Kubo, and T. Fujita, “MOS area sensor: Part II—Lownoise MOS area sensor with antiblooming photodiodes,” IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 15, pp.747–752, Aug. 1980 ◦
- [14] S. J. Decker, R. D. McGrath, K. Brehmer, and C. G. Sodini, “A 256×256 CMOS imaging array with wide dynamic range pixels and column parallel digital output,” IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 33, pp.2081–2091, Dec. 1998 ◦
- [15] 電子與材料雜誌第 11 期 ◦
- [16] 電子與材料雜誌第 12 期 ◦
- [17] 林美慧, 「淺溝槽隔離製程的缺陷研究」, 國立交通大學工學院專班半導體材料與製程設備學程碩士班碩士論文, 民國九十六年 ◦
- [18] 曾建儒, 「利用實驗設計法改善金屬導線片電阻值」, 國立交通大學工學院專班半導體材料與製程設備組碩士班碩士論文, 民國九十六年 ◦