

# 減光型相移圖罩材質研究與二孔偏軸發光成像模擬

碩士生：林志鴻

指導教授：龍文安博士

國立交通大學應用化學研究所

## 摘要

嵌附式減光型相移圖罩與偏軸發光均為常用之解像度增進技術。因此本論文針對這兩部份做研究，第一部份重點在研究目前主流微影波長 193 nm 與 248 nm 嵌附層材料之光學性質，第二部份為減光型相移圖罩搭配偏軸發光應用之模擬。

嵌附層材料薄膜不論使用何種方式沉積，均無法完全如鏡面般光滑，且薄膜表面粗糙度會引起散射光的形成，導致紫外光/可見光光譜儀量測之反射率與透射率較真實值低。粗糙度越大時，誤差相對越大，是故，以粗糙度為修正因子，對反射率與透射率之量測值做適當修正是必要的。修正後之反射率與透射率再應用於反射率-透射率法，所得之折射率與吸收係數不但接近商業儀器橢圓儀之量測值，更優於 n&k 分析儀之量測結果，所需花費亦較低廉，足證此修正法之價值。

在電腦模擬實驗部分，使用美商 KLA-Tencor 之微影模擬軟體 ProLith v. 8.0，調整各項製程參數進行模擬計算，以探討二孔發光所產生的側葉效應、空間影像與阻劑輪廓等關係。模擬結果發現”隙寬”與”隙與側葉中心點距離”兩者之關係，可計算導出指數公式，加上聚光當量(數值孔徑)與發光孔距為修正項，計算結果將更貼近真實值。模擬顯示二孔垂直位向發光之側葉效應遠小於平行位向，對微影製程影響不大。二孔垂直位向為偏軸發光而平行位向類似沿軸發光，因此垂直位向之聚焦深度較大，在相同顯影條件下，阻劑輪廓可發現二孔

垂直位向曝光所得之隙深度較平行位向深；如調整顯影條件使兩種位向之發光方式均曝出相同尺寸之隙時，則平行位向之側葉可能顯影於阻劑上。此外，模擬實驗亦驗證 s 偏振光較佳之干涉現象，可搭配二孔垂直位向獲得較好之成像品質，未偏振光次之，p 偏振光最差。模擬探討了 s 偏振光、p 偏振光與未偏振光在聚光當量(數值孔徑)、孔距、孔徑、隙寬與線寬等變因下，空間影像對比度(像比)之變化。

未來使用濕浸式微影或機台之聚光能力不斷提升之時，s 偏振光源將漸受重視。



# **Study of Embedded Materials of Attenuated Phase-Shifting Mask and Simulation of Imaging by Dipole Off-Axis Illumination**

Student: Lin Chih-hung

Advisor: Dr. Loong Wen-an

Institute of Applied Chemistry, National Chiao Tung University

## **Abstract**

Embedded attenuated phase-shifting mask (EAPSM) and off-axis illumination (OAI) are most popular resolution enhancement techniques (RETs). Hence, we do some research to these two techniques in this paper. The points of the first part are optical properties of materials of embedded layer for 193 nm (ArF) & 248 nm (KrF) lithography. And the second part is the simulation of application of attenuated phase-shifting mask with off-axis illumination.

No matter what kind of method we use to deposit thin film, it can't be completely smooth. And the rough surface of thin film will cause the scattering light. Hence, when we use UV/VIS spectrometer to do metrology of reflectance (R) and transmittance (T) will get smaller results than the true values. The error will get larger when roughness gets larger. So, it is necessary to modify the metrology values of R and T by roughness as a modification factor. When we use the modified results to the R-T method, the resulting refraction (n) and extinction coefficient (k) are close to the metrology results of Variable Angle Spectroscopic Ellipsometer (VASE), and better than n&k analyzer. Also, the cost is cheaper, so that the modified R-T method is very useful in getting n & k.

In the simulation part, the software we use is KLA-Tencor's Prolith v. 8.0. By choosing proper parameters, we study the side lobe, aerial

image and resist profile in dipole illumination. By different space width, we can get different distance between space and side lobe. And we try to derive a formula. By adding two modification factors of numerical aperture (NA) and distance between the two illumination holes, the calculation results are very close to the true values, According to the simulation results, the side lobe in vertical orientation is much smaller than parallel orientation in dipole illumination, so it has a smaller effect to lithography process. In dipole illumination, the vertical orientation is off-axis illumination and the parallel orientation is like in-axis illumination. So we can get larger depth of focus (DOF) in vertical orientation. We also can see deeper resist profile in vertical orientation than parallel orientation with the same develop condition. If we adjust the develop condition to make the same space width, we can see significant side lobe in resist profile with parallel orientation. Otherwise, we found the s-polarized light has better interference. With vertical dipole illumination, we can get better image quality. And the unpolarized light has a middle quality, the p-polarized is worst. We also discuss the variation of aerial image contrast for s-polarized, unpolarized and p-polarized light with different NA, pole-distance ( $\sigma_{\text{center}}$ ), pole radius ( $\sigma_{\text{radius}}$ ), space width and line width.

For future immersion lithography and higher NA lens, the s-polarized light will become more important.

## 誌 謝

首先感謝我的指導教授龍文安博士，在這兩年來的指導；除了課業之外，在待人處事上對我亦多有啟發。感謝口試委員謝宗雍教授與吳建興教授於百忙中撥冗審閱我的論文，不吝指教，提供許多寶貴意見，使我獲益匪淺。

感謝國家奈米元件實驗室提供機台進行實驗，特別是其中的林素珠小姐與胡進章先生，於實驗期間鼎力相助。感謝電機系的周宜民學長，沒有他的教導，可能許多的實驗及機台將無法操作。感謝實驗室的學長們百忙中抽空指導，對我助益良多，要感謝的學長：葉文隆學長、林賢雲學長、陳尹川學長、蔡元浩學長與張曜宇學長，於實驗過程中提供建議與協助，使本論文能夠順利完成。感謝交大張文松、出翼瑋與廖政二同學的幫助，於研究過程中給予協助與鼓勵。當然學弟胡繼仁的幫助也在此一併感謝。兩年來的碩士班生涯，感謝同學們陪我渡過這些時光，分享許多快樂與憂傷。最後，要感謝我的父母，於生活上給我關懷與鼓勵，使我求學能無後顧之憂。因為你們的協助與參與，使我兩年來的生活更加精采，更有意義。

謝謝你們，僅以這篇論文獻給我的老師、家人、同學與所有幫助過我的朋友。祝福大家，身體健康，萬事如意。

# 目 錄

中文摘要	.....	i
英文摘要	.....	iii
誌 謝	.....	v
目 錄	.....	vi
表目錄	.....	viii
圖目錄	.....	ix
第一章	緒論.....	1
第二章	文獻回顧.....	5
2-1	相移圖罩之發展歷程.....	5
2-2	相移圖罩之工作原理.....	8
2-3	理想嵌附式減光型相移圖罩之條件.....	11
2-4	相移圖罩嵌附層之光學參數量測及原理.....	12
2-5	嵌附式減光型相移圖罩之優缺點.....	15
2-6	相移圖罩之未來趨勢.....	17
2-7	偏軸發光之型式與原理.....	19
2-8	偏軸發光之相關模擬.....	20

第三章	實驗方法.....	22
3-1	實驗物品.....	22
3-2	實驗儀器.....	23
3-3	儀器原理.....	24
3-4	實驗步驟.....	27
3-5	模擬設計.....	30
3-6	應用公式.....	32
第四章	結果與討論.....	34
4-1	光學性質之線上計算.....	34
4-2	光學性質量測方法之比較.....	34
4-3	相移圖罩搭配二孔平行位向發光之側葉模擬.....	37
4-4	二孔發光方向性影響成像品質之模擬.....	38
4-5	二孔垂直位向發光搭配偏振光之模擬.....	40
第五章	結論.....	42
參考文獻	.....	44
附錄一	.....	114
附錄二	.....	116
附錄三	.....	117
自傳	.....	118

# 表 目 錄

表 1-1	2004 年 ITRS 所定義的關鍵性微影需求.....	50
表 1-2	ITRS 所發表未來數年之微影技術藍圖.....	51
表 2-1	不同型式之減光型相移圖罩之優缺點.....	52
表 2-2	一般常見之嵌附層材料.....	53
表 2-3	常見之高透射率相移圖罩嵌附層材料.....	54
表 4-1	線上計算嵌附層材料之光學性質.....	55
表 4-2	n&k Analyzer 量測嵌附層材料之結果.....	55
表 4-3	紫外光/可見光光譜儀量測之反射率與透射率.....	56
表 4-4	R-T Method 計算嵌附層材料之結果.....	57
表 4-5	以方程式修正後之材料反射率與透射率.....	57
表 4-6	Modified R-T Method 計算嵌附層材料之結果.....	58
表 4-7	變角度光譜橢圓儀量測嵌附層材料之結果.....	58
表 4-8	其他量測方法與變角度光譜橢圓儀於 193 nm 光源之 誤差：(A) $\text{Si}_3\text{N}_4$ ；(B) $\text{TiSiN}$ ；(C) $\text{MoSiN}$ .....	59
表 4-9	其他量測方法與變角度光譜橢圓儀於 248 nm 光源之 誤差：(A) $\text{Si}_3\text{N}_4$ ；(B) $\text{TiSiN}$ ；(C) $\text{MoSiN}$ .....	60



# 圖目錄

圖 1-1	光學微影改善微影品質方法示意圖.....	61
圖 1-2	嵌附層使光幅產生 $\pi$ 相位差之示意圖.....	61
圖 1-3	傳統圖罩與六種相移圖罩之光幅向量、中央主光強及側葉光強示意圖.....	62
圖 2-1	雷文生-涉谷型相移圖罩之繞射光干涉前、後，其光幅及繞射角變化情形，與晶圓上空間影像之光幅及光強成像之狀況.....	63
圖 2-2	嵌附式減光型相移圖罩原理.....	64
圖 2-3	嵌附式減光型相移圖罩嵌附層之分類.....	65
圖 2-4	相擾度、空間影像對比度與空間頻率之關係圖.....	66
圖 2-5	傳統、嵌附式減光型與雷文生型相移圖罩之比較.....	67
圖 2-6	二維接觸孔與一維孤立隙之空間影像光強.....	68
圖 2-7	同調度、相擾度與光強計算之原理.....	69
圖 2-8	相擾度變化對邊緣能見度之影響.....	70
圖 2-9	嵌附層與基材本身之多重反射示意圖.....	71
圖 2-10	由已知厚度、反射率與透射率經 R-T Method 求出 $n$ 、 $k$ 值.....	72

圖 2-11	Modified R-T Method 之修正方程式.....	73
圖 2-12	減光型相移圖罩之側葉光強產生示意圖及應用輔助孔消除側葉光強之原理.....	74
圖 2-13	各種改良式雷文生式圖罩結構與優缺點.....	75
圖 2-14	唯相移層線幅寬度大小對空間光強之比較.....	76
圖 2-15	三光束傳統發光原理.....	77
圖 2-16	各類型偏軸發光型式.....	78
圖 2-17	其他型式之偏軸發光.....	79
圖 3-1	橢圓儀基本原理示意圖.....	80
圖 3-2	橢圓儀原理之數學式與橢圓偏振光示意圖.....	81
圖 4-1	B. W. Smith 教授網站對嵌附層材料之線上計算.....	82
圖 4-2	193 nm 與 248 nm 嵌附層材料 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 之光學性質計算結果.....	83
圖 4-3	193 nm 與 248 nm 嵌附層材料 $\text{TiSiN}$ 之光學性質計算結果.....	84
圖 4-4	193 nm 與 248 nm 嵌附層材料 $\text{MoSiN}$ 之光學性質計算結果.....	85
圖 4-5	n&k Analyzer 反射率光譜之曲線附合圖.....	86

圖 4-6	193 nm 與 248 nm 嵌附層 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 之 n&k Analyzer 量測結果.....	87
圖 4-7	193 nm 與 248 nm 嵌附層 TiSiN 之 n&k Analyzer 量測結果.....	88
圖 4-8	193 nm 與 248 nm 嵌附層 MoSiN 之 n&k Analyzer 量測結果.....	89
圖 4-9	193 nm 與 248 nm 嵌附層 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 之 R-T Method 計算結果.....	90
圖 4-10	193 nm 與 248 nm 嵌附層 TiSiN 之 R-T Method 計算結果.....	91
圖 4-11	193 nm 與 248 nm 嵌附層 MoSiN 之 R-T Method 計算結果.....	92
圖 4-12	193 nm 與 248 nm 嵌附層 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 之修正 R-T Method 計算結果.....	93
圖 4-13	193 nm 與 248 nm 嵌附層 TiSiN 之修正 R-T Method 計算結果.....	94
圖 4-14	193 nm 與 248 nm 嵌附層 MoSiN 之修正 R-T Method 計算結果.....	95
圖 4-15	相移圖罩之設計.....	96

圖 4-16	模擬所預設阻劑之參數.....	97
圖 4-17	模擬之預烤溫度/時間參數.....	97
圖 4-18	模擬之照後烤溫度/時間參數.....	98
圖 4-19	模擬之顯影時間參數.....	98
圖 4-20	模擬計算之最佳照射劑量.....	99
圖 4-21	二孔平行位向之線寬對側葉光強關係：(A) 隙寬 110 nm；(B) 隙寬 90 nm.....	100
圖 4-22	二孔平行位向之聚光當量對側葉位置關係.....	101
圖 4-23	二孔平行位向之孔距對側葉位置關係.....	101
圖 4-24	二孔平行位向之孔徑對側葉位置關係.....	102
圖 4-25	二孔發光對圖案線條垂直與平行時之成像結果.....	103
圖 4-26	二孔發光對 110nm 孤立隙之空間影像：(A) 垂直位向發光；(B) 平行位向發光.....	104
圖 4-27	二孔發光對 90nm 孤立隙之空間影像：(A) 垂直位向發光；(B) 平行位向發光.....	105
圖 4-28	二孔垂直(上)與平行位向(下)對 110nm 孤立隙之阻劑輪廓.....	106
圖 4-29	二孔垂直(上)與平行位向(下)對 90nm 孤立隙之阻劑輪廓.....	106

圖 4-30	二孔垂直(上)與平行位向(下)對 110nm 孤立隙之阻劑輪廓.....	107
圖 4-31	二孔垂直(上)與平行位向(下)對 110nm 密集線隙之阻劑輪廓.....	107
圖 4-32	二孔垂直(上)與平行位向(下)對 90nm 孤立隙之阻劑輪廓.....	108
圖 4-33	二孔垂直(上)與平行位向(下)對 90nm 密集線隙之阻劑輪廓.....	108
圖 4-34	各種偏振光搭配二孔垂直位向之空間影像：(A) s 偏振光；(B) 未偏振光；(C) p 偏振光.....	109
圖 4-35	聚光當量與偏振光種類對空間影像之影響.....	110
圖 4-36	發光孔距與偏振光種類對空間影像之影響.....	110
圖 4-37	發光孔徑與偏振光種類對空間影像之影響.....	111
圖 4-38	隙寬與偏振光種類對空間影像之影響.....	111
圖 4-39	線寬與偏振光種類對空間影像之影響：(A) 隙寬 = 90 nm；(B) 隙寬 = 110 nm.....	112
圖 4-40	入射面合向量與其對應之 s 電向量俯視圖：(A) 入射面；(B) s 電向量.....	113