

先進光罩製作技術的挑戰

◆陳碧灣

臺灣光罩公司

總經理

摘要

因應現階段積體電路快速微細化的腳步，並面對光罩激影設備廠商無法適時開發出對應現階段光源需求之生產工具，光罩製作必須在諸多限制下，以PSM、OPC等特殊技術，完成客戶對先進光罩之需求，因而展開光罩技術一連串的挑战。

關鍵詞

相位移光罩(Phase Shift Mask; PSM)、光學近接效應修正(Optical Proximity Correction; OPC)、傳統〔鉻與玻璃形成之(Chrome on Glass; COG)〕光罩、化學〔式〕增強型光阻(Cheical Amplified Resist; CAR)

簡介

積體電路的發展近年來非常快速，微小化上之量產技術已達 $0.18\mu\text{m}$ ，而各大廠更是使出渾身解數進行 $0.13\mu\text{m}$ 的量產準備及 $0.10\mu\text{m}$ 的開發。相對的，光罩在技術上也隨著積體電路微小化，被要求在傳統的COG(Chrome on Glass)光罩上，加入了新的挑戰，如OPC(Optical Proximity Correction)光罩、PSM(Phase Shift Mask)光罩等，使整個光罩製作的環

境變得更複雜。

前言

圖一為製作完成的光罩側面圖，一片光罩的材料分成三大部份，分別為Substrate、Pattern Layer與Pellicle。對於各材料的內容，請參考表一。

圖二為光罩在積體電路廠的應用。圖示光罩上的Pattern Layer圖形經曝光機的鏡頭印製在積體電路廠的晶片上面。

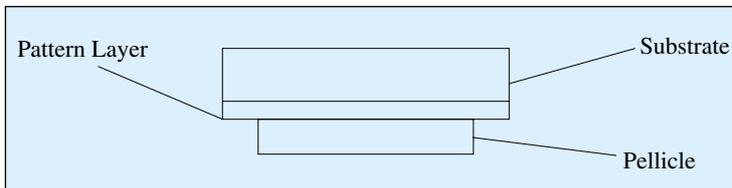
表一 光罩材料三大部份的各自內容

Mask Type	Substrate		Pattern Layer		Pellicle	
	Material	Size	Material	Thickness	Material	Thickness
COG	QZ	6"x6"x0.25"	Chrome	1100Å~700Å	(I-Line) Nitrocellulose or (DUV) Fluoropolymer	1.4µm 1.2µm/ 0.6µm
OPC	QZ	6"x6"x0.25"	Chrome	1100Å~700Å	(DUV) Fluoropolymer	1.2µm/ 0.6µm
PSM	QZ	6"x6"x0.25"	MoSi*	~3000Å	(DUV) Fluoropolymer	1.2µm/ 0.6µm

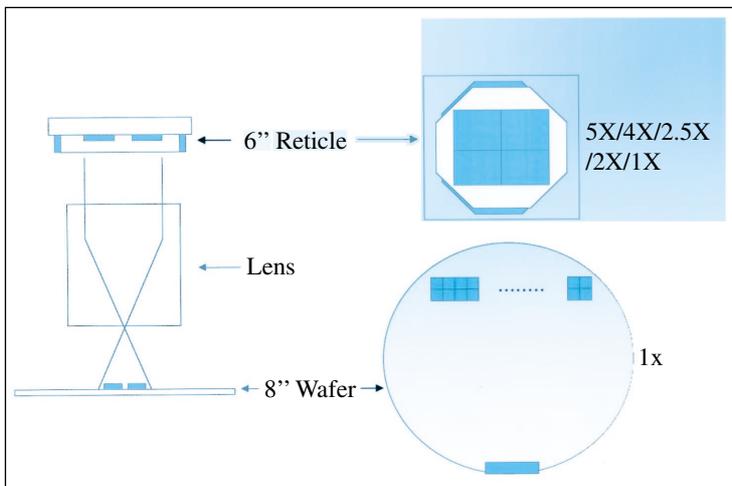
*MoSi係最通用(popular)之PSM材質，其它尚有Chrome Based、Quartz等PSM材質。

表二 不同形式的光罩在曝光機技術層次上的應用

Mask Type	DUV (0.248µm機)	193 (0.193µm機)
COG	0.25µm	0.18µm
OPC	0.18µm~ 0.15µm	0.13µm
PSM	0.18µm~ 0.13µm	0.13µm~ 0.10µm



▲圖一 光罩側面圖



▲圖二 光罩在積體電路廠的應用

在先進的曝光機上，目前已成熟者為光源波長0.248µm的 DUV機台，及即將於明後年大量出貨的光源波長為0.193µm的193機台。表二說明不同形式的光罩在曝光機技術層次上的應用。

傳統的COG光罩在積體電路量產應用中，大致上可以說其最小的解析能力約等於曝光機上所使用的光源之波長，而OPC及PSM的應用就是想要更進一步能解析比光源波長還要小的線條。也就是因為積體電路技術的要求超過了傳統曝光機微影的能力，因而促使光罩製作挑戰愈發艱鉅。以下分別就光罩製作上的關鍵步驟，依Data、Writing & Process、Inspection、Repair及Pellicle說明。

一、Data

OPC(Optical Proximity Correction)的目的可以圖三的(a)，(b)分別說明。圖三(a)為電路的設計圖，設計者希望在晶片上的圖形與圖三(a)的設計圖一樣，但由於受曝光機光學的限制，設計圖必須要在製作光罩前進行修正處理，如圖三(b)

般方可達成原設計圖 (圖三(a)) 的目的，從這二張圖各位就可瞭解到，由於 OPC 技術的使用，使原來設計圖變得更複雜、更微小化，以目前TMC的經驗，OPC的光罩片資料量可達50GB以上，故在光罩資料處理上，由於OPC的引進，資料膨漲了約10 -20倍。

二、曝寫及製程(Writing & Process)

Writer分兩種型式，一種為電子束，另一種為雷射光束。

Writer的Writing Time，由於設計圖形縮小，從0.25 μm 到0.18 μm ，從0.18 μm 到0.13 μm ，不但Writing的時間加長，而且精準度的要求更高，再加上OPC的圖形(一般OPC的圖形約為原設計圖形大小的1/3~1/5)，Writing的時間更加長，以目前0.18 μm /0.13 μm 的OPC光罩，在TMC就曾有需要大於48小時的Writing時間，才能將所有的圖形寫完在一片Substrate上面。而在這裏又產生一個經濟上的問題，目前的Writer在0.13 μm 的Level上每部購價都要超過美金一千萬元，甚至於含有0.1 μm 能力的Writer已經要到美金二千萬元了。

表三為Critical Layer在0.13 μm 及目前最成熟的0.25 μm 在Writer上的Writing比較，如果再加上在表三的Cost Factor未考慮的良率因素，大家就可以瞭解到，為何0.13 μm 的光罩成本特別的高了。

製程的技術除了因技術進步而縮小線條，而且還要更加微細化外，OPC的圖形也成為製程解析的一大重要因素，顯影技術因而從傳統的顯影技術轉到需要開始使用CAR(Chemical Amplified Resist)的化學加強性光阻技術，而在蝕刻(Etching)方面也從傳統的Wet Etching轉到Dry Etching技術。

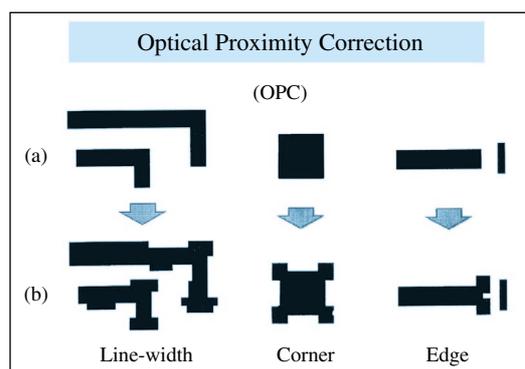
表三 Critical Layer在0.13 μm 、0.25 μm 在Writer上的Writing比較

Technology	Writer Cost	Writing Time	Normalized Cost Factor
0.25 μm	USD6M*	3 hrs	1X
0.13 μm	USD16M	24 hrs	20X

*M:Million.

傳統的光罩廠皆以Wet Etching處理Chrome的Pattern Layer，如今變成要以Dry Etching的方式來處理，且不僅要處理

Chrome，還要處理PSM光罩的MoSi層及Quartz層，複雜度的增加，不言可喻。



▲圖三 (a)為電路設計圖；(b)為將(a)修正後的圖

三、檢驗(Inspection)

何以得知Process出來的光罩為零缺點(Defect Free)? 只有靠檢驗的技術。Pattern Layer的圖形越複雜，圖形密度越高，檢驗的困難度就增多，再加上OPC的複雜圖形，使目前在檢驗的技術上已落後先進晶片的規格要求，比如OPC的圖形目前尚無定量的檢驗；有些檢查到的異物，目前尚無法分辨是否對於晶片曝光有影響；檢驗機台所用的光源仍然落後於晶片曝光機的光源一個世代等。目前在0.248 μm 光源的曝光機上使用的光罩仍然是用0.365 μm 光源的檢驗機台檢驗的。因此在檢驗機上，除了檢驗機的解析度(Pixel)要能解析最小的OPC圖形外，最重要的就是如何使用軟體模擬的方式，在光罩廠出貨前就可以分析所檢查到的異物，在晶片曝光機上的實質的影響。各

大檢驗設備的廠商無不卯足勁發展未來的Tool上加上缺點分析的能力。而此能力也就是各晶片廠的製程能力。另外，也引發了如何在保護各晶片廠的智財權下進行檢驗的課題。在過去數年來對缺點檢驗分析上最具代表性的是AIMS (Aerial Image Measurement System)，它可以依據晶片曝光機的設定參數，於光罩上的圖形（包括缺點圖形）模擬出曝於晶片上的物理特性。此一AIMS系統唯一的問題是僅供工程用，目前無法大量使用在每一個檢查到的缺點上。

四、修補(Repair)

有缺點之光罩可透過修補的方式去除缺點。尤其以目前OPC的光罩而言，如果不能修補而重寫，則不僅耗時，而且尚無把握可製作出一無缺點之光罩。因此光罩的Repair能力更為重要了。Repair的技術，其準確度必需要與Writer同級，而且在Repair的過程中，不能再引入其它新的缺點。目前在Repair的技術上分為兩大方向：FIB (Focus Ion Beam)及Laser Beam。兩種技術都有不同程度受到最小線寬的限制，而且都無法有效的修補OPC的缺點，一般來講，現在光罩Repair的技術約落後晶片技術要求兩個世代，這也是造成目前光罩的交貨速度從傳統的4~5天，變成4~5週的一個最主要的原因。對於提供Repair Tool的設備廠家，除了在精確度要以 $\pm 15\text{nm}$ 為目標外，如何降低在Repair過程中損壞到Substrate的Qz材料，減少晶片曝光機光量穿透的損失，皆為重要課題。AIMS是一個非常好的Tool，因為Repair後圖形的驗證非常有效，目前在TMC的標準Repair過程中，對於高階的光罩Repair，在Repair完後，都加上AIMS

的驗證，以補傳統檢驗機台之不足。

五、保護層膜(Pellicle)

Pellicle的設計是在Pattern Layer上架上一層保護膜，以防止任何一個外來物直接掉到Pattern Layer上面，造成晶片上的缺點。此保護膜的材料基本上要能有很高的曝光穿透率，但由於曝光機的光源波長越來越短，目前在248DUV的光源，保護膜已成熟，193機廠商也準備好了，唯在157光源上目前仍然無法找出合適的材料來進行Pellicle的功能。將來Pellicle會有革命性的變化。

結論

微影的技術精進，投資也要加速，因而造成自有(Captive)光罩廠商因無法繼續維持先進的技術而將廠房賣給了專業(Merchant)光罩廠，僅剩下在美的Intel及IBM、在日的NEC、歐洲的Infineon、韓國的三星及台灣的TSMC仍維持自行發展光罩技術，而由於高資本的投資，在專業廠上也造成10年來的陸續合併，日本有三家獨立公司DNP、Toppan及Hoya，美國僅有Dupont及Photronics，韓國為PKL，加上歐洲的Compugraphics及台灣的TMC了。如今由於OPC及PSM光罩的需求，加上IC技術加速微小化，各獨立光罩廠都不遺餘力發展新技術，維持佔有率，尤其是以台灣IC廠代工及生產效率出名，在今後光罩生產成本急速增加，技術要求突破下，如何維持生產優勢，是值得管理者深思的問題。