

# 相轉移光罩技術

◆游秋山

台灣積體電路公司

光罩製造處 副處長

## 前言

在半導體製程技術要求日益精細的情況下，微影成像技術已主宰著半導體技術能否繼續往下縮小的重要角色；而光罩技術更是微影成像中不可或缺的重要一環。有先進的光罩技術可延長同一代微影機器設備的使用壽命，亦可節省製程成本。本文將提及的相轉移光罩製造技術即具有此特性。本文將依次討論相轉移光罩的概論及原理、製程技術及其在成像應用上的好處。

## 導論

在介紹相轉移光罩之前，讓我們先回顧一下兩個極為重要的光學參數 $n$ 跟 $K^{(1)}$ 。

### 1. $K$ = Extinction Coefficient

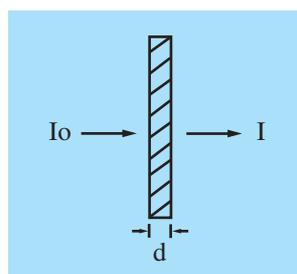
如圖一所示，當一光線通過一介質（厚度為 $d$ ）時其強度由 $I_0$ 減為 $I$ ，根據 Lamber's Law,  $I = I_0 \exp(-\alpha d)$ ，其中 $\alpha = 4\pi K/\lambda$ ； $\lambda$ 為此光之波長，而 $\alpha$ 即稱為此介質之吸收係數(Absorption Coefficient)。當一薄膜介質 $K = 0$ 即稱為透明薄膜；而 $K \neq 0$ 時，即稱為吸光薄膜。

### 2. $n$ = Refractive Index

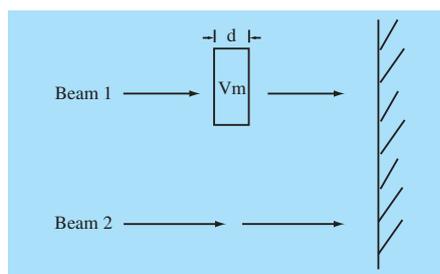
$n$ 折射率，即為光速在真空中與其在介質中之比( $n > 1$ )。

$n$ 及 $K$ 兩者皆為物質之物性，且皆為波長及物質成份之函數。

光程差，如圖二所示，若有二光束；其一通過一介質，光速為 $V_m$ 與另一不通過介質之光束( $V_0$ )相比，兩束光到達屏風之時間分別為 $t_1$ 與 $t_2$ ，則



▲圖一 光之強度改變



▲圖二 兩光束之光程差

	$n$	$k$
SiO <sub>2</sub>	1.47	0
SiN	2.09	0
$\alpha$ -Si	3.9	2.66

(在3650Å光波下)

▲圖三 薄膜之光學常數

$$\Delta t = d \left( \frac{1}{V_m} - \frac{1}{V_0} \right) = \frac{d}{C} (n_m - n_0)$$

就波動觀點言， $T = \frac{\lambda}{C}$

而其相位差為：

$$\delta = \frac{2\pi \Delta t}{T} = \frac{2\pi \Delta t \cdot C}{\lambda} = \frac{2\pi d}{\lambda} (n_m - n_0)$$

在空氣中  $n_0 = 1$

圖三列出幾種常見之薄膜的n及k值。理論上，這些材料皆可達到光之相轉移功效。但在實際生產應用上，除了此特性外，另外須考慮的特性有耐酸洗、耐鹼洗、耐曝光性、材料穩定性及成本等等。

相轉移光罩即利用此原理使有相轉移之光束與無相轉移之光束產生破壞性干涉，藉而提升解晰度，如圖四。

### 相轉移光罩之種類

在文獻(2)中，常見的相轉移光罩有很多種，如表一。

#### 1. Levenson Type

即在一般光罩上使用相轉移材料，使相鄰之透光區的光相位差為180°，藉以形成較好（較大）之光強度對比。

#### 2. Subresolution Type

在透光區之兩邊

各開一小區之透光區（無法在晶片上成像），使主像兩邊有二相位差為180°之透光區，藉以提高解晰度。

#### 3. Rim Shifter

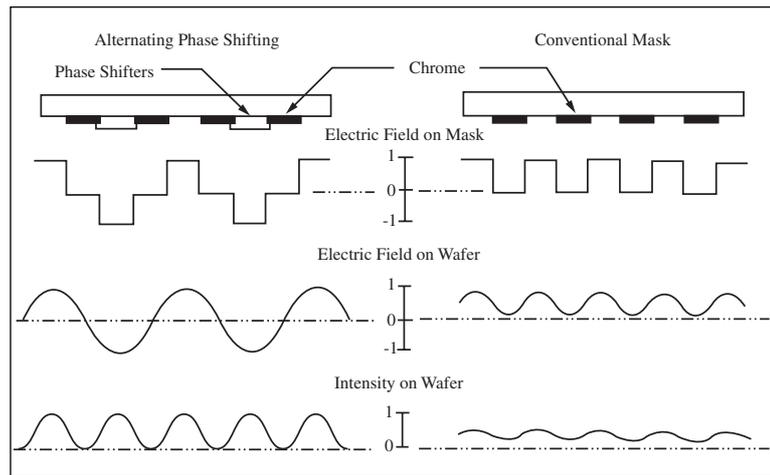
一般常用在接觸層(Contact Layer)，即在開孔之四邊有一區為相轉移材料，藉以形成較強烈之強度對比，即較好的解晰度。

#### 4. Attenuated Type

即將Type C之鉻薄膜全部去除，以低穿透度之相轉移材料(< 8%)形成所要之圖形。事實上，此相轉移材料之穿透度與所成形之強度對比(Intensity Contrast)有直接之關係。

#### 5. Unattenuated

即所使用相轉移材料之透光性極高，形成暗區或暗線的地方是兩束相位



▲圖四 相轉移光罩與普通光罩之成像結果

表一 各種相轉移光罩之比較

Phase-shift Masking Techniques						
Reticle type	A. Conventional	B. Levenson	C. Subresolution	D. Rim shifter	E Attenuated	F. Unattenuated
Cross section						
Electric field on reticle						
Electric field on wafer						
Intensity in wafer						
Also called		Alternating	Y Outrigger Y Auxiliary off assist	Y Edge emphasis Y Self-aligned	Y Self-aligned	Y Chromeless Y Shifter only

差為180°的交界面上。因此，在晶片上暗／明的頻率比在光罩上的要大。

### 常用相轉移光罩之製程技術

在文獻中有很多種相轉移光罩已被提出，但考量量產製造上的困難度及製造成本，僅有少數真正被採用在生產晶圓上。一般而言，相轉移光罩常被用來延伸現有曝光設備的壽命，例如使用I-line Stepper及I-line PSM以延後DUV Scanner須要的時間，以節省成本。

接觸窗一般是整套光罩中最先使用相轉移光罩(PSM, Phase-Shift Mask)的；常用型態有兩種，一為Rim-Type，另一為Attenuated Type。

#### 1. Rim-Type

一般製造此型光罩是將鉻膜及相轉移材料經由電子束成像及蝕刻一次而成。於第二次塗佈光阻及電子束成像，而將鉻膜往內推，使得鉻膜的開口比相轉移材料的開口要大，如圖五所示。而兩者之差距則由晶圓上微影成像的結果決定之。

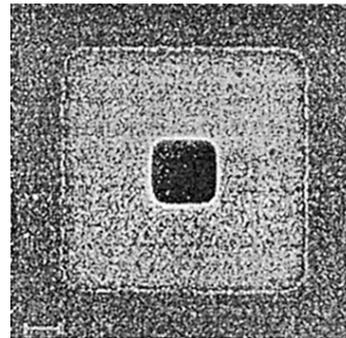
另一種製造方法則僅須要一次光阻塗佈如圖六所示。主要是在電子束曝光時連續曝光兩次，但只做一次顯影。之

後，鉻膜及相轉移材料則一路蝕刻到底。再用氧之電漿使光阻後退，再將鉻膜蝕刻，使之後退，形成鉻膜與相轉移材料之開口間隔。

此類型之相轉移光罩優點在於可引用較高穿透度之相轉移材料，藉以提高晶圓上微影成像之解晰度，但此技術有一極限，即設計準則(Design Rules)很小時（即兩個接觸靠很近時），其間之鉻膜常會剝落，以致在光罩製作過程中造成大量顆粒污染(Defects)及微影成像之失真。

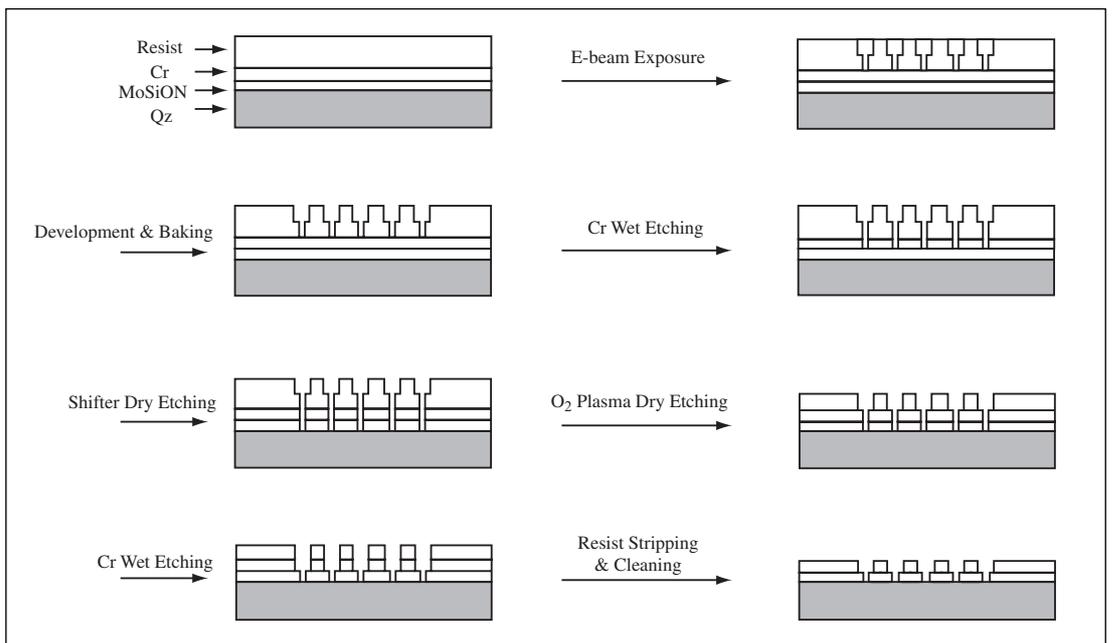
#### 2. Attenuated Type

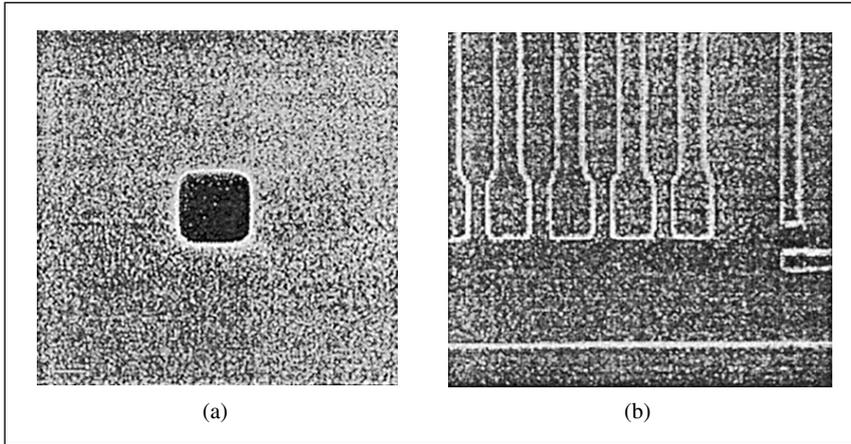
即使用一低光穿透度(6~8%)的相轉移材料，而無鉻膜環繞其週圍。因為沒有鉻膜，所以無法使用高光穿透率之材



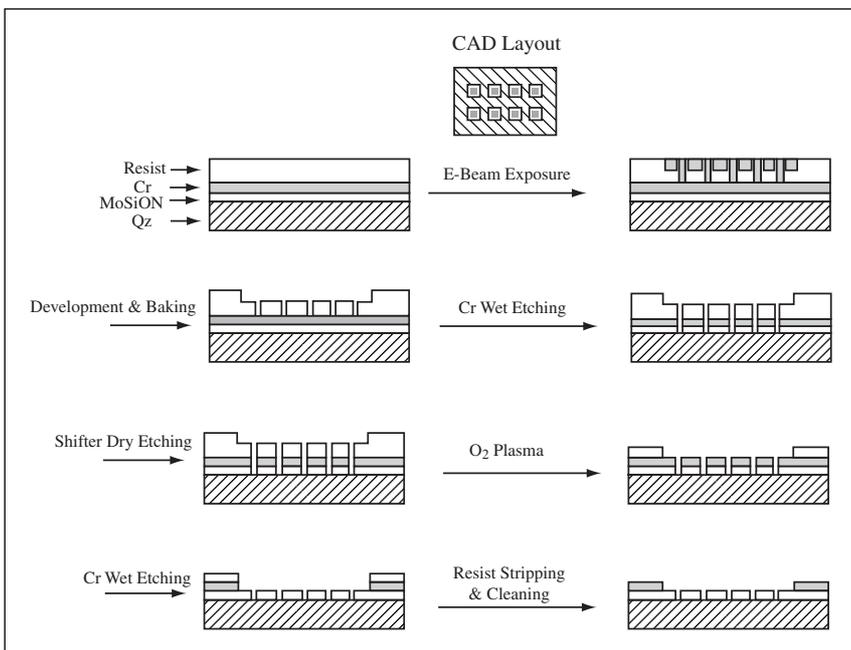
◀ 圖五  
Rim-APSM  
(0.8µm hole)

▶ 圖六 Process flow of Attenuated PSM





◀圖七  
(a)Attenuated PSM  
(0.8μm hole)  
(b)Attenuated PSM  
(0.4μm line)



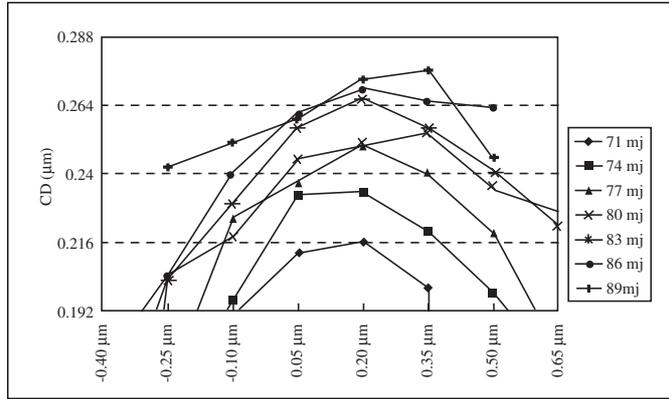
◀圖八  
Process flow for  
APSM Fabrication

料。此類型光罩的製造方法與Rim Type 極為相似。第一次光阻塗佈及電子束微影成像後，即一次蝕刻穿過鉻膜及相轉移材料。以第二次微影及蝕刻去除所有的鉻膜，僅留下成像區之邊緣(Image Border)，如圖七(a)。

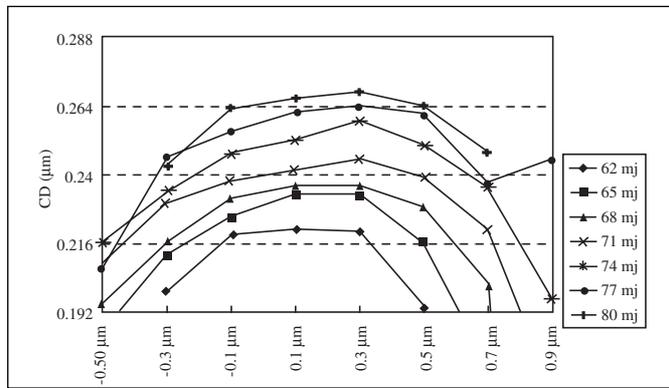
另一種作法，也是只須一次光阻塗佈及電子束之微影成像，如圖八所示<sup>(3, 4)</sup>。兩次曝光間隔，即一小光阻凸出物，可藉氧之電漿以去除之。此型態光罩較無設計準則上之考量，且亦可應用於閘層之圖型，如圖七(b)所示。

迄今，在相轉移光罩技術，以上述兩者最被廣泛採用。相轉移光罩除了前

述之製造外，後段的檢測及修補更是一門深具挑戰性的工作。常見之相轉移光罩的瑕疵有不透光及透光兩種(Opaque and Clear)。前者如鉻膜殘留(Cr Residues)；後者如小針孔(Pin Hole)。這些Defects是否須要修補，或要修補到什麼程度，甚至修補後可能留下之損傷(Damages)都需以晶圓上曝光(Wafer Prinlability)的結果予以判定。在修補過程中常有一技術瓶頸，即一般修補機器在修補缺口時，只能填上碳膜(Carbon Films)；而碳膜與相轉移材質之折射率與吸收係數不同，故要補上去之碳膜與原來相轉移材料之透光率及相位移角度是



▲圖九 一般0.24μm光罩之微影結果



▲圖十 0.26μm Attenuated相轉移光罩之微影成像結果

不可能相等的。是故，在補缺角時結果是否完美，須以模擬軟體(Aerial Image Simulation)或晶圓曝光結果加以佐證。

Levenson PSM最近在業界引起一番討論熱潮，可用或不可用？要用時，應用在那一代的技術？時有軟體業者提倡以248nm曝光機器和Levenson PSM，可取代193nm曝光機器。但據實而論，因為此技術雖然可以將248nm技術延伸至0.13μm，但後段製程之檢測和修補似乎至今仍無法配合。尤其是，迄今沒有檢測機器可達到10或20度的相位差瑕疵；亦沒有機器可在石英板做適當之修補。更可憂的是沒有機器廠商把這些相關技術列入未來一、兩年內之發展重點。所以Levenson PSM，迄今，在業界還是停留在熱烈討論當中。

## 微影成像結果

在晶圓的微影成像技術中，相轉移光罩常被用來增加製程能力或延伸微影機器設備的壽命。如圖九所示，以一般Binary Mask（僅有銘膜在石英上）用248 nm之Scanner，將0.22 μm之接觸窗曝在晶圓上之製程寬度(Process Latitude)或DOF（景深）遠比圖十之Attenuated相轉移光罩小很多。就整體微影成像從晶圓角度來看，當然是以用相轉移光罩較為便宜，尤其是對每片光罩之晶圓產量很大時。

## 結論

如前所言，相轉移光罩技術是用可被用來增加微影製程能力或延長現有機器設備使用年限的方法之一。一般以接觸窗用得最多，迄今全世界相轉移光罩用量大概只有一般光罩(Binary Mask)

的1%。但隨著技術的提升，及先進微影設備的可能來不及提供，相信相轉移光罩技術之普遍性會慢慢增加。而且，其使用範圍可能從接觸窗開始擴展至閘層及其它，但相轉移光罩技術之困難度比一般光罩高，因而造價高且良率低，不過相信在193 nm微影機器來臨之前，光轉移光罩將扮演舉足輕重的角色。

## 參考資料

1. C.S. Yoo, "tsmc, semiconductor processing," June 1990.
2. Pieter Burggraaf, 42. Feb. 1992 "Semiconductor International".
3. S.D. Tzu, et. al., US Patent: 5783337. 1998.
4. S.D. Tzu and C.S. Yoo, et al., P. 77, "Digest of papers photomask Japan '99".