

國立交通大學
應用化學研究所
碩士論文

以全條減光散條及陣列減光散條
增進焦深與改善禁止間距之模擬



**The Simulations of Increasing Depth of Focus and
Improving Forbidden Pitch by
Whole Bar Attenuation Scattering Bar and Array
Attenuation Scattering Bar**

研究生：呂廷軒
指導教授：龍文安 博士

中華民國九十五年六月

以全條減光散條及陣列減光散條
增進焦深與改善禁止間距之模擬

**The Simulations of Increasing Depth of Focus and
Improving Forbidden Pitch by
Whole Bar Attenuation Scattering Bar and Array
Attenuation Scattering Bar**

碩士生：呂廷軒

Student: Lu Ting Hsuan

指導教授：龍文安博士

Advisor: Dr. LoongWen-An



Submitted to Institute of Applied Chemistry
College of Science
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
in Applied Chemistry
June 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年六月

以全條減光散條及陣列減光散條 增進焦深與改善禁止間距之模擬

碩士生：呂廷軒

指導教授：龍文安博士

國立交通大學應用化學研究所

摘要

微影未來趨勢為使用濕浸式、偏振光與偏軸發光，但禁止間距將更嚴重。

本論文重點在於，以模擬探討散條增進焦深與改善禁止間距之效果，並在三種已知的散條中選擇出最適當的相移角度及透射率組合。

全條遮光、全條減光、陣列減光是已知的三種散條類型，用以修正光學鄰近效應，增進解像度與焦深，但是各有其利弊。

依所作模擬發現，四扇面偏軸發光、濕浸式、Y-偏振光和減光型相移圖罩的組合，可得最佳焦深。最適化聚焦面約在阻劑厚度 0.66-0.75 之間，即阻劑半高以上。因未經最適化處理，故結果僅適用於此論文。

相移角度 40 度、透射度 0.3、寬度 60 奈米的全條遮光散條，效果為佳。可以提升焦深而且不會造成顯影外，尺寸夠大是對製程改善的一大利多。此外，透射度 0.4、寬度 120 奈米的陣列減光散條，也明顯提高焦深。兩者皆為 65 奈米下，本論文參數設定下之最佳組合。

再者，聚光當量在 1.2042 時，意即阻劑內折射角度為 45 度，兩橫磁偏振光束之夾角為 90 度，無干涉，對比度達最低值，且焦深嚴重不足。聚光當量，對橫磁偏振光影響甚大，而對橫電偏振光影響甚小。

The Simulations of Increasing Depth of Focus and Improving Forbidden Pitch by Whole Bar Attenuation Scattering Bar and Array Attenuation Scattering Bar

Student: Lu Tin-Hsuan

Advisor: Dr. Loong Wen-an

Institute of Applied Chemistry, National Chiao Tung University

Abstract

The usage of immersion, polarized light source and off-axis illumination (OAI) is the trend of future lithography, however, forbidden pitch will be more serious.

The most important key in this study is to discuss the results of simulation about the increase of depth of focus and the improvement of forbidden pitch, and choose the best combination of phase shifting angle and transmission rate among the three known types of scattering bars.

Scattering bars are classified to three types, Whole Bar Opaque (WAO), Whole Bar Attenuation and Array Attenuation (AA), and can correct the optical proximity effect (OPE), improve resolution and DOF. The three types of scattering bars (SB) have specific advantages and disadvantages.

Simulations showed that best combination is Quasar, immersion, y-polarized, attenuated phase shifting mask for increasing DOF. The optimized focal plane is about 0.66 to 0.77 of the resist thickness that is above the half-height of the resist. The conclusion suited only for our study because this is

without DOE.

By using 40 degree of phase shifting angle and 0.3 of transmission of 60 nm width Whole Bar Attenuation was the better type. It is not only improve DOF but also without printing. Besides, Array Attenuation Bar with 0.4 of transmission of 120 nm also worked well. These two types of scattering bars were the best functional effects under our simulation parameters settings in 65 nm technology node.

Further more, the numerical aperture equaled to 1.2042 means the refractive angle in resist was 45 degrees and the angle between those two transverse magnetic lights was 90 degrees. In this case, the aerial image contrast was minimum and DOF was too low to accepted resulted from no interfere. The numerical aperture effected transverse magnetic lights much more than transverse electric lights.



誌 謝

感謝吾師龍文安教授於學生就學期間給予的教導與鼓勵，不管在學業、待人處事、生活禮儀等等，老師的諄諄教誨學生不敢一日有所遺忘，在此謹向老師致上最誠摯的感謝。

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論文，不吝指教，惠賜寶貴意見，獲益良多。

感謝交大半導體中心與國家奈米元件實驗室，提供儀器設備使用，並且給予各項協助與指導。

感謝本實驗室的葉文隆學長、胡繼仁學長於研究過程中給予之協助與鼓勵；交大半導體中心的胡進章先生於實驗儀器上的協助與教導；感謝材料系的張家源學長，於實驗過程中提供建議與協助，使本論文能夠順利完成。

感謝其它實驗室的同學及好友家傑、為君、鴻達、挺瀚、紹偉、宇婕，陪我渡過這兩年的碩士班生涯，分享許多快樂與憂傷。

最後，要感謝父母親，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	3
英文摘要	4
誌 謝	6
目 錄	7
表目錄	9
圖目錄	10
第一章 緒論	13
第二章 文獻回顧	18
2.1 禁止間距	18
2.2 傳統發光和偏軸發光	19
2.3 濕浸式微影	21
2.4 光學鄰近效應	22
2.5 微影模擬	27
第三章 模擬與實驗方法	29
3.1 模擬設計	29
3.2 應用公式	32
第四章 結果與討論	35

4.1	禁止間距產生之問題.....	35
4.2	模擬焦深之結果.....	35
4.3	三種類型散條之模擬結果與討論.....	37
4.4	全條減光尺寸模擬.....	41
4.5	陣列遮光尺寸模擬.....	43
4.6	陣列減光群組模擬討論.....	44
4.7	全條減光群組模擬討論.....	45
4.8	不同聚光當量值對於橫磁與橫電的影響.....	46
第五章	結論.....	48
參考文獻	81
自傳	86



表 目 錄

表 1.1	半導體發展的大事記.....	51
表 1.2	2004 年 ITRS 所定義的關鍵性微影需求.....	52
表 1.3	ITRS 所發表未來數年之微影技術路圖.....	53
表 2.1	全條遮光、全條減光、陣列減光之特性.....	54
表 2.2	在 193 nm 波長下之減光材料之光學性質計算結果.....	55
表 2.3	微影模擬各項參數.....	56



圖目錄

圖 2.1	偏軸發光時，一級光進入圓心區，形成背影光造成 NILS 與焦深下降.....	57
圖 2.2	各類型偏軸發光型式.....	58
圖 2.3	乾式和濕浸式投影系統.....	59
圖 2.4	濕浸式微影.....	59
圖 2.5	濕浸式各裝置設計.....	60
圖 2.6	橫磁及橫電偏振光說明圖.....	61
圖 2.7	光學鄰近效應修正圖案修飾設計.....	62
圖 2.8	孤立線相對於密集線之修正示例.....	64
圖 2.9	散條修正可增大製程視窗重疊區示意圖.....	64
圖 2.10	全條減光之圖罩.....	65
圖 2.11	陣列減光之圖罩.....	65
圖 2.12	雙光強圖罩、加入單一全條遮光、加入單一陣列減光適用之繞射光幅.....	66
圖 4.1	模擬計算焦深對間距之影響(A4B4C4).....	67
圖 4.2	模擬計算聚光當量改變對間距之影響(A4).....	67
圖 4.3	各種散條之模擬計算焦深對間距的影響.....	68

圖 4.4	全條減光之尺寸模擬設計.....	68
圖 4.5	陣列減光知尺寸模擬設計.....	69
圖 4.6	陣列減光群之模擬設計(透射率 0.4~0.6).....	69
圖 4.7	陣列減光群之模擬設計(透射率 0.3~0.6).....	70
圖 4.8	全條減光群之模擬設計(相移角 20 度).....	70
圖 4.9	全條減光群之模擬設計(相移角 30 度).....	71
圖 4.10	全條減光群之模擬設計(相移角 40 度).....	71
圖 4.11	全條減光群之模擬設計(相移角 50 度).....	72
圖 4.12	全條減光透射率 0.3 之不同相移角度比較.....	72
圖 4.13	全條減光透射率 0.4 之不同相移角度比較).....	73
圖 4.14	全條減光透射率 0.5 之不同相移角度比較.....	73
圖 4.15	全條減光透射率 0.6 之不同相移角度比較.....	74
圖 4.16	全條減光相移角 20 度之不同透射率比較.....	74
圖 4.17	全條減光相移角 30 度之不同透射率比較.....	75
圖 4.18	全條減光相移角 40 度之不同透射率比較.....	75
圖 4.19	全條減光相移角 50 度之不同透射率比較.....	76
圖 4.20	整體比較.....	76
圖 4.21	NA=1.2042 橫電橫磁(a)焦深(b)對比度比較.....	77
圖 4.22	NA=0.8515 橫電橫磁(a)焦深(b)對比度比較.....	78

圖 4.23	NA=1.4748 橫電橫磁(a)焦深(b)對比度比較.....	79
圖 4.24	橫磁偏振光於不同聚光當量之比較.....	80
圖 4.25	橫電偏振光於不同聚光當量之比較.....	80



第一章 緒論

半導體產業的發展，自1940年代貝爾實驗室成功的發現電晶體，1958年德州儀器（Texas Instruments）的Jack Kilby成功地製造出第一個積體電路（Integrate Circuit），此後半導體產業急速的成長，並快速擴張。

從此各式IC不斷被開發出來，集積度也不斷提升。從小型積體電路 (Small-Scale Integration, SSI)；一路發展中型積體電路 (Medium-Scale Integration, MSI)、大型積體電路 (Large-Scale Integration, LSI)、超大型積體電路 (Very Large-Scale Integration, VLSI)、極大型積體電路 (Ultra Large-Scale Integration, ULSI)，表 1.1 為半導體發展的大事紀。隨著半導體元件尺寸不斷縮小及電路密集度的急遽增加，關鍵之微影 (Lithography) 製程要求亦日趨嚴格。而(美國)半導體工業協會 (Semiconductor Industry Association, SIA) 所發表的國際半導體技術路圖 (International Technology Roadmap for Semiconductors, ITRS) 預測將在 2007 年開發出 DRAM 其半間距 (Half Pitch) 為 65 奈米，於 2016 年開發出 22 奈米，見表 1.2[1]。表 1.3[2] 為 ITRS 所發表未來數年之微影技術路圖。

使用極短紫外光微影技術 (Extreme Ultra Violet Lithography, EUVL)[3] 或是電子束投影微影 (Electron Beam Projection Lithography, EPL) 等下世代微影技術 (Next Generation Lithography, NGL)，可將製程藍圖拓展到 45 nm

技術節點以下[4]。

現今主力機種 193 奈米氟化氫(ArF)微影技術搭配放大型阻劑以傳統發光(Conventional Illumination, CI)搭配傳統圖罩(Conventional Mask)已漸漸無法滿足解像度(Resolution)、焦深 (Depth of Focus, DOF)及製程寬容度(Process Latitude)的需求。所以，發展 193 nm 微影所適用之解像度增進技術乃當務之急。

提升解像度、焦深及製程寬容度的主要技術包含：(1)偏軸發光(Off-Axis Illumination, OAI)；(2)相移圖罩(Phase Shift Mask, PSM)；(3)聚焦寬容度加強照射(Focus Latitude Enhancement Exposure, FLEX)；(4)超聚焦寬容度強化照射(Super-Focus Latitude Enhancement Exposure, Super-FLEX)；(5)光學鄰近效應修正(Optical Proximity Correction, OPC)；(6)光瞳濾波片(Pupil Filters)；(7)表層成像(Top Surface Imaging, TSI)；(8)抗反射塗佈(Antireflection Coating, ARC)等。

偏軸發光基本原理為減少零級光(背景光)，產生空間頻率調變(調增)作用，以達到增加解像度與焦深的目的。其最大的優點是在原有的製程步驟下即可達到所求。

相移圖罩為利用入射光透過圖罩相移層與非相移層二者之光幅產生 π 相位差，產生破壞性干涉。主要依空間頻率調變與邊端強化二大原理，來達到增強解像度與焦深的目標。

由於 IC 電路佈局的線路寬度變得愈來愈細，使得微影技術需要不斷地將曝光波長縮短，藉以提升其解像度，然而此將面臨到光學成像技術的瓶頸，光學鄰近效應修正便是針對晶片中細微的線條和間距，在圖罩上修改，以減少曝光後的失真，在不改變曝光波長的情況下，可以提升解像度。光學鄰近效應修正方式主要以改變圖罩設計為主，包含特徵偏差與特徵輔助等方法。

全球微影設備前三大供應商 ASML、Canon、及 Nikon 皆力推濕浸式設備，在 157 奈米微影技術的研發能量將大幅度轉移至濕浸式技術。台積電已在 2003 年底便向 ASML 已訂購全球第一台 193 奈米濕浸式微影準生產型機台。ASML 最新的機台已經成功將聚光當量值提升到 1.22，用來做 45 奈米已是可行的技術了。



濕浸式微影技術主要原理是將光學透鏡與晶圓之間的介質由原來的空氣更換為液態介質($n>1$)，縮短在液態介質中之有效波長以提升其解像度，公式為 $\lambda_n=\lambda/n$ (λ_n 為光在液態介質中之波長； λ 為在真空中的波長； n 為液態介質的折射率)。若將目前 193 奈米波長曝光機台中最後之投影鏡片與晶圓之間加入水作介質(水的折射率約為 1.44)，其波長可縮短為 134 奈米，解像度明顯增加。並且利用高折射率之液態介質，讓入射光以更加陡峭的角度進入阻劑，亦可增加其焦深。焦深所涉及的公式及推導，在不同情況下有不同應用方法，重點在於乾式與濕式的立足點不一致，需要相當

小心運用。另外，在最新發表的文章中，也提到了所謂的第二代濕浸式液體，其折射率可達 1.66 以上，並能成功製造出 32 奈米線寬的密集線（即線/隙比例達一比一）。

除了上述優點外，濕浸式技術仍有幾個關鍵問題待解決。例如水與阻劑交互作用、溫度的作用及水中微泡的影響等[5-6]。若濕浸式技術能研發成功，將可以繼續使用 193 奈米曝光機，進行 65、45 甚至到 32 奈米等先進製程研發。因此，2003 年英特爾宣佈放棄發展 157 奈米微影技術，打算使用 193 奈米微影技術進行 90、65 及 45 奈米製程，並計劃在 2009 年前，於 32 奈米製程導入極短紫外光微影技術。

偏軸發光能增進解像度與焦深，但在間距大時，焦深依然會不足，為克服此缺點，可使用全條遮光作修正。而全條遮光尺寸很大時容易成像，尺寸要求小，製程又不易做到，針對此一缺點，可使用全條減光[7]和陣列減光[8-9]來增進焦深，其優點為寬度可以比全條遮光更大，製程上較容易；缺點為透射度或相移角度控制不易。

本論文使用美國 KLA-Tencor 之微影模擬軟體 ProLith v. 9.0，利用偏軸發光、濕浸式微影、減光型相移圖罩、Y 偏振光，並加入全條遮光、全條減光、陣列減光等散條之方式來改善禁止間距[10-11]，進一步探討全條減光以及陣列減光的相移角度和透射度的之組合變化。期望能找出在 65 奈米線寬之下，提升焦深效果最好之散條組合。另外，對聚光當量做討論，

當此數值為 1.2042，相對於橫磁偏振光而言夾角為 90 度，無干涉作用發生，不利於成像。特別做了模擬驗證。縮小或大於此數值後，可以看到對比度明顯增加且焦深提高，故橫磁偏振光受聚光當量值影響甚大，橫電偏振光則甚小。



第二章 文獻回顧

2.1 禁止間距

當元件愈小，線寬愈來愈細時，線寬固定，而間距增加時，在某些間距會產生正規化成像斜率對數(Normalized Image Log-Slope, NILS)、像比(Contrast)、關鍵尺寸(Critical Dimension, CD)、焦深、製程視窗等不符需求之現象。這些不合所需的間距稱為“禁止間距(Forbidden Pitch)”。

禁止間距發生之成因如下：

1. 高階光進入圓心區，如同背景光。

當間距變大，繞射角變小，可收到高階繞射光束，此時，高階繞射光易進入圓心區(此為指導老師龍文安教授所定義，為說明方便)，形同背景光增加，造成正規化成像斜率對數與焦深下降，如圖 2.1。

另外，在間距繼續增大時，高階光進入圓心區面積增加，但零級光之光強增加，一級光和二級光之光強會下降甚至趨近於零，依然會造成正規化成像斜率對數與焦深下降。

2. 高階光在圓心區所佔之面積。

高階光在圓心區所佔之面積愈大時，所造成之影響會變大，如同背景光面積增加，造成正規化成像斜率對數與焦深下降。

3. 高階光與零級光重疊。

間距變大時，其高階光會和零級光重疊，造成正規化成像斜率對數與焦深上升。

造成正規化成像斜率對數與焦深之變化為以上三種現象相互競爭之結果，舉例而言，如圖 2.1 而言， $-1,+1$ 進入圓心區(不利於正規化成像斜率對數與焦深)面積達最大(不利於正規化成像斜率對數與焦深)，造成正規化成像斜率對數與焦深下降；對 E 而言， $-1,+1$ 進入圓心區(不利於正規化成像斜

率對數與焦深)面積達最小(有利於正規化成像斜率對數與焦深)，但有部份-2,+2 與 0 重疊(不利於正規化成像斜率對數與焦深)。在此相互競爭之影響，D 之正規化成像斜率對數與焦深會明顯下降，而 E 之正規化成像斜率對數與焦深會有部份提昇。

在論文中，以焦深的變化來觀察禁止間距。而製程視窗影響焦深甚大，與製程視窗有關的有四個參數，包括：線寬、側壁角度、阻劑損失、照射寬容度。在製程上，這四個參數也是控制焦深的關鍵。當我們提到增進焦深最常見的方法是偏軸發光和濕浸式微影。在所有偏軸發光的情形，不論是四扇面、環形、雙孔，禁止間距依然會發生。

2.2 傳統發光和偏軸發光

改善解像度、製程寬容度與增加焦深的方法有數種，其中偏軸發光因不須改變圖罩設計並可維持原有製程即能達到要求。目前較常用之偏軸發光為(1)環形發光(Annular Illumination);(2)四孔發光(Quadrupole Illumination);(3)二孔發光(Dipole Illumination);(4)四扇面形發光(Quasar Illumination)。以下就傳統發光和上述四類偏軸發光形式，分別討論。

一. 傳統發光：

傳統發光原理見圖 2.2，形狀如圖 2.2 (A)，對任何圖案均可使用，無方向性，對解像度與焦深無改善效果，解像能力中等。

二. 環形發光：

環形發光[15-16]形狀如圖 2.2 (B)，環形對圖罩上任何方向之圖案皆較傳統發光適用，無方向性，對解像度與焦深改善效果中上，實用性甚佳。

三. 四孔發光：

四孔發光[15-16]形狀如圖 2.2 (C)(D)，又分為 Normal 與 Cross 兩型，因其具有方向性，故對於垂直與水平方向圖案之解像度、焦深與照射寬容度

改善效果均不同。整體而言，Normal 型四孔之改善效果遠勝於 Cross 型四孔。

四. 二孔發光：

二孔發光[17]形狀如圖 2.2 (E)(F)，又分為光源與圖罩上線條垂直(X 位向)或平行(Y 位向)兩型。二孔發光對於解像度與焦深的改善與圖案方向性有關，對於與光源方向垂直的圖案有卓越之改善效果，但對於平行方向的圖案則無改善效果，甚至比傳統發光還差。

五. 四扇面發光：

四扇面形[16]發光的形狀如圖 2.2 (G)。因考量圖罩圖形設計難易，及環形發光、四孔發光系統的限制，綜合環形發光及四孔發光的形式，改良成四扇面形發光。

2.2.1 偏軸發光的影響[18]

當線條做到 130 奈米以下時，搭配偏軸發光可以明顯增進解像度與焦深。但間距很大時，繞射角會變很小，會收集到高階的繞射光。所以在某特定間距下，高階繞射光會進入圓心區，如同沿軸發光的背景光。如圖 2.1。

2.2.2 偏軸發光的優點與缺點

綜合前述對偏軸發光的探討，可歸納出偏軸發光之優、缺點如下：

(1) 優點：

- a. 應用簡單，不改變原有製程。
- b. 可大幅改善焦深，使用未偏振光對解像度僅有略微改善；如使用偏振光則可較大幅改善。

(2) 缺點：

- a. 僅能改善週期性圖案的製程寬容度。

- b. 在密集線/隙阻劑外緣有變形現象。
- c. 遮板偏軸發光因光強損失，使照射劑量增加，造成產率 (Throughput) 降低。
- d. 有鄰近效應。

2.3 濕浸式微影[19-25]

濕浸式微影是一個新興的微影技術，指在微影機台成像投影鏡組合中最後一片透鏡表面與晶圓表面二者之空隙，浸入折射率 $n>1$ 之液態介質(真空時， $n=1$) [26]，如圖 2.3。此介質在微影波長之透射率須高，折射率亦須高，由聚光當量(數值孔徑)(NA) $NA = n \sin\theta_{max}$ 的公式得知可增大透鏡之聚光當量值，因而收集到原遺留在入口光瞳之外的+1,-1 或更高階的繞射光束 [27]；由 $\lambda_n = \lambda/n$ ，相當於降低在液態介質中之波長。而聚光當量增大與波長降低皆可增進解像度，但僅能二選一解釋。

跟據史內爾折射定理， $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 = n_3 \sin \theta_3$ ，如假設透鏡之入射角為 36 度；進入空氣或水($n=1.44$)中，入射角分別為 62 度及 39 度；此時，以相同之入射角進入阻劑，由圖 2.4 可看出水的入射光較空氣的入射光更為陡峭，進入阻劑時之焦深更大，所以濕浸式可明顯改善焦深 [28-29]。

2.3.1 濕浸式的優點與缺點：

優點：

1. 可建立在 193 乾式微影基礎上，研發成本較低。
2. 濕浸式可降低照射劑量，增進焦深，增大作業視窗，解像度可達 32 奈米節點之潛力。相對於真空或空氣，液體折射率與投影鏡較接近，光束折射角較小，理論上可增加焦深。

濕浸式尚待克服或改善的問題：

1. 裝置如設計為盆浴式(Bath)，因剪應力之關係，易產生雙折射；若設計為水灘式(Puddle)或淋浴式(Shower)，所需液體量較少，重量較輕，但欲將液體侷限於特定區域較困難。液體供應最適化尚待研發。圖 2.5 為三種濕浸式設計[5]。
2. 使用線性電場偏振光（偏振面為二維單一面）為宜，微影品質較佳，但製程難度提高。
3. 浸入液體易生微泡(Microbubble)，晶圓平台高速移動時更易生成，導致光之散射(Scattering)。晶圓單片實驗時，液體去氣體(De-gas)技術可減少微泡生成，但高速量產時，甚難防止微泡生成 [30]。
4. 水吸附於晶圓表面，晶圓平台高速移動時，因表面張力，此吸附之水亦隨之移動，易生微泡、並增加污染機率。
5. 晶圓上化學放大型阻劑(Chemically Amplified Resist, CAR)照射後產生之質子酸(H^+)，特別是表層與液體接觸之質子酸，可能受液體稀釋或中和，失去催化去保護反應之活性。如 193 微影以水(H_2O)為液體， $H^+ + H_2O$ (弱鹼) $\rightarrow H_3O^+$ (弱酸)，水形同弱鹼。如將阻劑表面旋佈一層斥水高分子薄膜，則製程難度增加。

2.4 光學鄰近效應[31-32]

光學鄰近效應其作用主要是影響圖案線寬設計偏離，受鄰近線路圖案密度、尺寸而有不同程度之影響。

2.4.1 光學鄰近效應成因與現象

A. 成因：

1. 由於圖罩上「鄰近」圖案密度與尺寸不同，導致繞射、干涉、多重反射

等之差異，雖照射時施予劑量(Applied Dose)相同，但阻劑之獲得劑量(Received Dose)卻不相同，顯影後阻劑線寬失真。

2. 光束通過圖罩上圖案，繞射、干涉導致圖案邊緣光強形成降級作用，造成邊緣模糊。
3. 主因為光束通過圖罩後之空間影像失真，其他次因如照後烤擴散、顯影液(濃度、溫度、流率)、阻劑顯影時表面遲滯效應(Surface Inhibition Effect)等，皆有程度不一之影響，與主因不易區分。

最主要成因為1，圖罩上「鄰近」線路圖案之密度與尺寸不同，故名「鄰近」效應。

B. 現象

積體電路線路設計的圖案中，主要包含密集線/隙、孤立線、孤立隙、接觸孔、轉角圖案(Corner Pattern)與T型圖案(T-Type Pattern)等。由鄰近效應所產生圖案失真現象可分類如下：

1. 線端變圓(Line-End Rounding)
2. 線端變短(Line-End Shorting)
3. 轉角變圓(Corner Rounding)
4. 關鍵尺寸偏差(Critical Dimension Offset)
5. 線間架橋(Line Bridging)

2.4.2 光學鄰近效應之型態

光學鄰近效應依形成的型態可區分為二種：

1. 獨立鄰近效應(Independent Proximity)
2. 交互鄰近效應(Interactive Proximity)

2.4.3 光學鄰近效應修正之方法

OPC 千變萬化，已非人力可達成，必須以龐大電腦編程自動修正。原始圖罩圖案，經 OPC 套裝軟體解讀後，根據微影波長、明或暗場圖罩，晶圓上正或負型阻劑、線幅大小、線末端、線邊、接觸孔等因子自動產生修正圖案，檔案再輸入電子束微影機台電腦，操控電子束照射，製作修正圖罩。圖罩圖案經光學微影轉移至晶圓阻劑，必要時，量測阻劑輪廓之偏差，將此偏差回饋 OPC 軟體，再進行圖罩圖案人工精修，再測試，直至滿意為止。常見 OPC 套裝軟體有 Maskrigger (MaskTools 公司)、OPRX (Trans Vector 公司)、Proxima (Precism 公司)、Optissimo 等，定價通常達新台幣千萬以上。目前發展研究的光學鄰近效應修正之方法以圖罩圖案設計改變為主，主要有以下數種方法，圖 2.7：

(1) 特徵偏差 (Feature Biasing)

1. 延伸法 (Extended)
2. 飾線法 (Serifs)
3. 侵入法 (Aggression)
4. 帽冠法 (Hat)
5. 偏差法 (Bias)
6. 直角凹凸 (Jog)

(2) 特徵輔助 (Feature Assisting)

1. 散條法 (Scattered Bar)
2. 內輔助線 (Internal Assisted Line)

3. 外輔助線 (External Assisted Line)
 4. 飾線加輔助線 (Serifs with Assisted Line)
- (3) 輔助圖案法 (Assisted Pattern)
1. 透射率控制圖罩法 (Transmittance Controlled Mask, TCM)
 2. 極小虛圖達成真實性加強法 (Fidelity Enhancement with Extremely Small Dummy, FEED)

2.4.4 利用特徵輔助改善禁止間距[33]

散條法修正孤立線與密集線，其主要原理為孤立線兩旁加散條[34]，如圖 2.8(a)，亦可修正孤立線與密集線之差異。如圖 2.8(b)，顯示孤立線+散條修正 (編號 4) 空間影像之光強、斜率、形狀與密集線 (編號 1) 甚為接近，相對於偏差法，此為較佳之修正方法。

優缺點有：

1. 優點為可有效降低光學鄰近效應至幾乎為零，可有效修正孤立線線寬；相對於圖案偏差法之修正，孤立線和密集線隙之空間影像較互相吻合，可增大孤立線與密集線重疊之製程視窗。
2. 缺點為圖案設計較複雜，相對大幅增加圖罩之圖檔電腦資料；電子束製作圖罩及圖罩檢修皆較困難。

以散條修正間距不同孤立線

參看圖 2.8(c)，可知：

1. 當孤立線之間的距離足夠時，可加入兩條寬標準散條(Broad Standard Scattering Bar, BSSB)(即本論文之全條遮光)作修正。
2. 若孤立線彼此之距離變小，不適合加入兩條 BSSB，可加入兩條窄標準散條(Narrow Standard Scattering Bar, NSSB)作修正。
3. 若孤立線彼此之距離更小，不適合加入兩條 NSSB，可加入兩條短線散

條(Dashed Scattering Bar, DSB)作修正。

4. 若孤立線彼此之距離更小，不適合加入兩條 DSB，可加入單一 BSSB 作修正。
5. 此孤立線彼此之距離更小，不適合加入單一 BSSB，可加入單一 NSSB 作修正。
6. 此孤立線彼此之距離更小，不適合加入單一 NSSB，可加入單一 DSB 作修正。

全條遮光修正可增大製程視窗重疊區，增大製程寬容度。圖 2.9。

而全條遮光尺寸很大時容易成像，尺寸要求小，製程又不易做到，針對此一缺點。以下幾篇文獻討論全條遮光之改善方法：

方法一：全條減光

在間距增加時，會有禁止間距的問題。為了降低背景光的影響，加入全條遮光是常用的辦法，但是全條遮光在尺寸大時容易成像，尺寸小時製程上又不易做到。在西元 1996 年，由 S. Ishida 等人[7]提出，利用改變透射率且控制相位，能夠做出比全條減光寬度更大的“全條減光”，如圖 2.10，其寬度可比全條遮光更大，製程上較容易，但會有相位的影響，相位差和光程差成正比(重要公式 11)，所以，須限制其相位差不可過大，並根據 B. W. Smith[35-37]等人探討數種適用 248 nm 與 193 nm 的嵌附層材質，並計算嵌附層引起的相移角度(忽略界面對角度之影響)，如下：

$$d = \frac{m\lambda\theta}{2(n-1)\pi}$$

m ：奇數的整數倍

λ ：真空中照射波長

θ ：嵌附層產生的相移角度

n ：相移層在照射波長下的折射率

d ：嵌附層厚度

一般理想情況： $m = 1$ ，則上式可簡化為 $d = \frac{\lambda\theta}{2(n-1)\pi}$ 。

由於嵌附層的吸收係數 k 不為零，因此在嵌附層與基材、空氣之界面皆會引起額外的相移角度。當 k 值較大時，界面引起的相移角度便不宜忽略。其額外相移角度計算公式可參考龍文安教授所著之半導體微影技術，第 538-543 頁。

相位差與相移層厚度有一定的關係，相移層厚度愈小，其相位差會較小，美國羅徹斯特理工學院(Rochester Institute of Technology, RIT)，微電子工程系(Microelectronic Engineering Department)，史密斯(B. W. Smith) 教授主持之光學微影研究群，開放網站 (<http://www.microe.rit.edu/research/lithography/>)，可以查得之各種材料之折射率、吸收係數、透射率及換算所得的相位差。

方法二：陣列減光

在西元 2001 年，由 B. W. Smith 等人[8]提出，可利用原先上述所提之短線散條排成陣列式形狀，並可有效改善相位差之缺點，形成相位為零之“陣列減光”，如圖 2.11，但其缺點為製程上蝕刻陣列圖案甚困難。表 2.1 為全條遮光、全條減光、陣列減光之各項特徵。圖 2.12 為雙光強圖罩、加入全條遮光、加入陣列減光之繞射光幅。

2.5 微影模擬[35][36]

本實驗室使用美商 KLA-Tencor 之微影軟體 ProLith v. 9.0 為模擬工具 (Simulation Tool)，進行改善焦深之相關模擬實驗。

此模擬軟體可設定或調變之參數甚多，如：光源發光方式、光源相擾度、光源波長、系統數值孔徑值、圖罩設計、阻劑類型、阻劑相關參數、

阻劑烘烤相關參數、照射能量(Exposure Energy)與門檻光強(Threshold)等。可進行觀測之選項亦不少，如：空間影像(Aerial Image)、阻劑輪廓(Resist Profile)、側壁角度(Sidewall Angle)、阻劑線寬(Line Width)、照射能量計算結果、阻劑損失程度(Resist Lost)、歸一化影像斜率對數(NILS)與製程視窗(Process Window)等。

雖然 ProLith 等模擬工具之介面簡單、操作方便，模擬結果也有相當之準確性，然而實際製程之複雜性甚高，需考慮之變因與參數極多，嚴格說來，其結果並非一般電腦軟體能夠輕易預測。但是在理想條件下，基本的微影模擬仍有相當高的指標性作用，對於實驗室之研究頗富參考價值。在現今半導體產業上，模擬工具是不可或缺的一項利器，藉由實際生產前的電腦模擬，如使用光學鄰近效應修正改善架橋(Bridging)，便可避免不必要的風險或誤差，進而節省成本與促進產率。相信不論是現在或未來，微影模擬軟體都將扮演著晶片設計(IC Design)與晶片製程(IC Process)上的重要角色。

本論文使用之參數如表 2.3，使用美商 KLA-Tencor 之微影模擬軟體 ProLith v. 9.0，設計圖罩並調整，使用偏軸發光、濕浸式、偏振光、減光型相移圖罩各項參數進行模擬計算，探討如何增進焦深，且使用全條遮光、全條減光、陣列減光消除禁止間距，並探討全條減光散條和陣列減光散條效果最佳之相移角度，搭配適當的透射率組合。

另經由模擬驗證，橫磁偏振光受聚光當量值影響甚大，而橫電偏振光則否。且當聚光當量值為 1.2042 時，代表兩橫磁偏振光束成 90 度之夾角，此時無干涉作用，不利於成像，故焦深也嚴重不足。

第三章 模擬與實驗方法

3.1 禁止間距模擬設計

3.1.1 模擬參數與步驟

使用之模擬參數如表 2.3，模擬設計步驟如下：

1. A4 組合：

組合類型為四扇面偏軸發光、減光型像移圖罩、搭配濕浸式微影系統、及 Y 偏振光源。經由模擬計算求出最適化後所需之照射能量(Exposure Energy)，改變間距，量測焦深，繪製禁止間距圖。

2. B4 組合：

組合類型為環形偏軸發光、減光型像移圖罩、搭配濕浸式微影系統、及 Y 偏振光源。進行模擬計算求出最適化後所需之照射能量，改變間距，測焦深，繪製禁止間距圖。

3. C4 組合：

組合類型為雙孔偏軸發光、減光型像移圖罩、搭配濕浸式微影系統、及 Y 偏振光源。進行模擬計算求出最適化後所需之照射能量，改變間距，測焦深，繪製禁止間距圖。

4. 相互比較：

上述三種類型的偏軸發光形式，進行模擬計算求出最佳化的類型，將三條曲線合成一張圖作比較。由以上之結果，我們得知，在偏軸發光中，以四扇面之效果最佳，故將使用四扇面偏軸發光改變不同的聚光當量值。繪製禁止間距的草圖。

5. 加入散條初步修正：

使用四扇面偏軸發光，搭配 Y 偏振光、減光型相移圖罩、濕式系統。

並進行模擬計算求出最適化後所需之照射能量，並由上述所繪製之禁止間距圖，參考焦深最高和低之距離，於孤立線時，在適當之距離加入全條遮光、全條減光、陣列減光三種散條作修正。

6. 全條減光的尺寸選定：

經由前述方法以找出適當區間範圍，參考先前學長所設定的尺寸，於孤立線時，在適當之距離加入合適大小的全條減光，此時暫定透射度為 0.5、相移角度 30 度，並且繪製禁止間距圖。

7. 陣列減光的尺寸選定：

與前述方法相同，在適當間距範圍內，依照先前學長所設定的尺寸當作經驗值，於 65 奈米線寬條件下時，加入合適大小的陣列減光散條，此時暫定透射度為 0.5、相移角度 0 度，並且繪製禁止間距圖。

8. 陣列減光群組模擬：

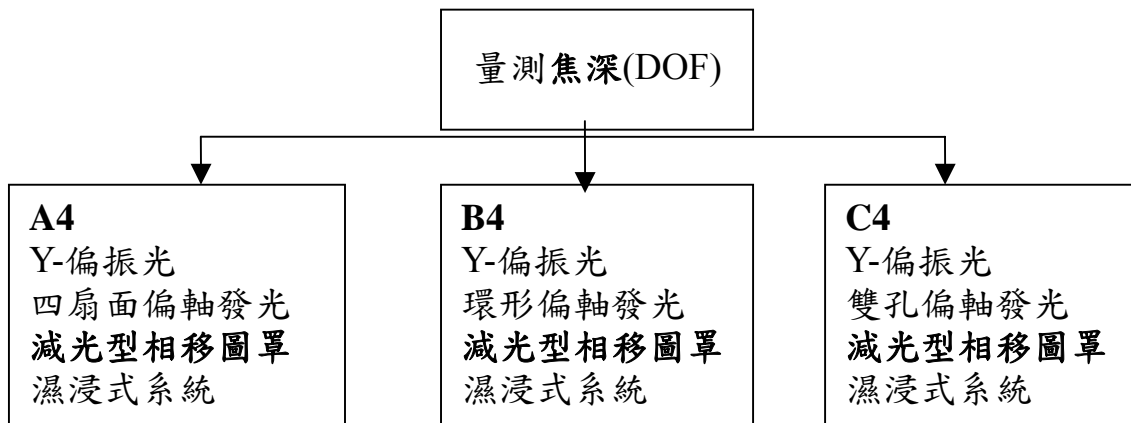
A4 的組合藉由第七步驟找出適合的陣列減光尺寸，一樣改變不同的透射度，因為陣列減光已不考慮相移角度的問題，所以改變透射度從 0.3 到 0.6 與第八步驟相同，每次調高 0.1，繪製禁止間距圖。

9. 全條減光群組模擬：

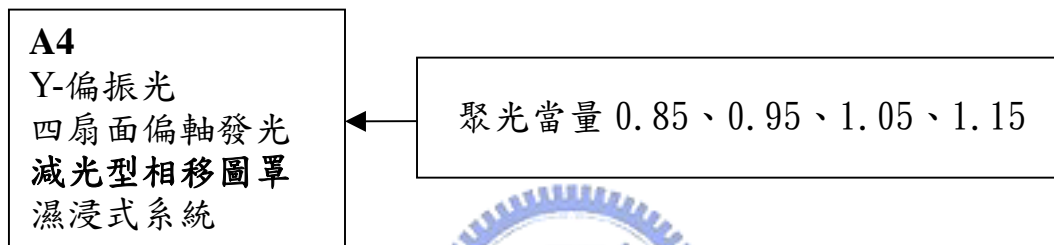
此處使用四扇面偏軸發光，搭配 Y-偏振光、減光型相移圖罩、濕浸式系統，即 A4 的組合進行模擬。藉由第六步驟求出最適化的減光型散條修正尺寸，改變不同透射度來搭配不同的相移角度，參考焦深最高和低之距離，於孤立線時，在適當之距離加入全條減光，可能是一條或兩條並且繪製禁止間距圖。透射度的變化從 0.3 到 0.6，每 0.1 作一次改變，並搭配相移角度從 20 到 50 度。對 40、50、60 奈米尺寸全都進行模擬，繪至焦深與間距的關係圖。

針對焦深可容許範圍之設定，因阻劑厚度設為 195 奈米，焦深需較阻劑厚度大，故設定 200 奈米(0.2 micron)為可接受值。

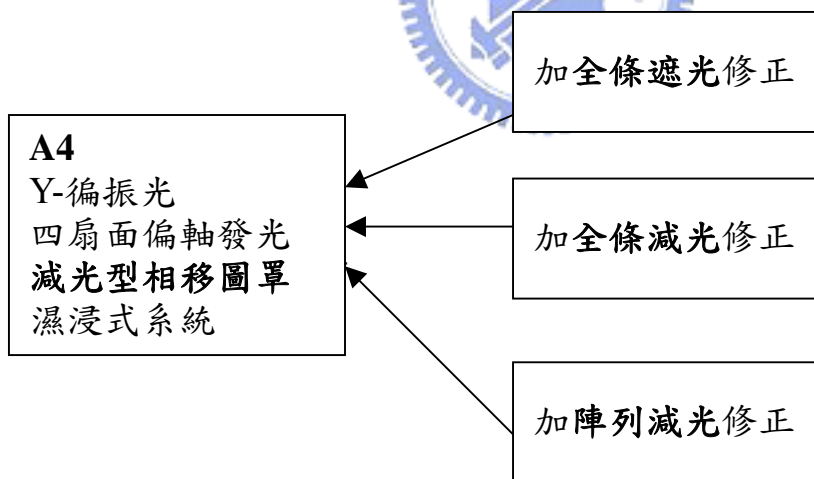
模擬規劃步驟流程圖如下：



選出表現最佳的 A4，再對不同聚光當量(NA)作比較。

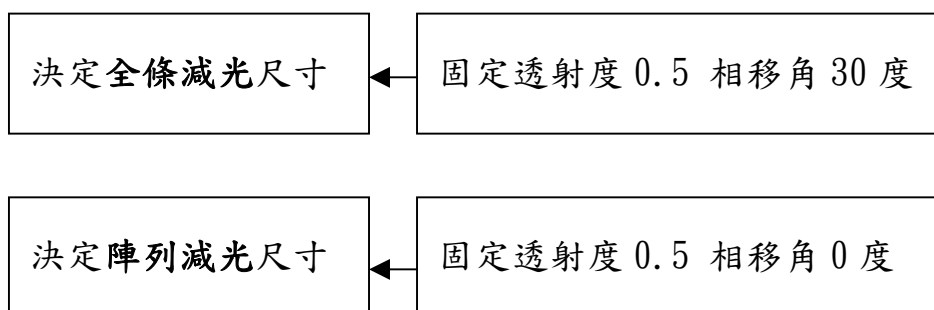


數值為 0.85 的 A4 表現最好，所以之後模擬皆以此為出發。

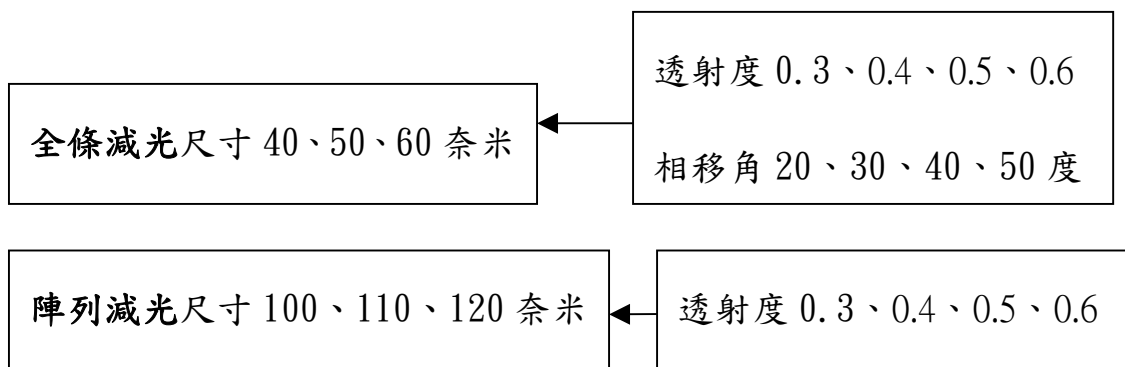


量測焦深來決定何種散條類型的表現最好，之後模擬皆以此為目標。

先找出全條減光和陣列減光最適合的散條尺寸。



確定全條減光的尺寸為 40、50 以及 60 奈米；陣列減光則是 100、110、120 奈米。



選出焦深提高最多的組合，及配合不同相移角度和透射度的那一組。為 65 奈米線寬大小時，搭配本論文內設定之模擬參數條件下，效果最好的散條修正類型。



3.2 嘗試性模擬

3.2.1 NA=1.2042 與 0.8515 模擬

聚光當量設定為 1.2042 的意義在於阻劑內折射角為 45 度，搭配阻劑的折射率 1.7 所得結果。當折射角 45 度代表使用橫磁偏振光(X-polarized)會產生 90 度的夾角，無干涉作用發生，不利於成像。因此，特地做此一角度下的 NA 值模擬。而 0.8515 則是把角度變小點，等於偏振光的夾角為 60 度(阻劑內折射角 30 度)，可以與前者相較。當夾角為 90 度時，橫磁的對比度大約只是橫電的 0.75，而夾角縮小後可以增進到 0.85，用此說明聚光當量值越大，成像並非越佳。見圖 2.6。

3.3 應用公式

一. 符號說明：

λ ：照射波長

$R\%$ ：反射率

$T\%$ ：透射率

n ：折射率

k ：吸收係數(消光係數)

n_1 ：空氣之折射率

n_2 ：基材(石英)之折射率

d ：嵌附層之厚度

d_{180} ：相移 180 度所需之嵌附層厚度

NA ：數值孔徑(聚光當量)

K_1 ：與解像度相關之製程參數

K_2 ：與焦深相關之製程參數

Contrast：空間影像對比度

I_{max} ：光強極大值

I_{min} ：光強極小值

σ ：光圈(空間)相擾度，偏軸時以外徑為基準

E ：光子能量

$\Delta\theta$ ：相位差

$\Delta\delta$ ：光程差



二. 相關公式及定義：

1. 理論解像度

$$R = K_1 \lambda / \sin \theta \quad (\text{沿軸發光+雙光強圖罩 } \sigma=0, K_1=1/2 ; \sigma=1, K_1=1/4)$$

$$(\text{偏軸發光+雙光強圖罩 } \sigma=0, K_1=1/3 ; \sigma=1, K_1=1/4)$$

$$(\text{沿軸發光+雷文生相移圖罩 } \sigma=0, K_1=1/4 ; \sigma=1, K_1=1/4)$$

2. 源自瑞利規範原始焦深

$$DOF = K_2 \lambda / \sin^2 \theta \quad (K_2=1)$$

變更原始定義之廣義焦深 (對阻劑繞射焦深)

$$DOF = K_2 \lambda / \sin^2 \theta \quad (K_2 > 1.7, 1 \times n_{resist} \sim 1.7)$$

3. 空間影像對比度

$$Contrast = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

4. 透射率

$$T = (1 - R) \exp(-4\pi kd/\lambda) \quad \text{定義透射率 } T\% = 1 - 100R, \text{ 透射度 } T = 0 - 1$$

5. 反射率

$$R = [(n-1)^2 + k^2] / [(n+1)^2 + k^2]$$

6. 相移厚度

$$d = m\lambda\theta / 2(n-1)\pi, \quad (m = 1, 3, 5, \dots)$$

7. 相移角度

$$\theta = 2(n-1)\pi d / m\lambda, \quad (m = 1, 3, 5, \dots)$$

8. 吸收係數

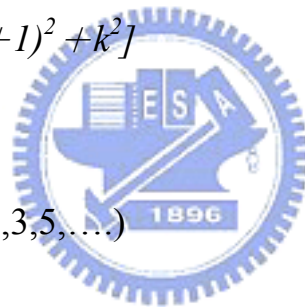
$$k = \frac{\lambda \ln[(1-R)/T]}{4\pi d}$$

9. 透射率與相移厚度之關係

$$\ln T = \ln(1-R) - (4\pi kd/\lambda)$$

10. 相位差($\Delta\theta$)與光程差($\Delta\delta$)之關係

$$\frac{\Delta\theta}{2\pi} = \frac{\Delta\delta}{\lambda}$$



第四章 結果與討論

4.1 禁止間距產生之問題

當元件愈小，線寬愈來愈細時，線寬固定，而間距增加時，在某些間距會產生正規化成像斜率對數、像比、關鍵尺寸、焦深、製程視窗等不符需求之現象。這些有問題的間距可稱為“禁止間距”。禁止間距發生之原因有：

1. 高階光進入圓心區，如同背景光。
2. 高階光在圓心區所佔之面積。
3. 高階光與零級光重疊

在論文中，以焦深的變化來觀察禁止間距。而製程視窗影響焦深甚大，與製程視窗有關的有四個參數，包括：線寬、側壁角度、阻劑損失、照射寬容度。在製程上，這四個參數也是控制焦深的關鍵。當我們提到增進焦深最常見的方法是偏軸發光和濕浸式系統。在所有偏軸發光的情形，不論是四扇面、環形、雙孔，禁止間距依然會發生。

為了降低零級光(背景光)的影響，加入全條遮光是常見的方法。但隨微影技術的發達，因全條遮光寬度太小而不易製作。為了改善全條遮光的缺點，可採用“全條減光”和“陣列減光”來增進焦深，優點為寬度可比較全條遮光更大，製程上較容易；其缺點為透射度或相移角度控制不易。

4.2 模擬焦深之結果

增進解像度與焦深最常見的方法為偏軸發光與濕浸式微影，在此先以偏軸發光、濕浸式微影、偏振光、嵌附式減光型相移圖罩等解像度增強技術觀察是否可增進焦深與改善禁止間距。

A4、B4、C4 三種偏軸發光結果得知，以四扇面偏軸發光所得到之焦深較佳。並可得知，無論在哪一個偏軸發光下，每增加一種解像度增強技術，

其焦深會有整體改善。

當線寬固定(65 奈米)，而間距增加時，焦深會明顯不足，為了降低零級光(背景光)，加入全條遮光可有效增加焦深，消除禁止間距。

探討全條減光之影響，在孤立線時，相位差較小時，大部份可增進焦深，但效果無全條遮光佳；而相位較大時，較無規則，部份對焦深佳，部份對焦深差，甚至會低於孤立線，即無加入任何全條遮光或全條減光等，主要原因為相位差和光程差成正比(重要公式 11)之影響，造成焦深之下降，由此可得知，必需限制其相位差不可過大，並由上述所提之公式

$$d = \frac{m\lambda\theta}{2(n-1)\pi}$$

可得知，相位差與相移層厚度有一定的關係，相移層厚度愈

小，其相位差會較小，可利用此控制其相位差之影響，並由材料本身之性質與厚度，來控制其透射度與相位差，達到所需要的全條減光。

進一步探討陣列減光之影響，孤立線時，可明顯看出部份效果甚至可比全條遮光佳，無相位差之影響，影響焦深，但在製程中蝕刻陣列圖案甚困難為其缺點。比較各種散條之模擬計算焦深對間距的影響。

由以上得知，在孤立線時，加入全條遮光與陣列減光效果較佳；全條減光因有相位差影響光程差，導致焦深變化大。但全條遮光太小，不易製作，故以下將對全條減光及陣列減光探討，討論是否可搭配濕浸式微影、Y-偏振光及減光型相移圖罩使用不同的相移角度以及透射度，達到增進較佳的焦深提升效果。

$$|Mag|_{0^{th} \text{ order}} = \left(\frac{s}{p} \right)$$

$$|Mag|_{1^{st} \text{ order}} = \left| \left(\frac{s}{p} \right) \text{sinc} \left(\frac{s}{p} \right) \right| = \left| \frac{\sin(180 \times s/p)}{\pi} \right|$$

$$|Mag|_{2^{nd} \text{ order}} = \left| \left(\frac{s}{p} \right) \text{sinc} \left(\frac{2s}{p} \right) \right| = \left| \frac{\sin(360 \times s/p)}{2\pi} \right|$$

s : 間隙; p : 間距

(a) 雙光強圖罩之繞射光幅

$$\begin{aligned} |Mag. |_{0^{th} \text{ order}} &= \left[1 - \left(\frac{b}{s} \right) \right] \cdot \left(\frac{s}{p} \right) \\ |Mag. |_{1^{st} \text{ order}} &= \left| \left(\frac{s}{p} \right) \text{sinc} \left(\frac{s}{p} \right) - \left(\frac{b}{p} \right) \text{sinc} \left(\frac{b}{p} \right) \right| = \left[\frac{\sin(180 \times s/p)}{\pi} \right] - \left[\frac{\sin(180 \times b/p)}{\pi} \right] \\ |Mag. |_{2^{nd} \text{ order}} &= \left| \left(\frac{s}{p} \right) \text{sinc} \left(\frac{2s}{p} \right) - \left(\frac{b}{p} \right) \text{sinc} \left(\frac{2b}{p} \right) \right| = \left[\frac{\sin(360 \times s/p)}{2\pi} \right] - \left[\frac{\sin(360 \times b/p)}{2\pi} \right] \end{aligned}$$

b : 全條遮光寬度

(b) 加入單一全條遮光散條修正之繞射光幅

$$\begin{aligned} |Mag. |_{0^{th} \text{ order}} &= \left[1 - \left(\frac{b}{s} \right) (1 - \sqrt{I_b}) \right] \left(\frac{s}{p} \right) \\ |Mag. |_{1^{st} \text{ order}} &= \left| \left(\frac{s}{p} \right) \text{sinc} \left(\frac{s}{p} \right) - (1 - \sqrt{I_b}) \left(\frac{b}{p} \right) \text{sinc} \left(\frac{b}{p} \right) \right| = \left[\frac{\sin(180 \times s/p)}{\pi} \right] - (1 - \sqrt{I_b}) \left[\frac{\sin(180 \times b/p)}{\pi} \right] \\ |Mag. |_{2^{nd} \text{ order}} &= \left| \left(\frac{s}{p} \right) \text{sinc} \left(\frac{2s}{p} \right) - (1 - \sqrt{I_b}) \left(\frac{b}{p} \right) \text{sinc} \left(\frac{2b}{p} \right) \right| = \left[\frac{\sin(360 \times s/p)}{2\pi} \right] - (1 - \sqrt{I_b}) \left[\frac{\sin(360 \times b/p)}{2\pi} \right] \end{aligned}$$

b : 陣列減光寬度

I_b : 陣列減光之光強

(c) 加入單一陣列減光散條修正之繞射光幅

由以上之公式得知，在孤立線時，因零級光較大，加入單一全條遮光或陣列減光，可明顯降低零級光之光幅，焦深會增加，一級光和二級光之光幅依然會降低，對焦深亦有影響，但因零級光之影響較大，可由此降低零級光，增加焦深。如以二條以上散條修正，則全條遮光、全條減光與陣列減光皆另有修正公式，因甚複雜，故從略。

4.3 三種類型散條之模擬結果與討論

4.3.1 基礎比較與聚光當量改變之模擬

主要是在禁止間距下討論焦深不足的問題，更深入的去對全條遮光、全條減光、陣列減光三種不同類型散條修正方法做研究。希望能找到最好的焦深提升效果。

首先參數設定可見表 2.3，A4、B4、C4 的差別在於偏軸發光型式：A 是四扇面，B 是環形，C 則是雙孔發光，並同時使用 Y 偏振光，搭配減光型相移圖罩以及濕浸式微影。由於線幅大小已改為 65 奈米，所以阻劑厚度也設為線寬的三倍（195 奈米），禁止間距會出現在孤立線($p > 4b$)的情形下，所以把線隙比設為 1 比 3，也就是間距從 $65 \times 4 = 260$ 奈米開始做起。

從圖 4.1 可以清楚的發現：A4 的焦深都比 B4 和 C4 好得多，其好壞的依據主要是看焦深的數值有無達到所求。因為我們設定的阻劑厚度是 195 奈米，所以可以接受的焦深大小值，至少要有 200 奈米。但從間距 380 奈米開始，A4 的焦深也只有 0.2（即 200 奈米），並且開始急降。因此，決定從這個間距當起始，開始加入不同類型的散條以及不同數量來修正。

另外要注意的是，因為已經使用了濕浸式微影，所以聚光當量值應該設定更大。目前可以做到的極限，至少是 $0.93 \times 1.44 = 1.34$ ，但是把聚光當量放大，對於 65 奈米下焦深的影響，其實是負面的。比較 NA 值 0.85、0.95、1.05、1.15 的模擬，效果還是在 NA=0.85 時較好（見圖 4.2）。可以看到當聚光當量值為 0.85 時，間距一直到 380 奈米，都還是可以接受的數值大小（0.2）。隨著聚光當量值不斷放大，可以接受的間距就一直往後退。NA=0.95

時，大概是 350 奈米；NA=1.05，是 310 到 320 奈米間；NA=1.15 的焦深，甚至都沒有超過 0.2。雖然 500 奈米以後圖形，看出四條曲線都已經降到很低的焦深了。至少，在 500 奈米之前，0.85 的曲線，明顯優於其他三者。所以，我們選定 0.85 作為聚光當量值。也從最新的文獻驗證，做到 65 奈米以下的線寬時，大的聚光當量值才有實際幫助。否則，焦深會隨著聚光當量的放大而縮小。

4.3.2 未最適化前之修正效果

圖 4.3 是初步的比較圖，加入的散條為全條遮光(Scattering Bar)、全條減光(Attenuated Assist Feature)、陣列減光(Grey Bar)三種，從圖形可以看出，效果最好的是全條遮光，次之的是陣列減光，最後則是全條減光。全條遮光與陣列減光都沒有相移角度，差別在於透射度：遮光是透射度為零；減光則是在 0.3 到 0.6 之間。全條遮光與全條減光差了相移角度，全條減光角度是介於 20 到 50 度。但是，因為尚未對全條減光以及陣列減光作最適合的調控，所以得到的數值並不能當做結論。然而，加入三種散條的修正後，皆能提升焦深值，也因此我們可以對陣列減光、全條減光，做進一步的探討。全條減光的改變條件有：相移角度大小和透射度高低，另外，還有尺寸的考量。陣列減光的差別在相移角度固定為零度，透射度高低以及尺寸的影響，還是要經過模擬獲得。

對於全條遮光來說，尺寸設定 30 奈米會比 20 奈米時顯著，而 40 奈米時

會顯影，所以選定 30 奈米做全條遮光的尺寸。尺寸較大不會顯影，更有利於實際製備。至於加入散條的數量，經過多次嘗試，發現間距 520 奈米時，加入兩條全條遮光散條會比只加入一條來得佳。間距 700 奈米時，加入三條又優於兩條。所以 520 和 700 分別為增加全條遮光散條數目的臨界點。

接著來看全條減光的影響，此處全條減光散條先固定相移角度在 30 度，搭配透射度 0.5，尺寸使用 40 奈米。這個設定條件是預設，並非最好的，只是要先確認加入後是能提升焦深就可以。另外要先跑過 50 奈米和 60 奈米的數據，雖然，這兩者皆會提升焦深，但幅度不如尺寸是 40 奈米來得明顯。於是，暫定 40 奈米來做初步的比較。至於散條的數目，是經由模擬嘗試獲得。當間距為 540 奈米時，兩條散條的效果與一條相同，但 560 奈米開始，加入兩條會較加入一條散條有更好的提升焦深效果。而 650 奈米一直到 850 奈米，加入三條的效果與加入兩條皆相同，當然選擇加入兩條減光散條。省去製備的困難，也節省了成本的消耗。在全條減光的情形下，從 560 奈米開始，才需要加入兩條散條來提升焦深。與全條遮光相較，尺寸較大一些，不會有顯影的問題，在 850 奈米的間距範圍內，加入的數目不需三條以上。然而效果不如遮光散條佳，因此還需在 65 奈米線寬的條件下，找出最適當的透射度，搭配相移角度，來達到相近的效果。

陣列減光的尺寸大小選定 90、100、110、120 奈米四種來做比較，希望散調寬度較大，方便製作，提升焦深的幅度也夠高。初步的模擬後，暫定

寬度 120 奈米拿來與前述兩者散條修正作比較。對陣列減光散條來說，一直到 650 奈米才需要加入第二條散條作修正，因為在 600 奈米時，加入兩條的效果還不如只加入一條好。嘗試在間距 800 奈米時，加入第三條陣列減光散條，但效果不彰。於是，從 650 到 850 奈米，皆加入兩條散條即可。值得注意，從全條遮光到全條減光，再到陣列減光，加入第二條散條的間距點一直往後延，只加入一條散條所能涵蓋的範圍越來越廣。從全條遮光 520 奈米就要第二條散條的加入，到全條減光 560 奈米時才需要，到陣列減光 650 奈米才加入第二條陣列減光散條。再者，還可從圖形看出，陣列減光的提升效果要比全條減光來得佳，但仍遜於全條遮光。所以，往後的探討會著重在後兩者的效果提升。



4.4 全條減光尺寸模擬

由於做的是 65 奈米線寬的模擬，所以散條尺寸的選定，會是第一考量。要能達到修正解像度與提升焦深的效果，又不能發生顯影的情形。依過去的經驗來做假設，慢慢找出尺寸大小。基本上，先對照過去作 90 奈米時所使用的散條寬度做假設，使用全條減光的尺寸是 50 奈米。於是先嘗試模擬，找出趨勢與效果，再慢慢縮小範圍，最後得到 40、50 及 60 奈米，都是可以接受的寬度大小，並對這三種尺寸做進一步討論。

圖 4.4 就是這三種尺寸的相較圖，首先固定相移角度在 30 度，配合 0.5 的透射度，間距都從 380 奈米開始做起，加入散條的數量也都一樣。如同

之前提到，380 奈米到 540 奈米，只使用一條散條來提升焦深。560 奈米之後，都是兩條散條。可以由圖形發現，尺寸 40 奈米的散條，在間距 460 奈米之前表現最好，460 奈米到 540 奈米之間，卻是 60 奈米尺寸的散條表現最佳。加入兩條散條的數量後，60 奈米與 50 奈米幾乎差不多，所以，沒辦法斷定，到底這三者中，哪一個才是最佳。因為模擬時參數甚多，變異太大，只能先固定一個相移角度，搭配其中一種透射度，再來看出初步的趨勢而已。既然，得到的結果差距不大，那麼，接續要做相移角度變化、透射度變化，我們選出的尺寸就會把這三種都列入考量。

值得一提的是，即使是加入了散條做修正，我們還是發現在間距 380 到 440 奈米左右，會有不錯的效果。但是在這個範圍之後，焦深是有較原始數據來得高。不過，仍沒辦法達 0.2 微米的最低需求值。不論是加入一條散條或兩條都一樣，主要的原因應該是，我們並沒有好的搭配措施。也就是即使使用同樣的散條類型，也必須選對相移角度、透射度，互相搭配之下，才能做到最好的提升能力。

後續模擬預計的目標，因為沒辦法明確分別寬度大小的差距，需求是容易製備，且不會顯影，更可以提升焦深到可接受的程度（0.2）之散條組合。所以，使用之前設定不會顯影的散條尺寸，規劃變化組別十六組（相移角度從 20、30、40、50 度，透射度 0.3、0.4、0.5、0.6），因為，全條減光的相移角度範圍 20 到 50 度，透射度是 0.3 到 0.6。因此，這樣的模擬組

合形式，已儘可能包含所有的可能性。

4.5 陣列減光尺寸模擬

同樣的，依照我們對全條減光所做的模擬，首先還是從陣列減光的尺寸著手。依照 90 奈米線寬，所加入的陣列減光散條尺寸之大小，來找出可以供我們使用的尺寸範圍。過去學長是在透射度 0.5 時，使用 100 奈米的陣列減光散條做修正。因此，我的起始點就依此這個數據，往上和往下作模擬。所有的規範都有一致性：要能增加焦深，並且不能在顯影的步驟時產生影像。在多次的模擬結果後得知，以下四種尺寸都會有提升效果。包含：90、100、110、120 奈米四種。




圖 4.5 是這四種尺寸的初步模擬結果，曲線的趨勢其實很接近。不管間距如何改變，110 和 120 奈米的尺寸，表現都是最好。與全條減光各尺寸相較，每種尺寸的差距其實明顯許多。90 奈米的修正效果與 120 奈米之間的差距比較大，雖然只是零點零幾微米的差距，但是在圖形中就已經是可以區分出間隔的。120 奈米的表現最佳，不僅止在間距小的時候。當間距逐漸提高到 560 奈米以上，有幾個數值與 110 奈米的大小相重疊，但是沒有低於另外三種尺寸的修正能力，對於焦深的提升效果仍舊最好。

固定陣列減光散條的透射度為 0.5，因為參數太多，為了先對尺寸作調整，其他可能的變數都要預先設定，所以假設在此數值。先對尺寸進行模擬，找出適當的散條寬度後，依照這個結果，繼續探討不同透射率配合不

同尺寸的關係。基本上，90 奈米的焦深提升效果，皆不如其他三種寬度的陣列減光散條，因此接續的模擬就 100、110、120 奈米三種尺寸作研究。

4.6 陣列減光群組模擬討論

緊接著我對不同透射度的陣列減光散條作模擬。從間距 380 奈米做起，因為那是焦深開始低於 0.2 的起始間距。設定了四種透射度，分別為 0.3、0.4、0.5、0.6，由於之前的模擬結果，無法明顯區分出尺寸大小的重要差別，所以三種接近的尺寸都拿來作討論(100、110、120)。

首先，我們介紹透射度 0.4 的圖形 4.6。可以發現尺寸 120 奈米的陣列散條，在間距 380 到 440 奈米之間，提高焦深的效果不如尺寸 110 以及 100 奈米。但是，自 440 奈米的間距開始，明顯看出尺寸 120 奈米的效果已經很顯著的提高焦深。整體的趨勢也都優於其他兩者。不過規律性仍不一致，所以在此透射度之下，無法明確去判定，到底哪一個陣列散條的修正效果最好。

接著，我們再降低透射度到 0.3，從所得的圖 4.7 來觀察。這時，120 奈米的陣列散條修正效果，相較於 0.4 的透射度來說，間距 380 到 410 奈米之間，仍舊有小部分是低於 110 以及 100 奈米的效果。然而，我們已經把低於其他兩者的間距縮短了。從 410 奈米的間距之後，整體的趨勢越來越明顯。陣列減光散條寬度 120 奈米，甚至到間距 700 奈米時都還有 0.19 的焦深。這是很好的提升效果。於是這邊會做個預測，是不是固定其他變

數後，當透射率越高，會越使得尺寸較大的陣列散條，在間距小的時候，能有較高的焦深值？

繼續做透射度 0.5、0.6 的模擬數據，希望來得到驗證。從圖 4.6 看，結果並不如預期這麼有規律性，在透射度 0.5 時，尺寸 120 奈米的陣列散條，大部分修正數據值都優於 110 以及 100 奈米的尺寸。但是，在間距 380 奈米時焦深會小於其他兩種尺寸所得的數值。隨著間距持續加大，一路到 600 奈米時，也開始會低於這兩者的效果，並且在間距 700 奈米時之焦深值，也沒有如同透射度為 0.4 的時候來得大。合理推斷，透射度高可能對尺寸大的修正散條有利，但是在一定的透射度範圍內，會有好的效果，一旦開始大於這個值，就又失去規律性。當透射度為 0.6 時，120 奈米尺寸的散條整體趨勢都會比 110 以及 100 奈米的來得好。為了方便起見我們把所有圖形疊合在一起來分辨。最好的是尺寸 120 奈米搭配透射度 0.3 的數據群。缺點為間距 380 到 440 奈米這區間內，焦深值低於其他數列。但最嚴重的問題是，透射度 0.3 時模擬所得的數據點，幾乎都會顯影。這是我們沒辦法接受的缺陷，一旦顯影發生，就與當初的限制相抵觸。

所以我們退而求其次，把透射度 0.3 的三條線移除後，發現有最好效果變成透射度 0.4，尺寸 120 奈米的。

4.7 全條減光群組模擬討論

同樣對全條減光散條，也經由模擬找出最適合的透射度搭配相移角度之

組合。使用散條的尺寸定為 40、50、60 奈米三種，透射度都涵蓋了 0.3、0.4、0.5、0.6 四種。因為透射度 0.2 會導致成像，故未使用。首先，對相移角度 20 度的散條來作模擬。經由圖 4.8 可以得知，60 奈米尺寸下，透射度 0.3 者有最好的效果。當透射度大於 0.3，零級繞射光強度較高，不利於焦深。接著作相移角度 30 度的模擬，一樣可以在圖 4.9 看出，搭配透射度 0.3，尺寸 60 奈米的散條效果佳。相移角度會使孤立線條件下，提升焦深的效果提早發生。在 20 度時，要到 420 奈米間距過後，才看出差異；但 30 度時，只要到 400 奈米就看出差別了。相較之下，圖 4.10 及 4.11 差別更明顯，只要透射度 0.3 搭配 60 奈米的大小，提昇的焦深幅度很大。圖 4.12 到 4.15 分別是透射度 0.3 到 0.6 不同相移角度的比較，當透射度低的時候，可以更容易分出相移角 50 度的優勢，而圖 4.16 到 4.19 則是討論相移角度從 20 到 50 度之不同透射度對照，可以清楚的發現，隨著相移角度越大，透射度 0.3 所提昇焦深越高，從圖 4.12 開始，只對 60 奈米比較，因為圖 4.8 到 4.11 中得知，60 奈米的曲線都是提昇焦深最好的一組。

再從陣列減光與全條減光中選出效果最好者，與全條遮光對照，依據圖 4.20 看到兩者效果與全條遮光不相上下。因此，這兩種散條搭配的相移角度及透射度組合，是本論文各參數設定條件下(，效是效果較好的組合。

4.8 不同聚光當量值對於橫磁與橫電的影響

圖 4.21 與 4.22 為不同聚光當量的比較，當此值為 1.2042 時，在阻

劑內的折射角為 45 度，代表使用橫磁偏振光(X-polarized)會產生 90 度的夾角，無干涉作用，不利於成像。圖 4.21(b)、4.22(b)比較可以看出對比度數值的差距。而 0.8515 則是把角度變小點，等於偏振光的夾角為 60 度(阻劑內折射角 30 度)，可以與前者相較。當夾角為 90 度時，橫磁的對比度值約只是橫電的 0.75 上下，夾角縮小後，可以增進到 0.85 左右。證明了聚光當量值在 1.2042，不僅使得橫磁偏軸發光的對比度是一個最低數值，焦深也不足。圖 4.21(a)與圖 4.22(a)對照，聚光當量值為 0.8515 時，焦深高出許多。圖 4.23(a)(b)分別是聚光當量值為 1.4748 的焦深及對比度比較，可看出經過夾角 90 度的最低對比度數值之後，大或小於此夾角後，對比度又開始回升。

見圖 4.24 可知，聚光當量值的改變，對於橫磁偏振光來說，對比度影響很大。當其值為 1.2042 時，即代表偏振光夾角 90 度，其值為 0.8515 以及 1.4748，則各為夾角 60 度及 120 度。對比度最差者，即是橫磁偏振光束夾角在 90 度時，此結果與預期相符合。橫電偏振光受聚光當量值影響甚小(圖 4.25)



1. 由本論文 A4、B4、C4 三種組合模擬得知，四扇面偏軸發光、濕浸式、Y-偏振光和減光型相移圖罩搭配之組合，效果最佳；以雙孔偏軸發光、乾式系統、未偏振光和雙光強圖罩，效果最差。因參數甚多，模擬未經最適化處理，故此結論僅為相對比較結果。
2. 在孤立線時 (本論文以 $p > 4b$ 為準)，常以散條進行光學鄰近效應修正，可增進解像度與焦深，散條可分全條遮光、全條減光、陣列減光三種，各有利弊。
3. 全條遮光優點為製備容易；缺點為較寬時容易成像。全條減光優點為寬度可較全條遮光更大且可改變透射度，缺點為會有相位差，所以必需限制其相位差不可過大。可藉由嵌附層厚度變小，來改善其缺點，但須注意透射度會上升。全條減光若以相位為 360 度，來達到相對相位差為 0，

可有效降低相位差造成光程差之缺點，但其厚度較大，透射度將會變小，較易成像。陣列減光，優點為無相位差之影響、可改變透射度、寬度較全條遮光與全條減光為寬，缺點為蝕刻細微陣列圖案甚困難，且圖案種類甚多，不易選擇。

4. 固定相移角度以及全條減光散條的尺寸來做討論，則角度從 20 到 50 度都是透射度 0.3 效果為佳。透射度 0.3，在本論文設定的參數條件下，有最佳表現。
5. 固定透射度、全條減光散條的尺寸也維持不變，相移角度越大者(20-50 度)，有相對較明顯的提升焦深效果。隨著透射度從 0.3 到固定為 0.6 時，相移角度大者還是優於小者。透射度升高，可以看到，間距較小時，相移角度小的焦深較高。如：透射度 0.6 時，間距從 380 到 460 奈米之間，20 度的結果會優於 50 度的。
6. 對於陣列減光而言，整體的比較下，當透射度為 0.4，寬度 120 奈米，以及使用所有前述的參數時，有最佳的焦深提高效果。
7. 就聚光當量來討論：橫磁偏振光的夾角在 90 度時，無干涉作用，合向量光強僅為數學和， $I=I_1+I_2$ ，對比度僅約橫電偏振光的 0.75，兩橫磁偏振光束的夾角大於或小於此數值後，此現象消失，橫磁偏振光的對比度提升到橫電偏振光的 0.85 左右，焦深也提昇。證明橫磁偏振光受聚光當量值影響大，而橫電偏振光影響甚小。90 度時，橫磁偏振光的像比最差。

年 度	里 程 碑	廠 商	時 代	
1904	發明二極真空管	Fleming	真空管	
1906	發明三極真空管	-		
1947	發明電晶體	Bell Lab	電晶體	
1951	採用 Gallium Arsenide 材料	Siemens		
1953	發表矽太陽電池	Bell Lab		
1954	發表 Zener 二極體	NS		
1956	發表 Silicon Controlled Rectifier	General Electric		
1958	首顆 IC 開發完成	TI	SSI (10 ¹)	積 體 電 路
1961	第一顆商用 IC 上市	Fairchild、TI		
1963	發表 TTL Logic IC	Sylvania		
1963	發表 Linear IC	Fairchild、TI	MSI (10 ²)	
1964	發表 MOS IC	General Microelectronics		
1968	發表 CMOS IC	RCA		
1969	ROM 上市	Electronic Arrays		
1970	計算器用單顆 IC 上市	TI	LSI (10 ⁴)	
1970	開發 1K DRAM	Intel		
1971	發表 EPROM	Intel	LSI (10 ⁴)	
1972	開發 Microprocessor	Intel		
1973	開發 EEPROM	NCR		
1975	日本發表發展 VLSI 計畫	MITI/NTT		
1976	開發 64K DRAM	-	LSI (10 ⁴) VLSI (10 ⁶)	積 體 電 路
1978	發表語音合成 IC	TI		
1980	台灣新竹科學園區設立	台灣		
1980	發表 DSP IC	Bell Lab		
1981	發表 32 bit Microprocessor	AT&T		
1982	發表 IBM PC	IBM		
1982	正式生產 256K DRAM	Bell Lab		
1984	開發 VRAM	TI		
1985	1M DRAM 開發完成	IBM/AT&T		
1986	美日簽定半導體貿易協定	DOC、MITI		
1986	4M DRAM 論文發表	-	VLSI (10 ⁶)	
1987	16M DRAM 論文發表	NTT		
1989	第一顆 16M DRAM 開發成功	Hitachi/TI		
1991	64M DRAM 論文發表	Fujitsu 等		
1992	16M Flash 論文發表	NEC		

1993	256M DRAM 論文發表	Hitachi/NEC	ULSI (10^8)
1993	1G DRAM 論文發表	NEC	GLSI (10^9)

註：SSI(Small-Scale Integration)指一顆晶方(Chip)含~10 個電晶體

MSI(Medium-Scale Integration)指一顆晶方(Chip)含~ 10^2 個電晶體

LSI(Large-Scale Integration)指一顆晶方(Chip)含~ 10^4 個電晶體

VLSI(Very Large-Scale Integration)指一顆晶方(Chip)含~ 10^6 個電
晶體

ULSI(Ultra Large-Scale Integration)指一顆晶方(Chip)含~ 10^8 個電
晶體

GSI(Giga-Scale Integration)指一顆晶方(Chip)含~ 10^9 個電晶體



資料來源：工研院經資中心 ITIS 計畫，2000 年 9 月

表 1.1 半導體發展的大事記

Year of Production	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Technology Node		hp90			hp65		
DRAM							
DRAM $\frac{1}{2}$ Pitch (nm)	100	90	80	70	65	57	50
Contact in resist (nm)	130	110	100	90	80	70	60
Contact after etch (nm)	115	100	90	80	70	65	55
Overlay	35	32	28	25	23	21	19
CD control (3 sigma) (nm)	12.2	11.0	9.8	8.6	8.0	7.0	6.1
MPU							
MPU/ASCI Metal 1 (M1) $\frac{1}{2}$ pitch (nm)	120	107	95	85	76	67	60
MPU $\frac{1}{2}$ Pitch (nm) (uncontacted gate)	107	90	80	70	65	57	50
MPU gate in resist (nm)	65	53	45	40	35	32	28
MPU gate length after etch (nm)	45	37	32	28	25	22	20
Contact in resist (nm)	130	122	100	90	80	75	60
Contact after etch (nm)	120	107	95	85	76	67	60
Gate CD control (3 sigma) (nm)	4.0	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0	1.8
ASIC/LP							
ASIC $\frac{1}{2}$ Pitch (nm) (uncontacted gate)	107	90	80	70	65	57	50
ASIC/LP gate in resist (nm)	90	75	65	53	45	40	36
ASIC/LP gate length after etch (nm)	65	53	45	37	32	28	25
Contact in resist (nm)	130	122	100	90	80	75	60
Contact after etch (nm)	120	107	95	85	76	67	60
CD control (3 sigma) (nm)	5.8	4.7	4.0	3.3	2.9	2.5	2.2
Chip size (mm²)							
DRAM, introduction	485	383	568	419	662	449	356
DRAM, production	139	110	82	122	97	131	104
MPU, high volume at introduction	280	280	280	280	280	280	280
MPU, high volume at production	140	140	140	140	140	140	140
MPU, high performance	310	310	310	310	310	310	310
ASIC	704	704	704	704	704	704	704
Minimum field area	704	704	704	704	704	704	704
Wafer size (diameter, mm)	300	300	300	300	300	300	300

表 1.2 2004 年 ITRS 所定義的關鍵性微影需求

<i>Year of Production</i>	<i>2010</i>	<i>2012</i>	<i>2013</i>	<i>2015</i>	<i>2016</i>	<i>2018</i>
<i>Technology Node</i>	<i>hp45</i>		<i>hp32</i>		<i>hp22</i>	
DRAM						
<i>DRAM ½ Pitch (nm)</i>	45	35	32	25	22	18
<i>Contact in resist (nm)</i>	55	45	40	35	30	25
<i>Contact after etch (nm)</i>	50	35	30	25	21	18
<i>Overlay</i>	18	14	12.8	10	8.8	7.2
<i>CD control (3 sigma) (nm)</i>	5.5	4.3	3.9	3.1	2.7	2.2
MPU						
<i>MPU/ASCI Metal 1 (M1) ½ pitch (nm)</i>	54	42	38	30	27	21
<i>MPU ½ Pitch (nm) (uncontacted gate)</i>	45	35	32	25	22	18
<i>MPU gate in resist (nm)</i>	25	20	18	15	13	10
<i>MPU gate length after etch (nm)</i>	18	14	13	10	9	7
<i>Contact in resist (nm)</i>	59	46	42	33	30	23
<i>Contact after etch (nm)</i>	54	42	38	30	27	21
<i>CD control (3 sigma) (nm)</i>	1.6	1.3	1.2	0.9	0.8	0.6
ASIC/LP						
<i>ASIC ½ Pitch (nm) (uncontacted gate)</i>	45	35	32	25	22	16
<i>ASIC/LP gate in resist (nm)</i>	32	27	22	19	16	13
<i>ASIC/LP gate length after etch (nm)</i>	22	19	16	14	11	9
<i>Contact in resist (nm)</i>	59	46	42	33	30	23
<i>Contact after etch (nm)</i>	54	42	38	30	27	21
<i>CD control (3 sigma) (nm)</i>	2.0	1.7	1.4	1.3	1.0	0.8
Chip size (mm²)						
<i>DRAM, introduction</i>	563	353	560	351	464	292
<i>DRAM, production</i>	83	104	83	104	138	87
<i>MPU, high volume at introduction</i>	280	280	280	280	280	280
<i>MPU, high volume at production</i>	140	140	140	140	140	140
<i>MPU, high performance</i>	310	310	310	310	310	310
<i>ASIC</i>	704	704	704	704	704	704
<i>Minimum field area</i>	704	704	704	704	704	704
<i>Wafer size (diameter, mm)</i>	300	450	450	450	450	450

表 1.3 ITRS 所發表未來數年之微影技術路圖

散條	相位差	透射率
全條遮光	$\Delta\theta=0$	$T\%=0$
全條減光	$\Delta\theta\neq 0$	$T\%>0$
陣列減光	$\Delta\theta=0$	$T\%>0$

表 2.1 全條遮光、全條減光、陣列減光之特性



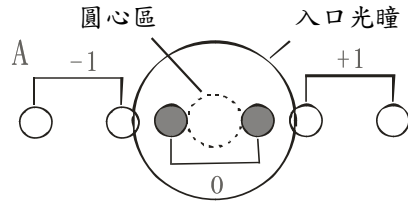
Material	Thickness	n	k	T (%)	θ
Cu	20 nm	0.9669	1.4026	7.71	-1.23
HfO ₂	20 nm	2.3191	0.2123	61.01	49.21
LiF	20 nm	1.4435	1.4435	14.74	16.55
MgF ₂	20 nm	1.4279	1.4279	15.06	15.96
Mo	20 nm	0.7880	2.3474	0.76	-7.91
MoN	20 nm	1.5171	1.3653	10.45	19.29
MoO ₃	20 nm	1.6027	0.6849	36.65	22.48
Ni	20 nm	1.0091	1.4536	7.15	0.34
Nb	20 nm	1.0997	0.9215	21.82	3.72
NbN	20 nm	1.8916	1.7589	5.26	33.26
Nb ₂ O ₅	20 nm	1.7687	1.1234	16.41	28.68
Pd	20 nm	0.7288	1.2798	7.87	-10.12
Pt	20 nm	1.4234	1.2882	11.88	15.80
Rh	20 nm	0.6980	1.7614	2.50	-11.27
Si ₃ N ₄	20 nm	2.6630	0.2451	53.37	62.04
SiO ₂	20 nm	1.5631	1.5631	12.43	21.01
Ta	20 nm	1.5645	1.7513	5.05	21.06
TaN	20 nm	2.0717	1.5300	7.99	39.98
Ta ₂ O ₅	20 nm	2.0519	1.2408	13.20	39.24
TaSi ₂	20 nm	1.1060	1.4603	7.51	3.95
Ti	20 nm	1.0735	1.1247	14.57	2.74
TiN	20 nm	1.5812	1.3060	11.77	21.68
W	20 nm	1.0518	2.1550	1.64	1.93
WN	20 nm	1.6603	1.7675	5.01	24.63
WO ₃	20 nm	1.6525	0.7986	28.66	24.34
YF ₃	20 nm	1.6054	0.0741	85.77	22.58

注：T (%) 是含石英 (SiO₂) 基材之透射率； θ 為由厚度與 n 計算得之，為絕對值，非相位差 ($\Delta\theta$)。

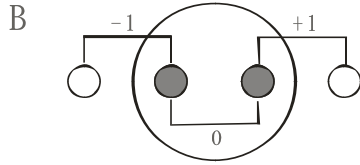
表 2.2 在 193 nm 波長下之減光材料之光學性質計算結果

Simulation Parameters Used		
Parameter Name	Value(s)	Comment
Wavelength	193 nm	ArF
Numerical Aperture	0.8515-1.4748	
Line Width	65 nm	Line
Illumination	Quasar	$\sigma_{outer}=0.8, \sigma_{inner}=0.5, \text{Blade Angle}=45^\circ$
	Annular	$\sigma_{outer}=0.8, \sigma_{inner}=0.5$
	Dipole	$\sigma_{center}=0.7, \sigma_{radius}=0.3$
Resist Thickness	195 nm	ArF Clariant AX102 ($n=1.703$)
BARC	45 nm	Shipley AR2 ($n=1.47$)
Resist Developing Model	Enhanced Mack Model	$R_{max}=333.73 \text{ nm/s}, R_{min}=0.011 \text{ nm/s}, R_{resist}=46.25 \text{ nm/s}, n=1.77, l=5.63$
Immersion Liquid	DI Water	$n=1.44$ at 193 nm wavelength
Process Window	Line width Specification (+/-%): 10.0 Sidewall Angle Specification (deg.): 80.0 Resist Loss Specification (%): 10.0 Exposure Latitude Specification for DOF(%): 6	The larger the better

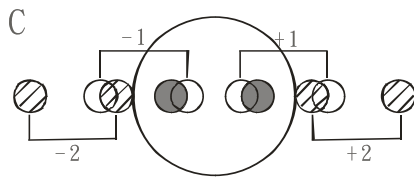
表 2.3 微影模擬各項參數



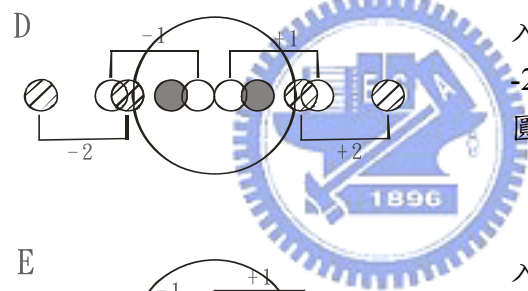
入口光瞳內
+1,-1 進入
恰可成像



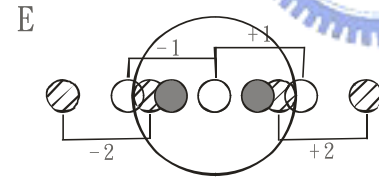
入口光瞳內
-1,+1 與 0 重疊
圓心區無 -1,+1



入口光瞳內
重疊區減少
-1,+1 進入圓心區



入口光瞳內
-2,+2 進入
圓心區 -1,+1 面積達最大



入口光瞳內
圓心區
-1,+1 重合
-1,+1 面積達最小

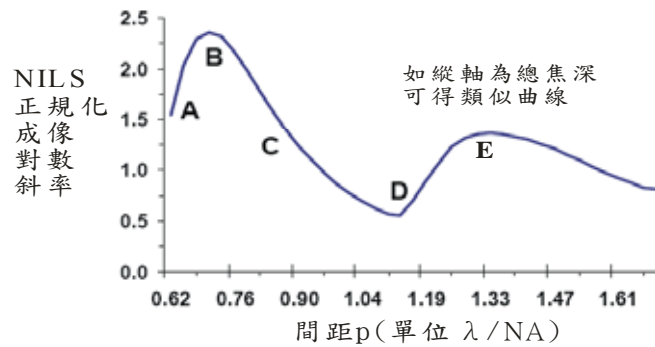
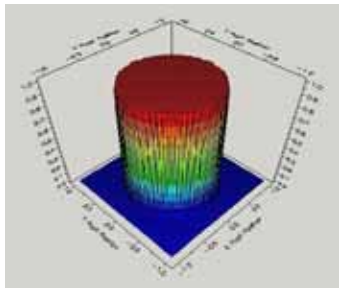
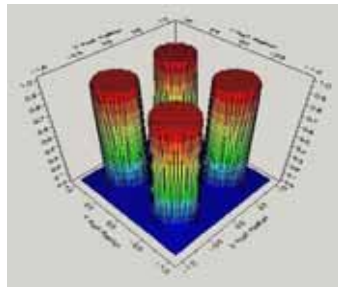


圖 2.1 偏軸發光時，一級光進入圓心區，形同背景光造成正規化成像斜率

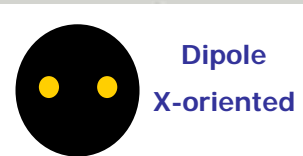
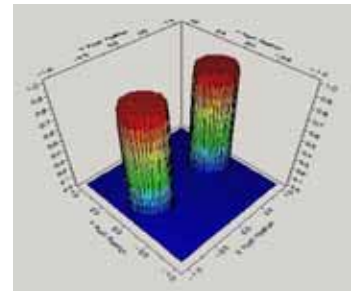
對數與焦深下降（圓心區為本實驗室所創之概念）



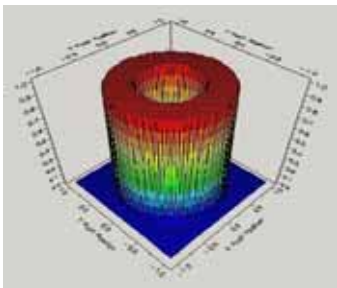
(A)



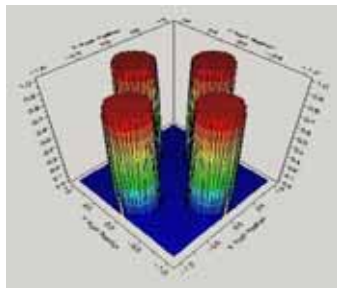
(C)



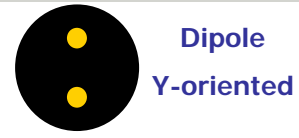
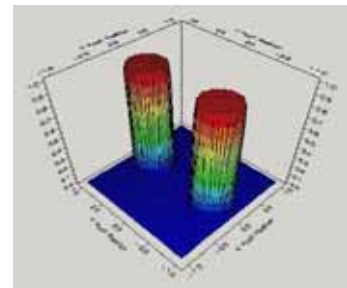
(E)



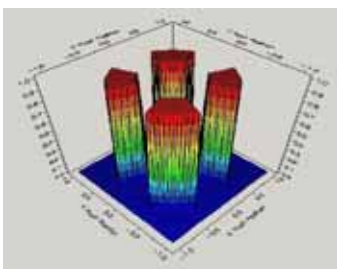
(B)



(D)



(F)



(G)

圖 2.2 沿軸與各類型偏軸發光

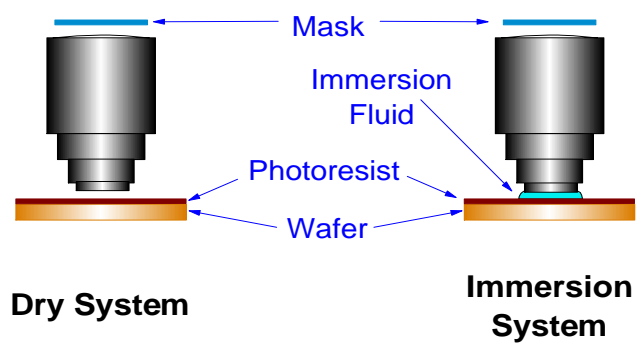
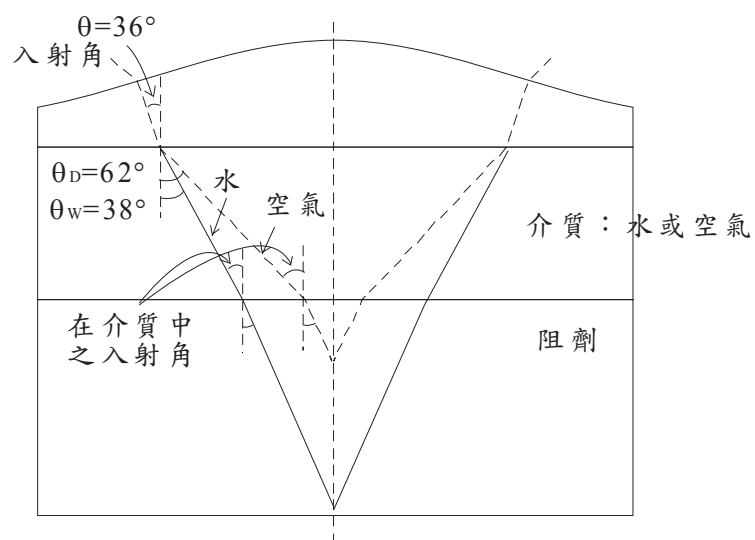


圖 2.3 乾式和濕浸式投影系統



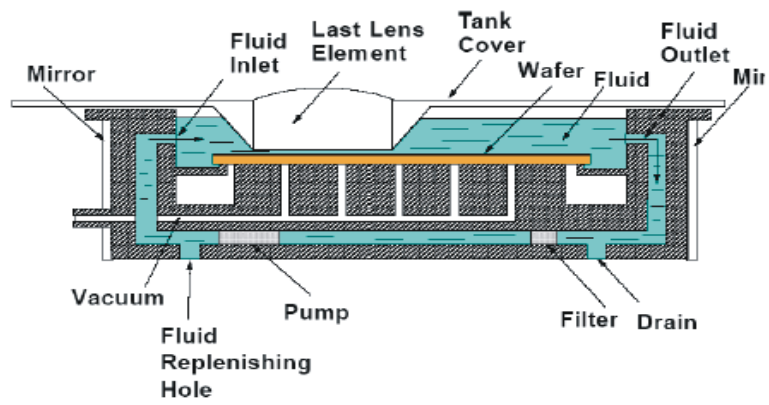
θ_D : 在空氣中之入射角(乾式系統)

θ_w : 在水中之入射角(濕浸式系統)

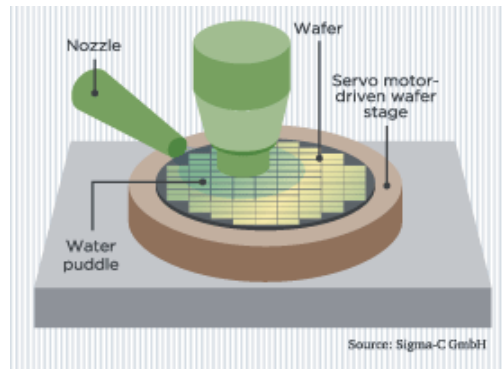
在 ArF(193 nm)微影系統下，各物質之折射率：

阻劑($n=1.70$)>透鏡($n=1.50$)>水($n=1.44$)>空氣

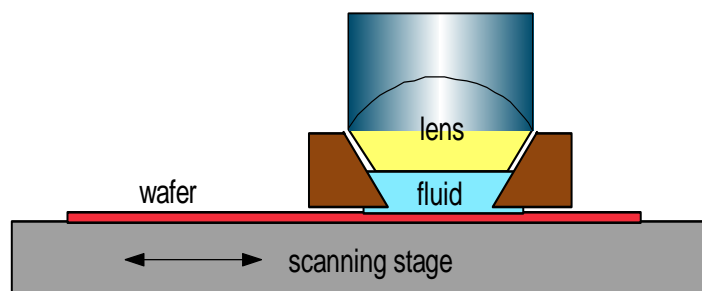
圖 2.4 濕浸式微影



(A) 盆浴式(Bath)



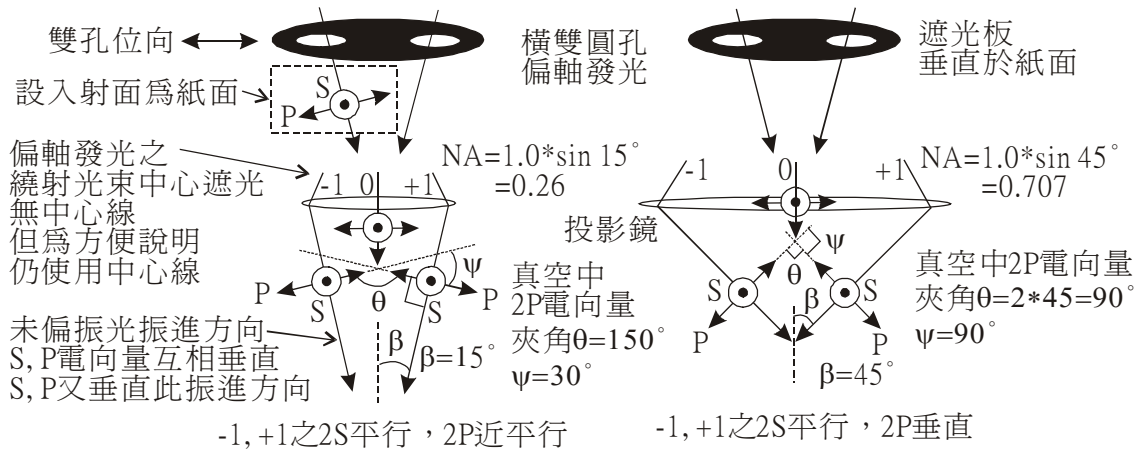
(B) 水灘式(Puddle)



(C) 淋浴式(Shower)

圖 2.5 濕浸式各裝置設計

- (a) S線偏振光：其偏振面（電向量）垂直於入射面，故亦稱「橫電(TE)」
 P線偏振光：其偏振面（電向量）與入射面同面或平行，因其磁向量垂直於入射面，故亦稱「橫磁(TM)」，為間接定義之名詞

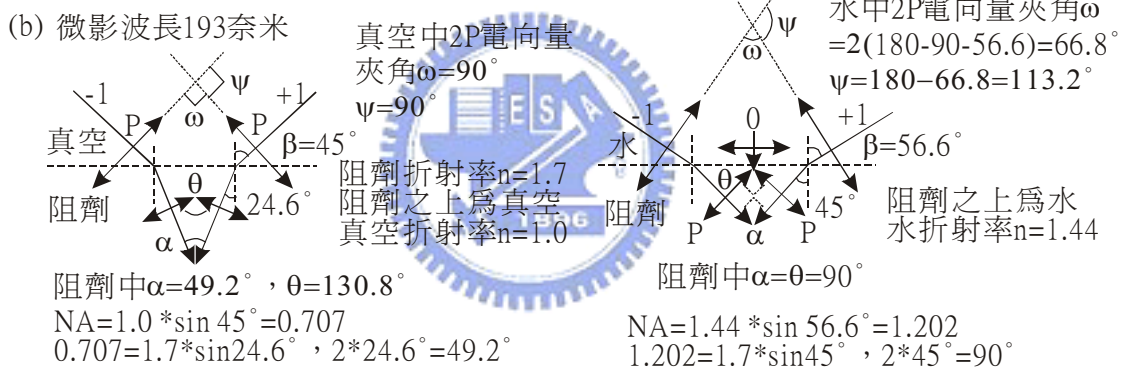


經投影鏡二對稱繞射光束(-1, +1)，設光幅 $E_1=E_2$ ，光強 I 與夾角 θ 關係如下式：

$$I=(E_1+|E_2\cos\theta|)^2+|E_2\sin\theta|^2 \quad \theta=0^\circ, I=(E_1+E_2)^2=4I_1 \quad \text{建設性干涉 (像比高)}$$

$$\text{或 } I=I_1+I_2+2\sqrt{I_1I_2}|\cos\theta| \quad \theta=90^\circ, I=E_1^2+E_2^2=I_1+I_2=2I_1 \quad \text{無干涉 (像比低)}$$

請注意： $\cos 150^\circ=\cos(180^\circ-30^\circ)=\cos(-30^\circ)$ ； $\sin 150^\circ=\sin(180^\circ-30^\circ)=\sin 30^\circ$

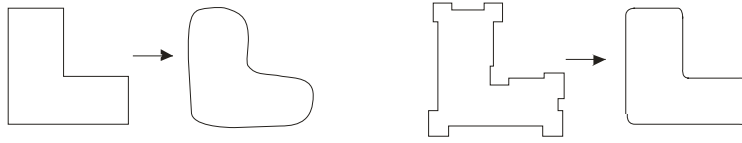


以上圖為例之重要說明：

1. 設繞射光束-1, 0, +1源自某點光源之光束，繞射光束間具空間同調性，可干涉
2. 偏軸發光習稱-1, +1二光束成像，易誤解，因仍有0級光，但較沿軸弱。-1與+1可視為對稱，無光程差，無相位差；0與+1（或-1）則有光程差，有相位差
3. S, P電向量互相垂直（正交、直交），二者無交互作用，無干涉
4. -1, 0, +1之S電向量夾角維持平行，與NA大小無關，干涉最強，成像品質最佳
5. -1, 0, +1之P電向量夾角根據NA大小，NA影響P電向量之成像品質甚大
6. NA甚小時，S與P偏振光對成像品質無顯著差異，S僅略佳
7. NA甚大時，S偏振光成像品質較P偏振光高甚多，故S較適用於濕浸式
8. 濕NA~1.2時，阻劑內-1, +1之P電向量夾角 $\theta=90^\circ$ ，無干涉；0, +1（或-1）夾角 $\neq 90^\circ$ ，可干涉，但有光程差，如光程差 $=\lambda/4$ （即相位差 $=90^\circ$ ），無干涉。
 NA~1.2時整體成像品質，S偏振光>未偏振光(S+P)>>P偏振光
9. 乾NA<1，阻劑內-1, +1之P電向量夾角 $\theta\neq 90^\circ$ ，可干涉，無上述濕NA~1.2之缺點

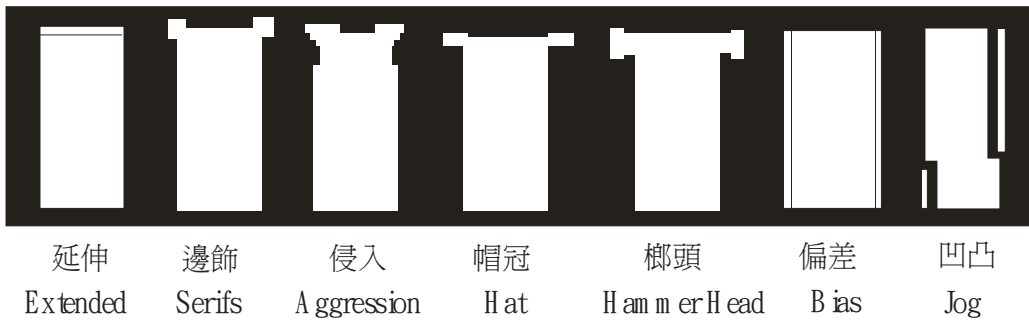
圖 2.6 橫磁及橫電偏振光說明圖

鄰近效應所產生圖案失真現象

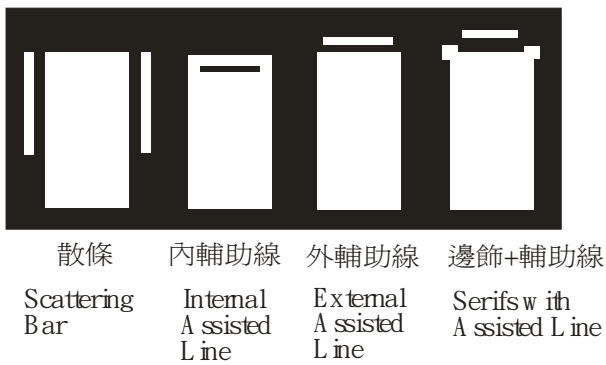


光學鄰近效應修正：

(1) 特徵偏差 (Feature Biasing)

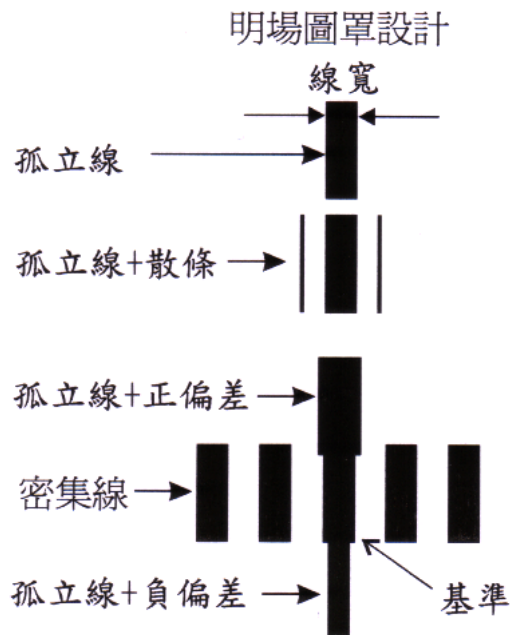


(2) 特徵輔助 (Feature Assisting)

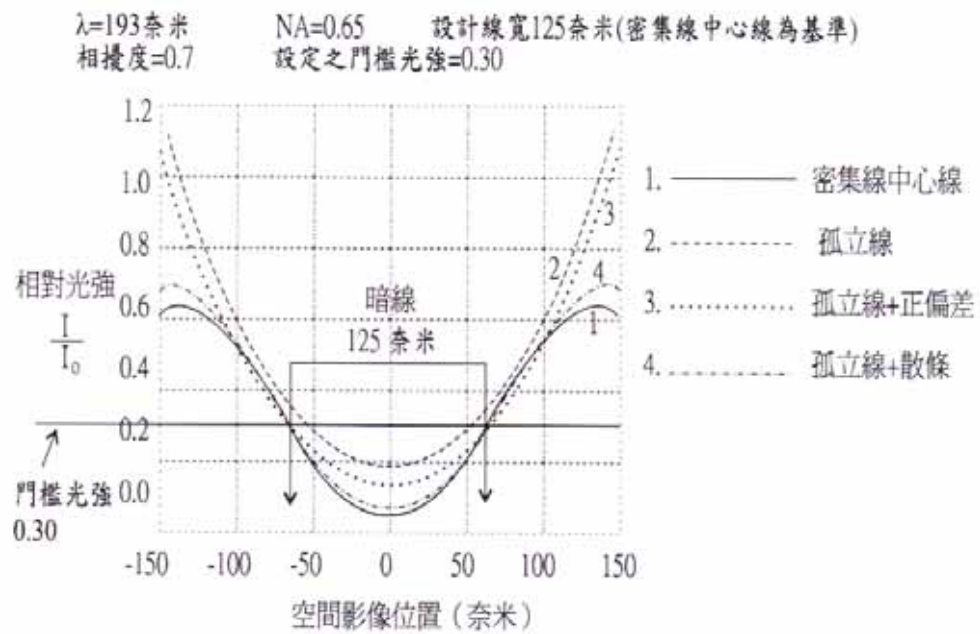


欲得符合設計之晶圓上阻劑線形狀，修正變圓、變短、變細等失真之俯視圖

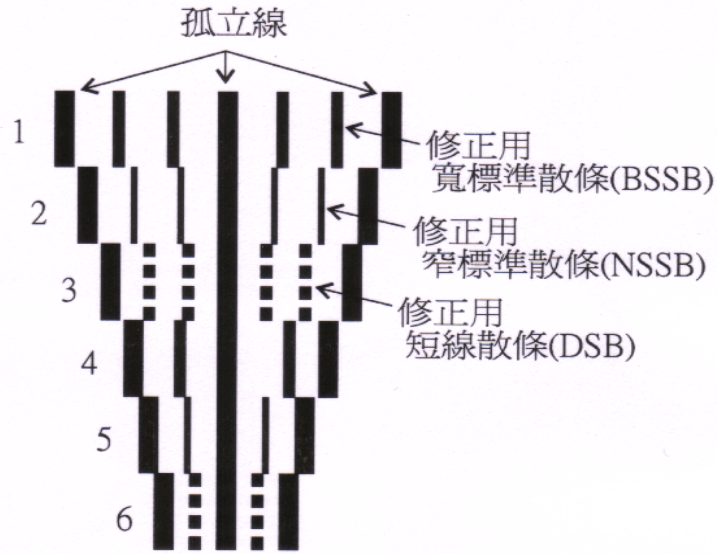
圖 2.7 光學鄰近效應修正圖案修飾設計



(a) 偏差與散條修正法



(b) 空間影像比較



(c)各式散條修正法

圖 2.8 孤立線相對於密集線之修正示例

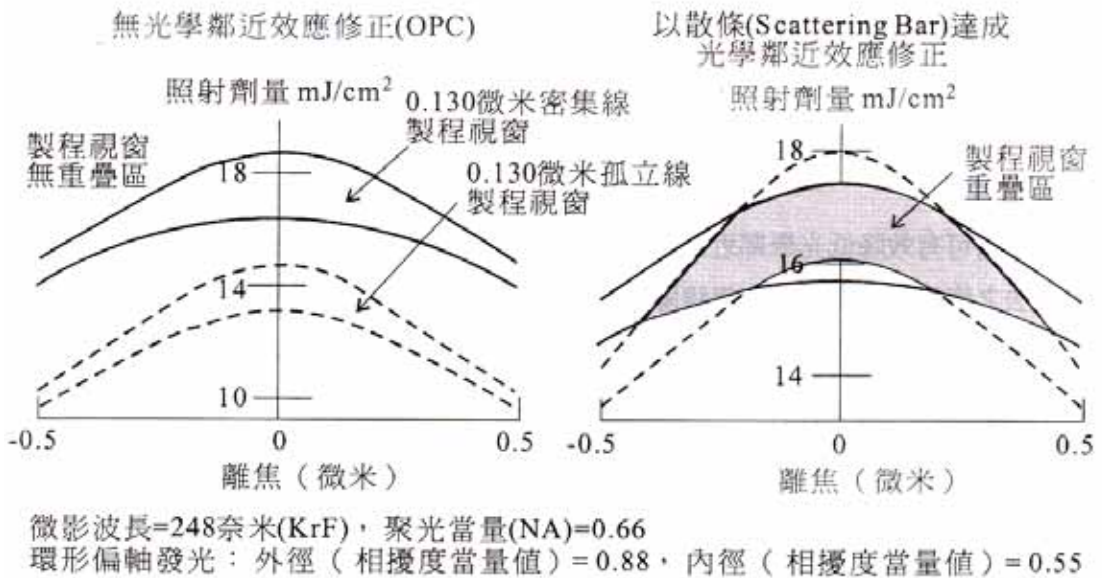


圖 2.9 散條修正可增大製程視窗重疊區示意圖

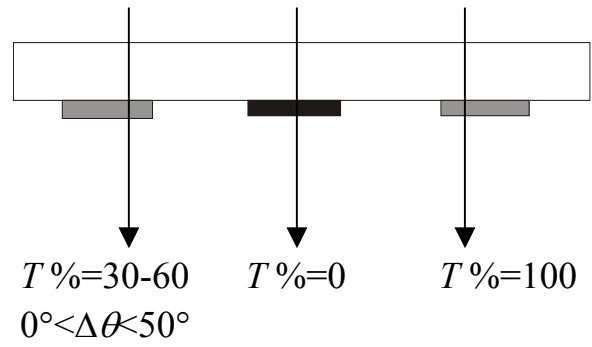


圖 2.10 全條減光之圖罩

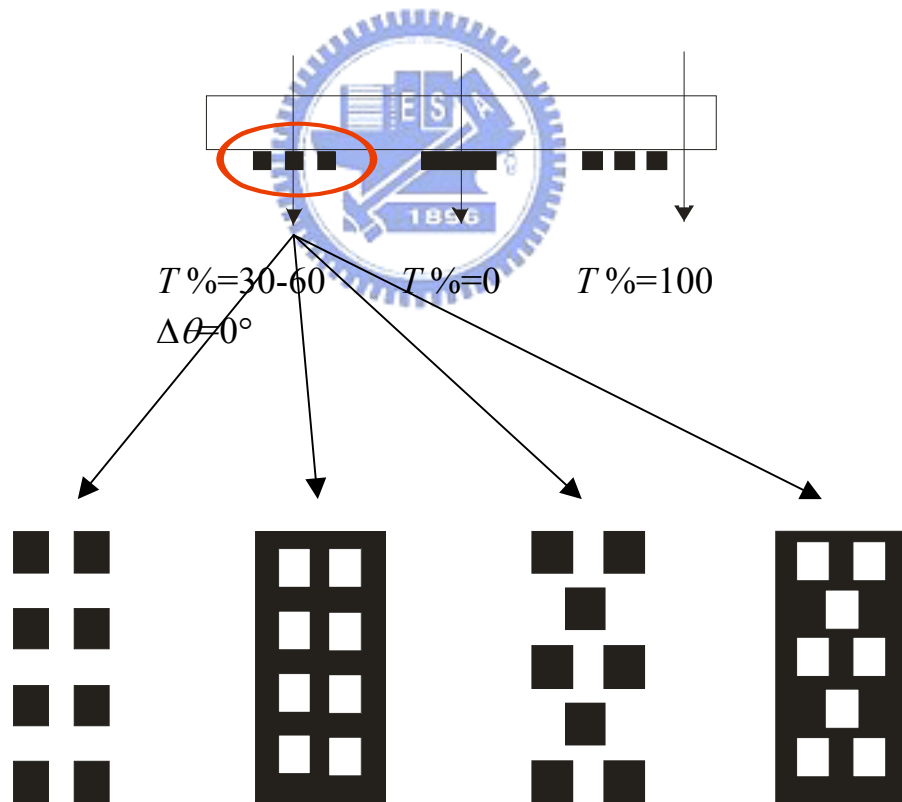


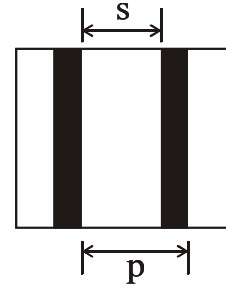
圖 2.11 陣列減光之圖罩

$$|Mag. |_{0^{th} order} = \left(\frac{s}{p} \right)$$

$$|Mag. |_{1^{st} order} = \left| \left(\frac{s}{p} \right) \text{sinc} \left(\frac{s}{p} \right) \right| = \left| \frac{\sin(180 \times s/p)}{\pi} \right|$$

$$|Mag. |_{2^{nd} order} = \left| \left(\frac{s}{p} \right) \text{sinc} \left(\frac{2s}{p} \right) \right| = \left| \frac{\sin(360 \times s/p)}{2\pi} \right|$$

s : 隙; p : 間距



(a) 雙光強圖罩之繞射光幅

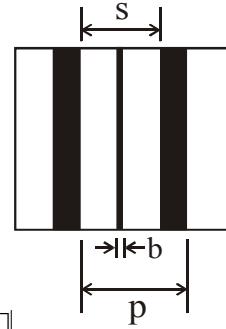
$$|Mag. |_{0^{th} order} = \left[1 - \left(\frac{b}{s} \right) \right] \left(\frac{s}{p} \right)$$

$$|Mag. |_{1^{st} order} = \left| \left(\frac{s}{p} \right) \text{sinc} \left(\frac{s}{p} \right) - \left(\frac{b}{p} \right) \text{sinc} \left(\frac{b}{p} \right) \right| = \left| \left[\frac{\sin(180 \times s/p)}{\pi} \right] - \left[\frac{\sin(180 \times b/p)}{\pi} \right] \right|$$

$$|Mag. |_{2^{nd} order} = \left| \left(\frac{s}{p} \right) \text{sinc} \left(\frac{2s}{p} \right) - \left(\frac{b}{p} \right) \text{sinc} \left(\frac{2b}{p} \right) \right| = \left| \left[\frac{\sin(360 \times s/p)}{2\pi} \right] - \left[\frac{\sin(360 \times b/p)}{2\pi} \right] \right|$$

b : 全條遮光寬度

(b) 加入單一全條遮光散條修正之繞射光幅



$$|Mag. |_{0^{th} order} = \left[1 - \left(\frac{b}{s} \right) (1 - \sqrt{I_b}) \right] \left(\frac{s}{p} \right)$$

$$|Mag. |_{1^{st} order} = \left| \left(\frac{s}{p} \right) \text{sinc} \left(\frac{s}{p} \right) - (1 - \sqrt{I_b}) \left(\frac{b}{p} \right) \text{sinc} \left(\frac{b}{p} \right) \right| = \left| \left[\frac{\sin(180 \times s/p)}{\pi} \right] - (1 - \sqrt{I_b}) \left[\frac{\sin(180 \times b/p)}{\pi} \right] \right|$$

$$|Mag. |_{2^{nd} order} = \left| \left(\frac{s}{p} \right) \text{sinc} \left(\frac{2s}{p} \right) - (1 - \sqrt{I_b}) \left(\frac{b}{p} \right) \text{sinc} \left(\frac{2b}{p} \right) \right| = \left| \left[\frac{\sin(360 \times s/p)}{2\pi} \right] - (1 - \sqrt{I_b}) \left[\frac{\sin(360 \times b/p)}{2\pi} \right] \right|$$

b : 陣列減光寬度

I_b : 陣列減光之光強

(c) 加入單一陣列減光散條修正之繞射光幅

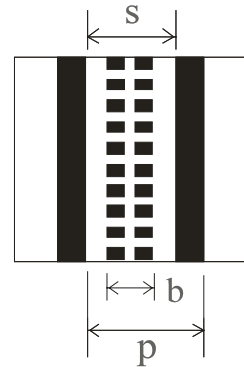


圖 2.12 (a)雙光強圖罩，(b)加入單一全條遮光，(c)加入單一陣列減光

適用之繞射光幅

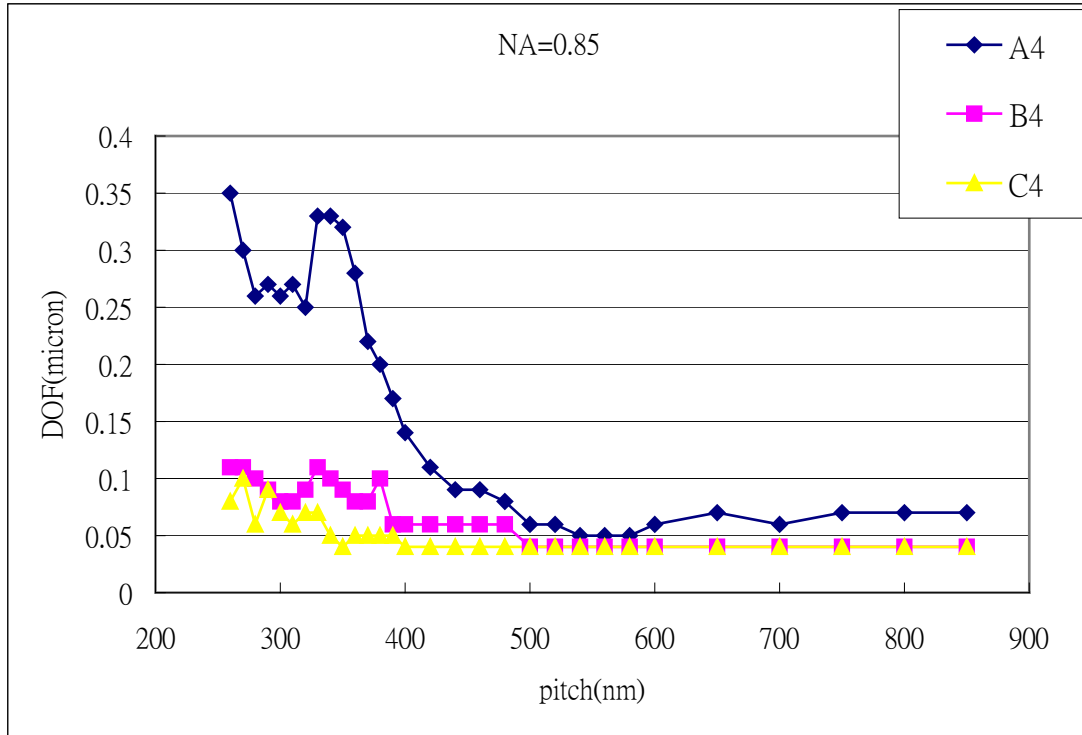


圖 4.1 模擬計算焦深對間距之影響(A4B4C4)

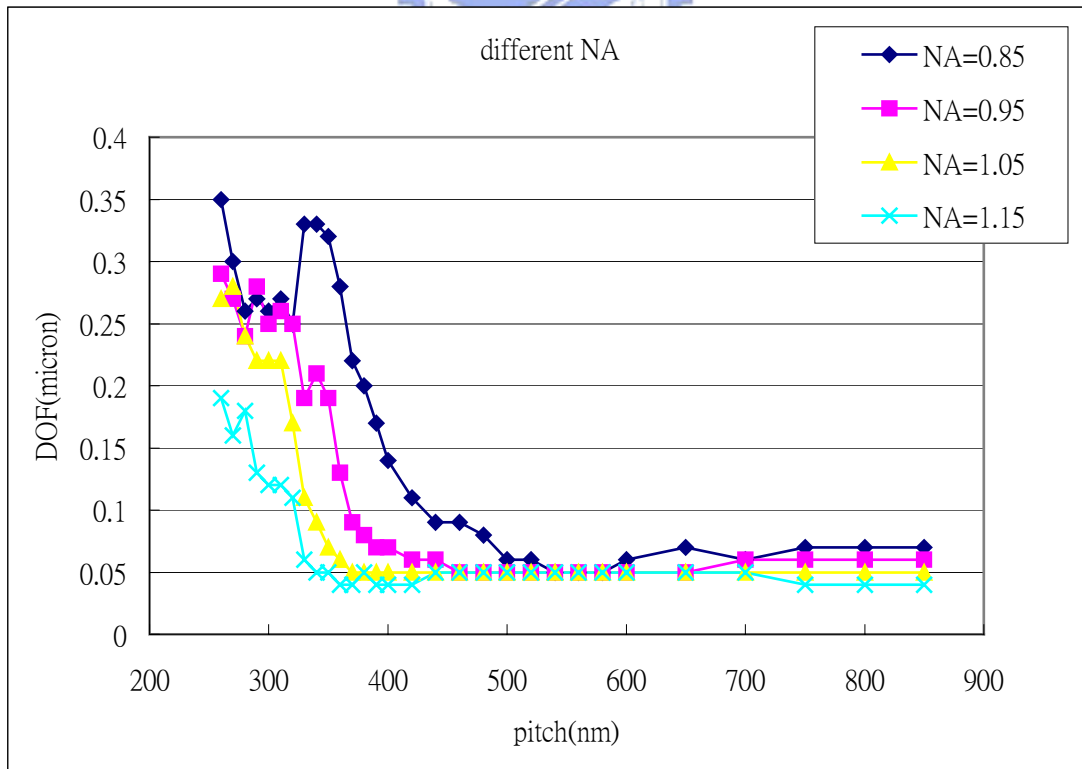


圖 4.2 模擬計算聚光當量改變對間距之影響(A4)

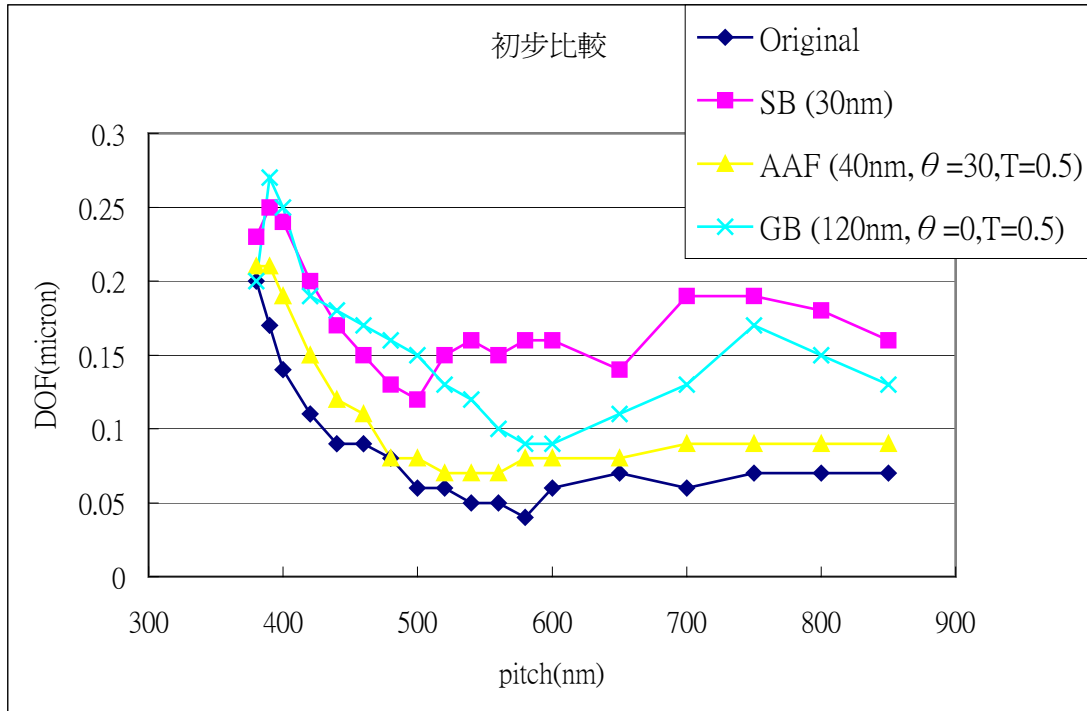


圖 4.3 模擬計算聚光當量改變對間距之影響(A4)

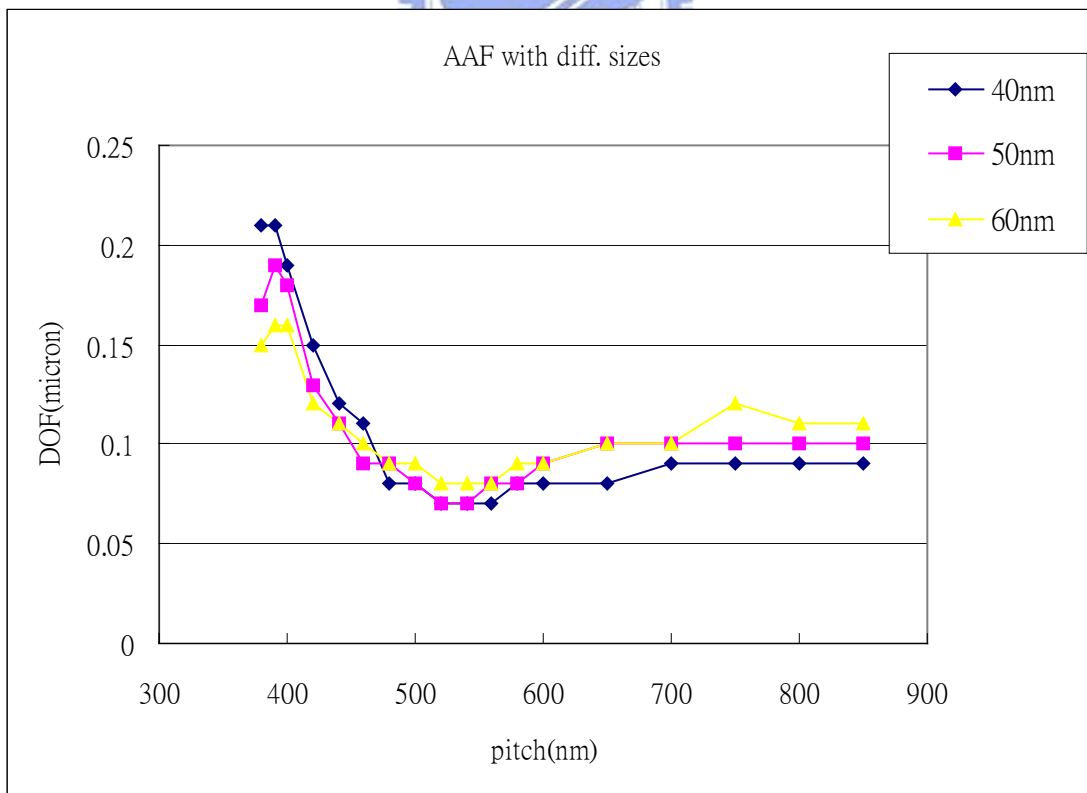


圖 4.4 全條減光之尺寸模擬設計

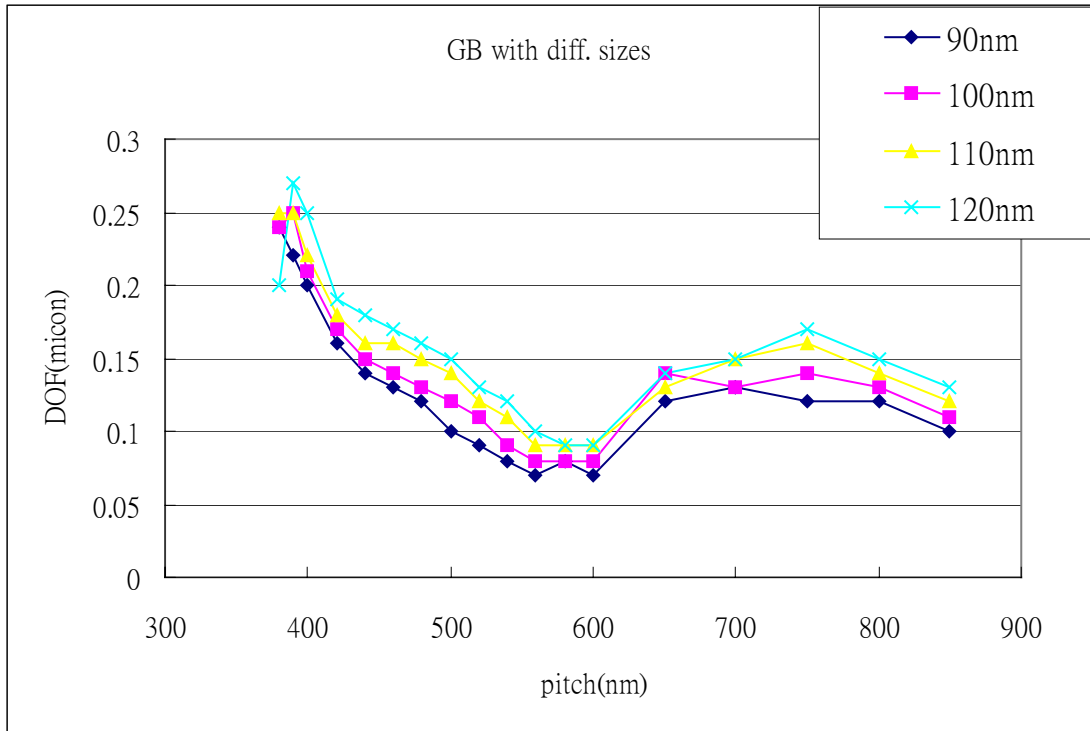


圖 4.5 陣列減光之尺寸模擬設計

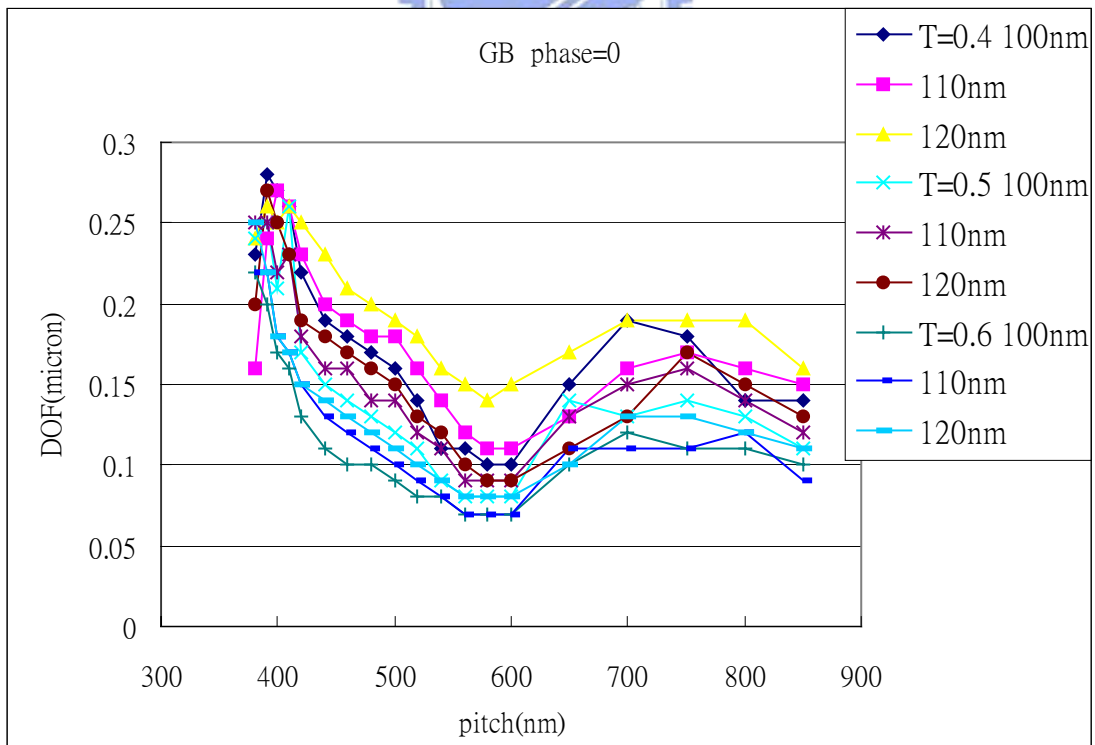


圖 4.6 陣列減光群之模擬設計(透射度 0.4-0.6)

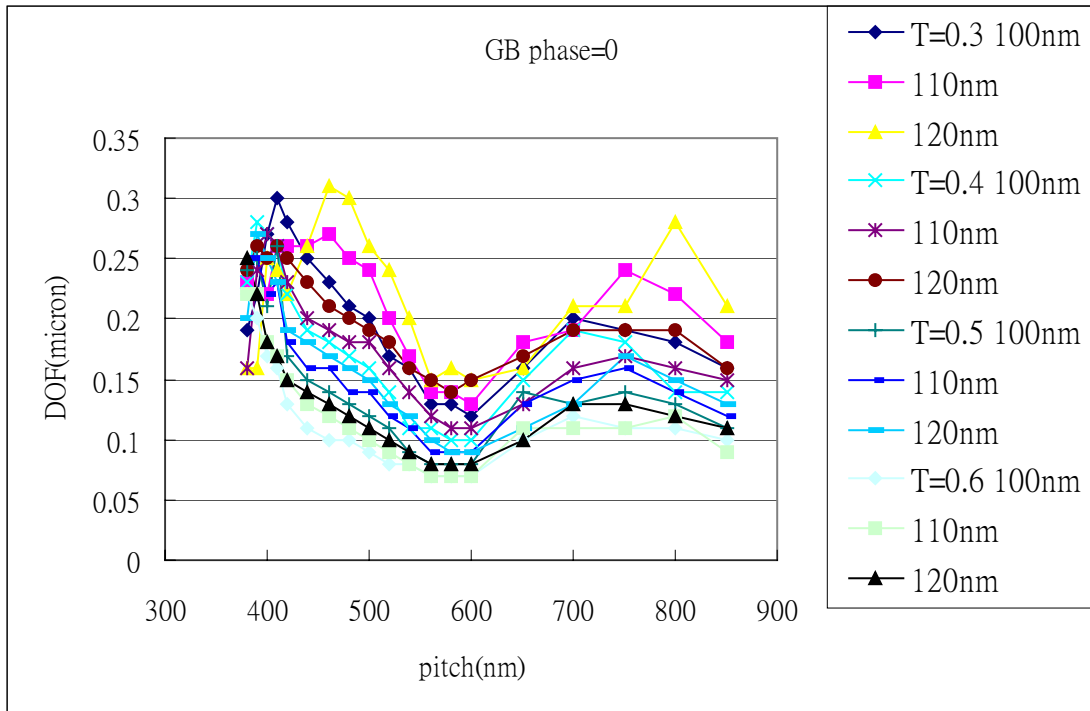


圖 4.7 陣列減光群之模擬設計(透射度 0.3-0.6)

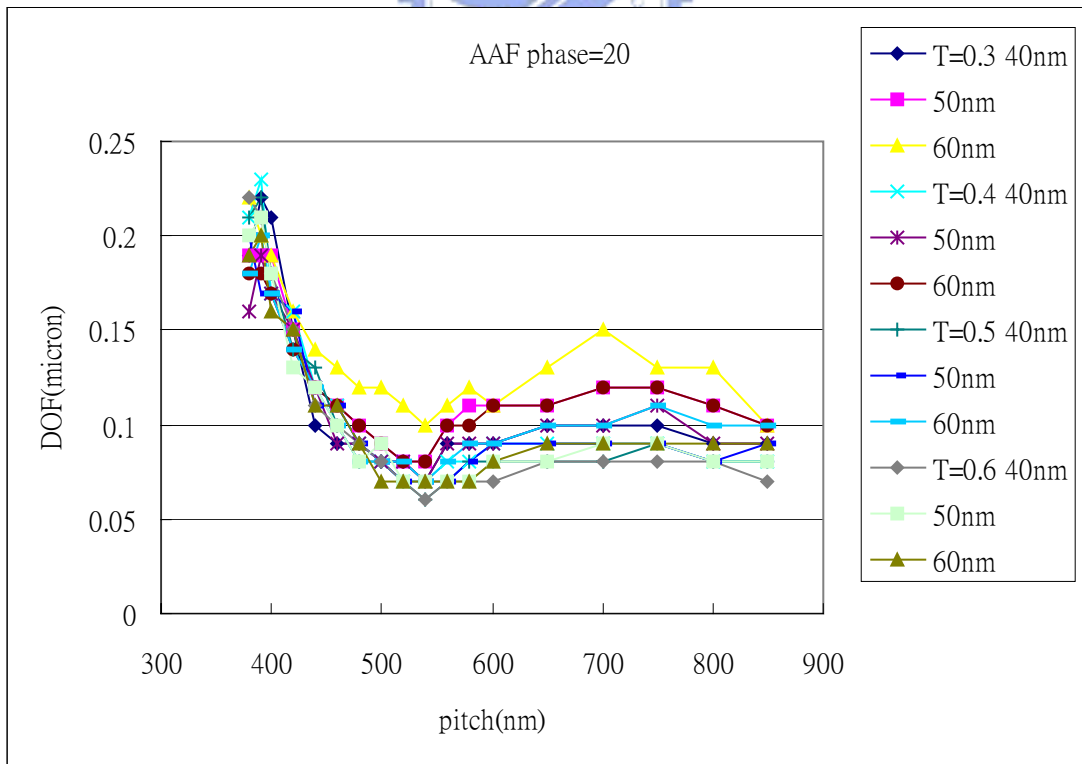


圖 4.8 全條減光群之模擬設計(相移角差 20 度)

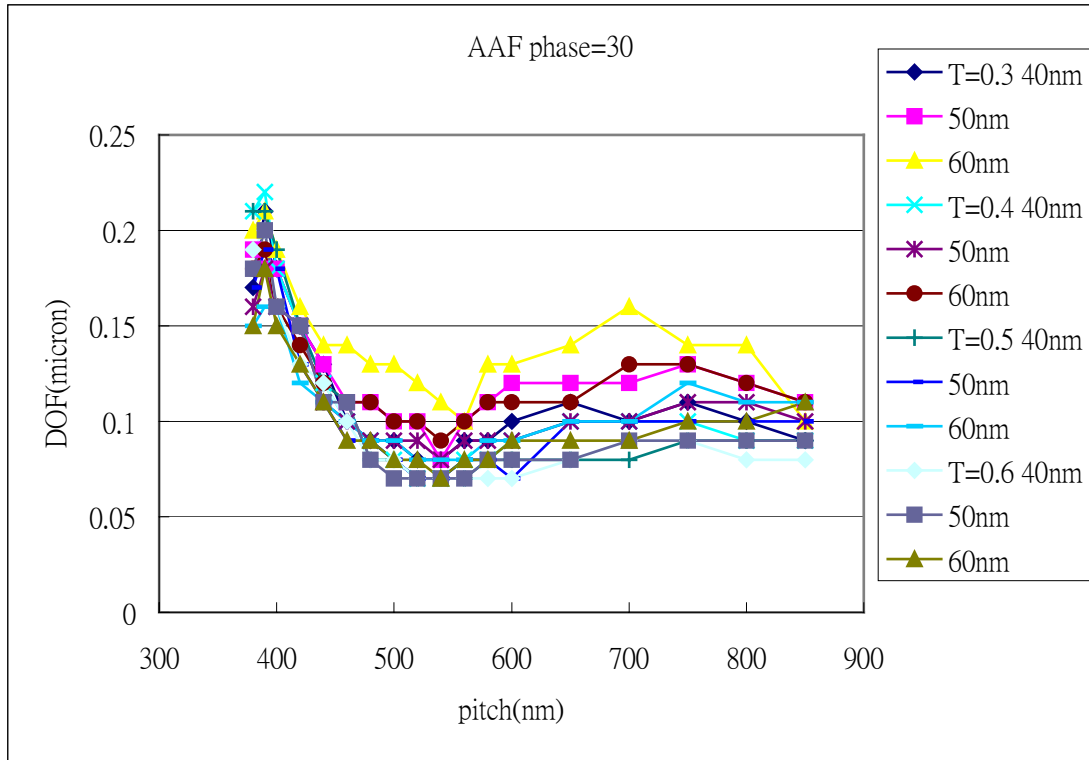


圖 4.9 全條減光群之模擬設計(相移角差 30 度)

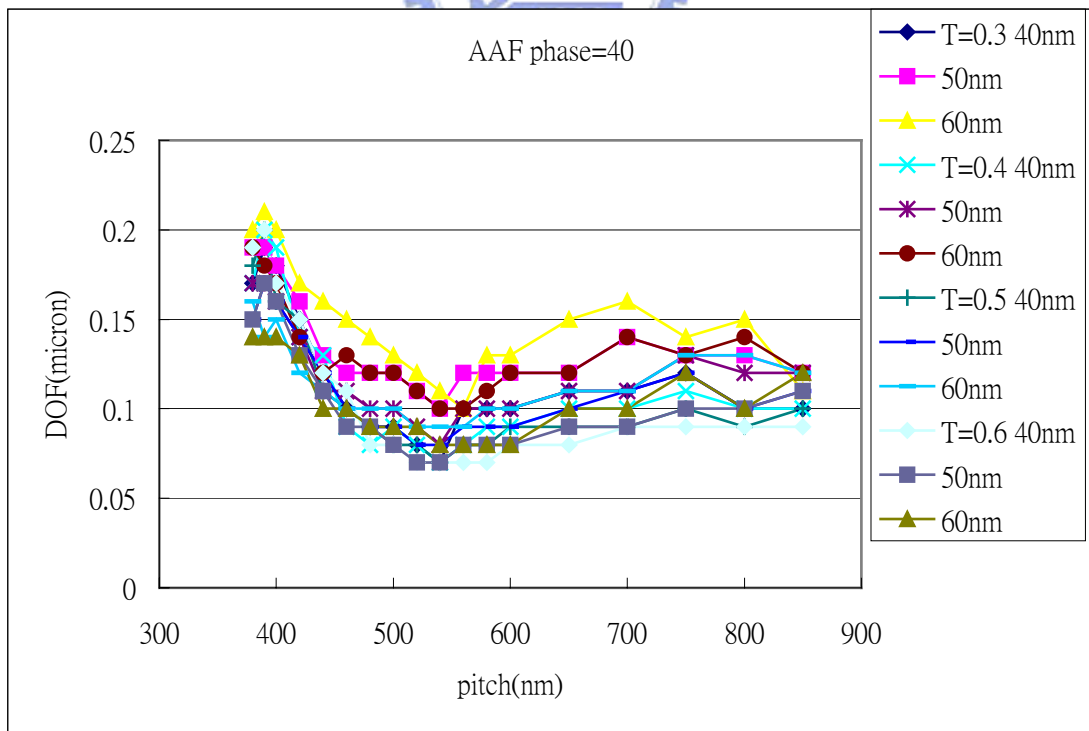


圖 4.10 全條減光群之模擬設計(相移角差 40 度)

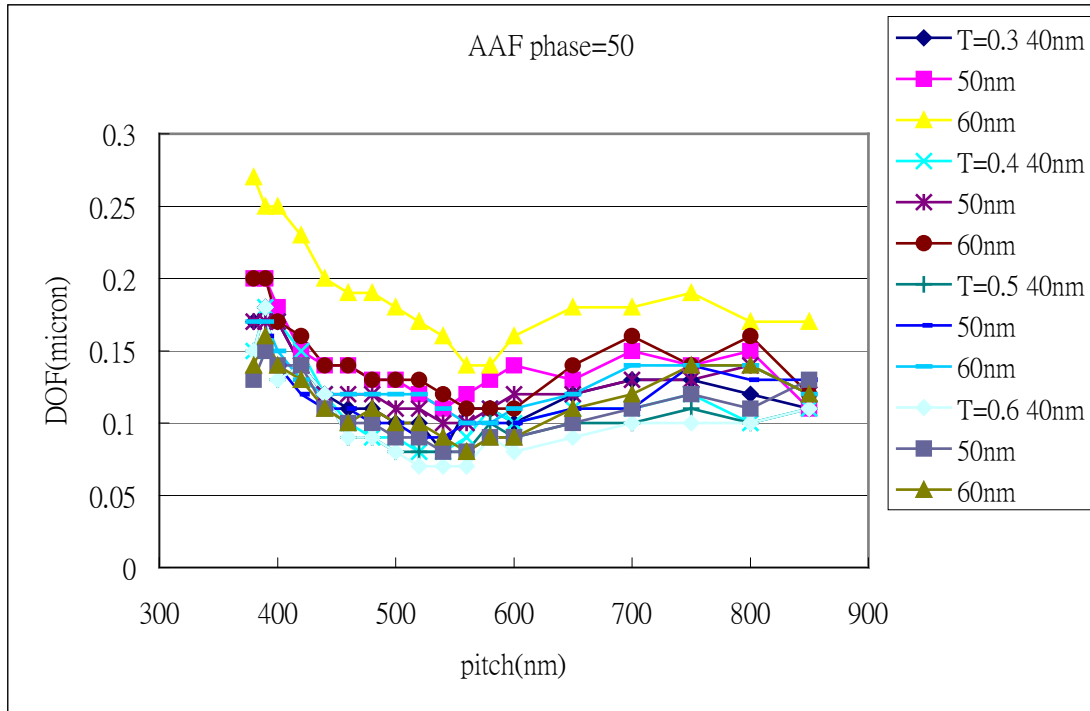


圖 4.11 全條減光群之模擬設計(相移角差 50 度)

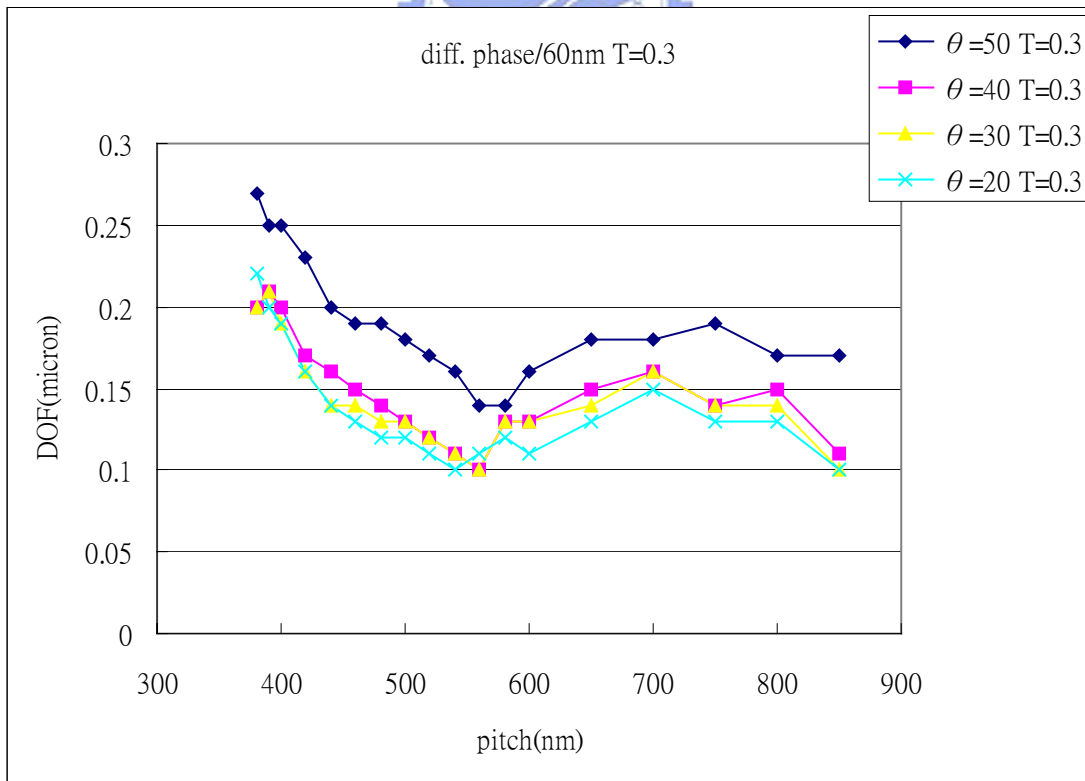


圖 4.12 全條減光透射度 0.3 之不同相移角度比較

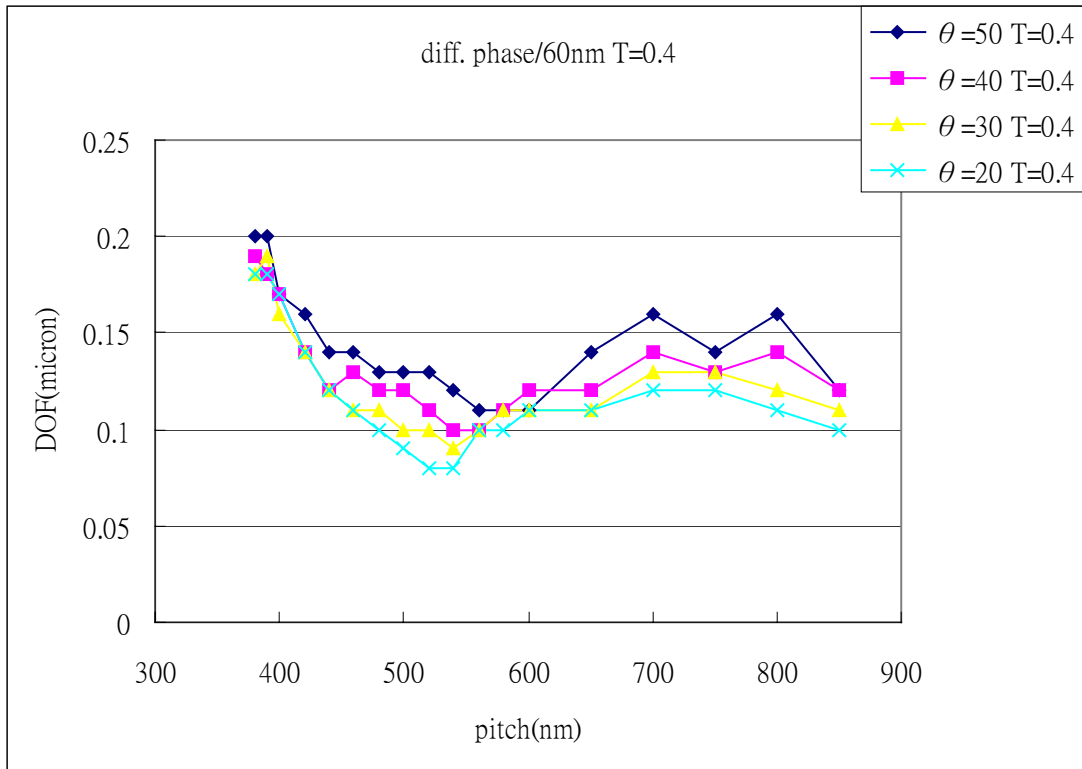


圖 4.13 全條減光透射度 0.4 之不同相移角度比較

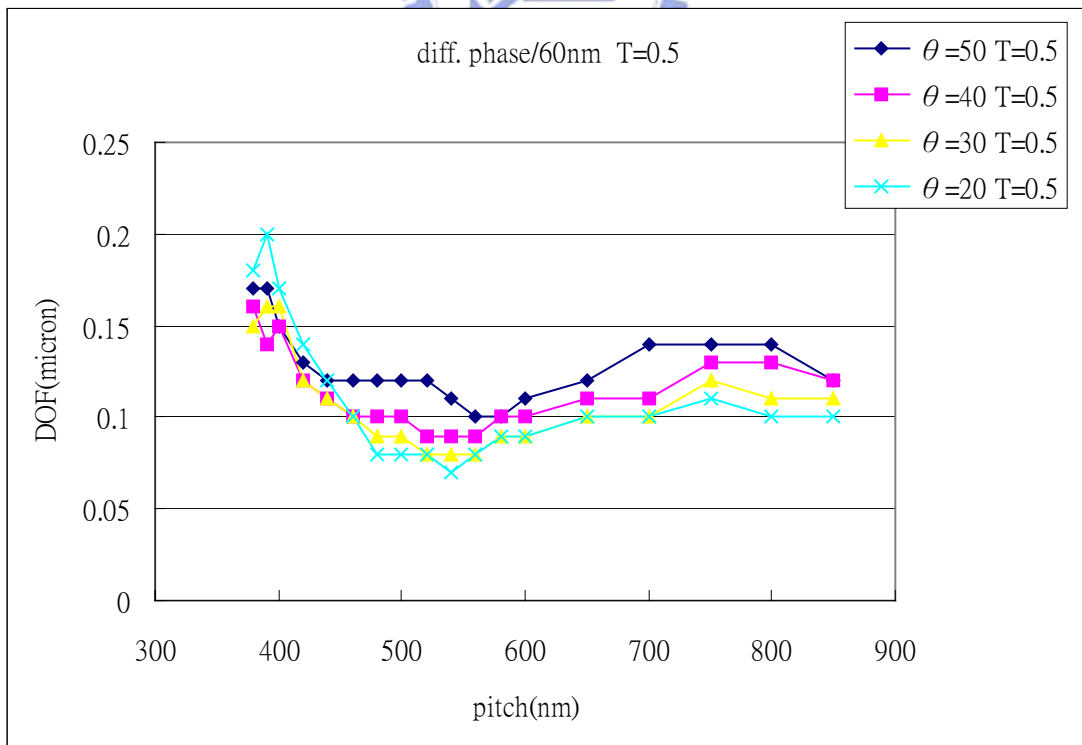


圖 4.14 全條減光透射度 0.5 之不同相移角度比較

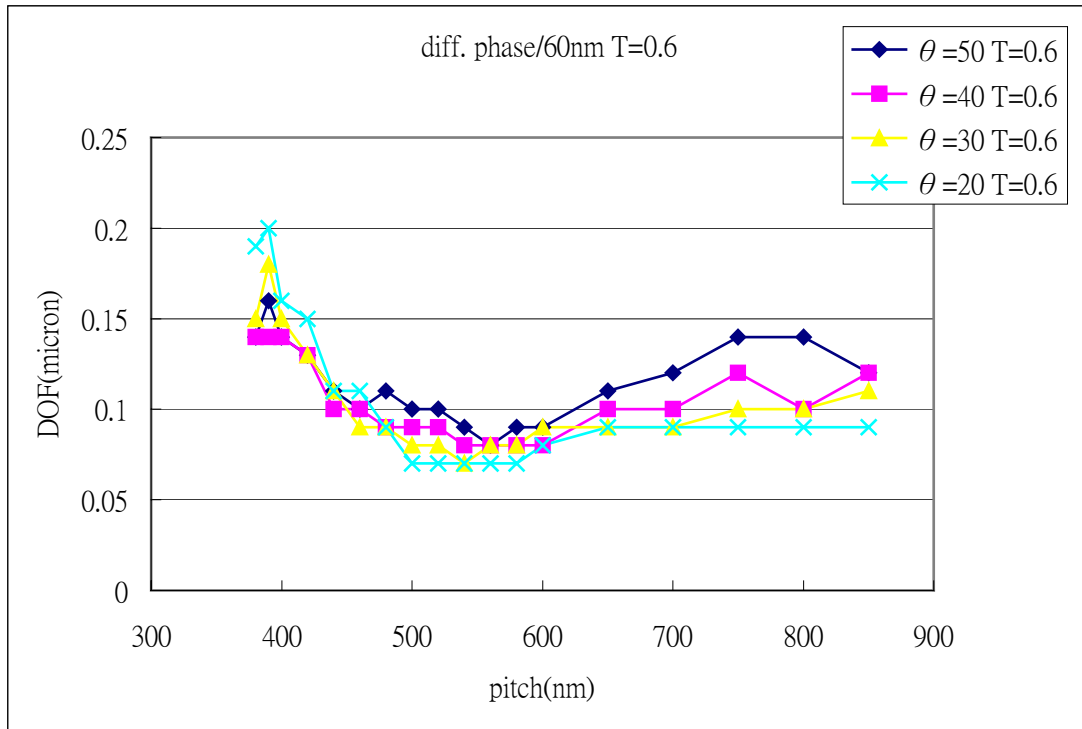


圖 4.15 全條減光透射度 0.6 之不同相移角度比較

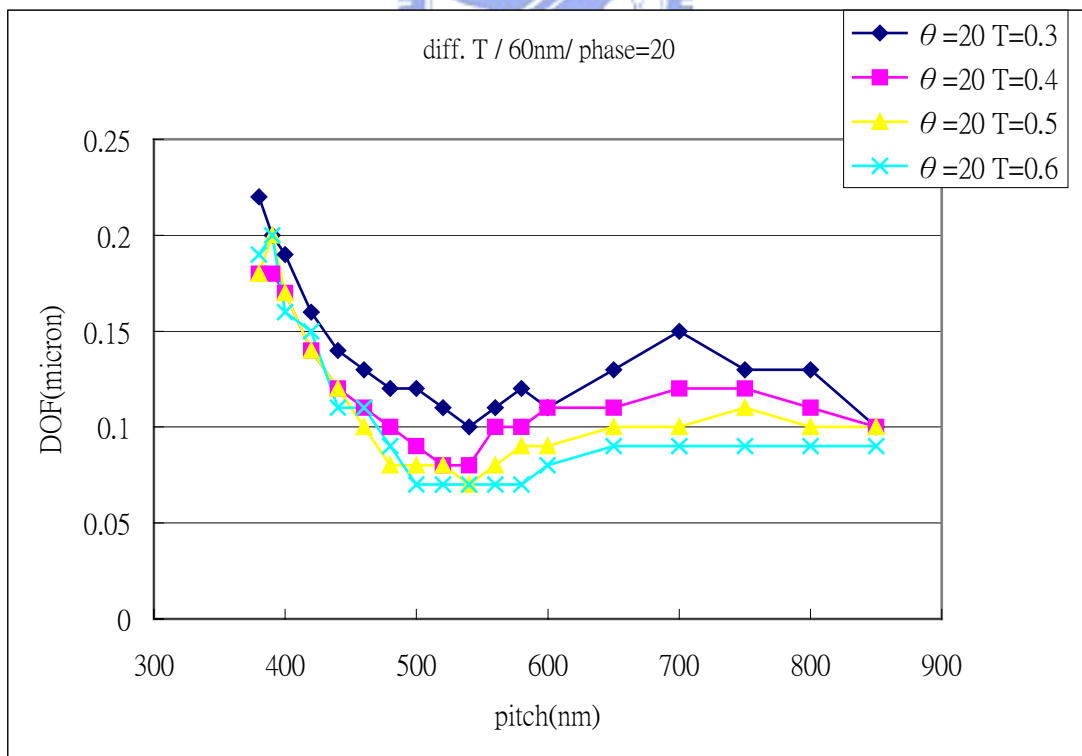


圖 4.16 全條減光相移角 20 度之不同透射度比較

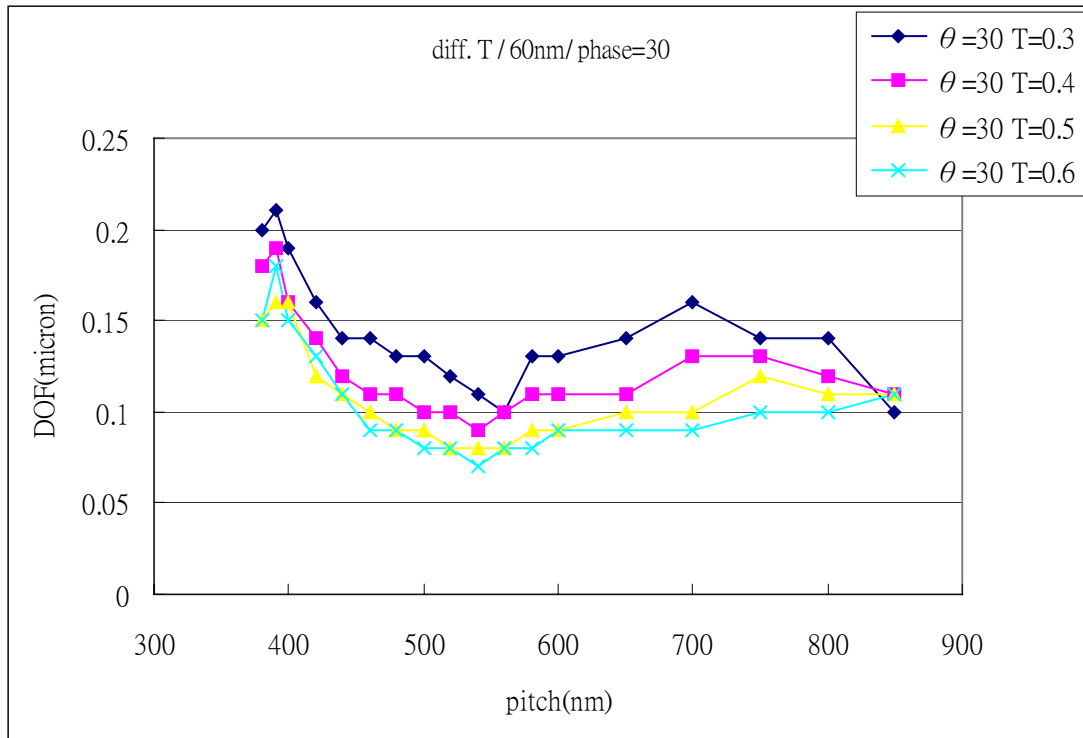


圖 4.17 全條減光相移角 30 度之不同透射度比較

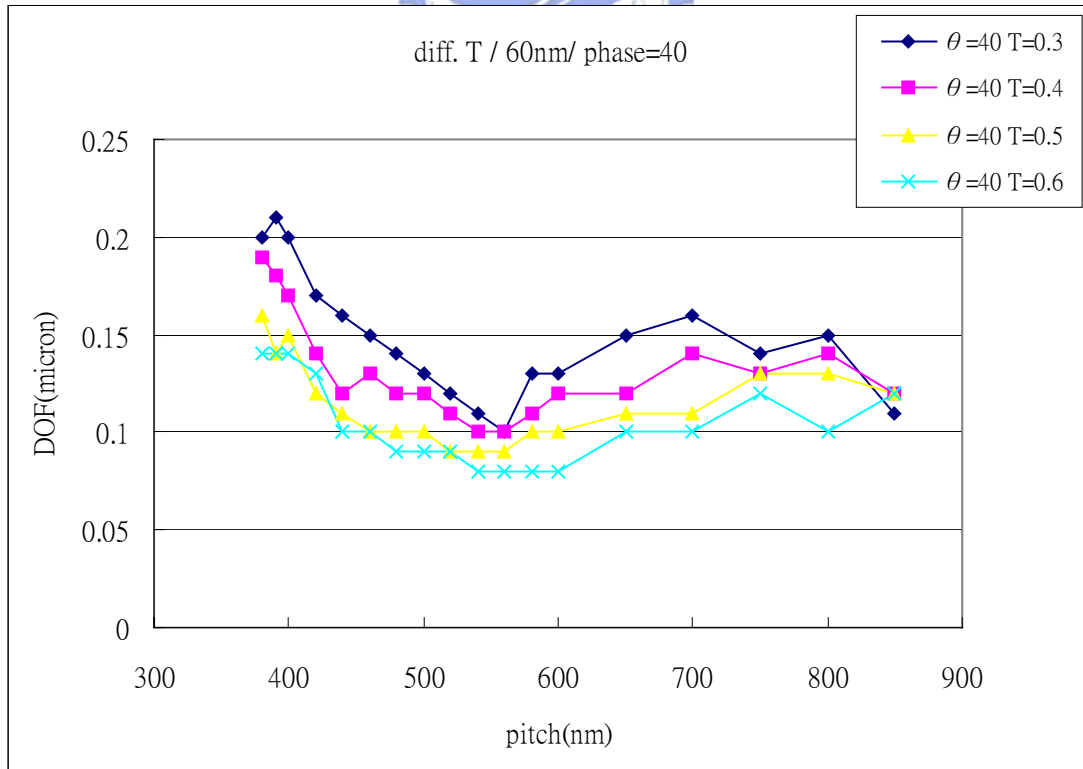


圖 4.18 全條減光相移角 40 度之不同透射度比較

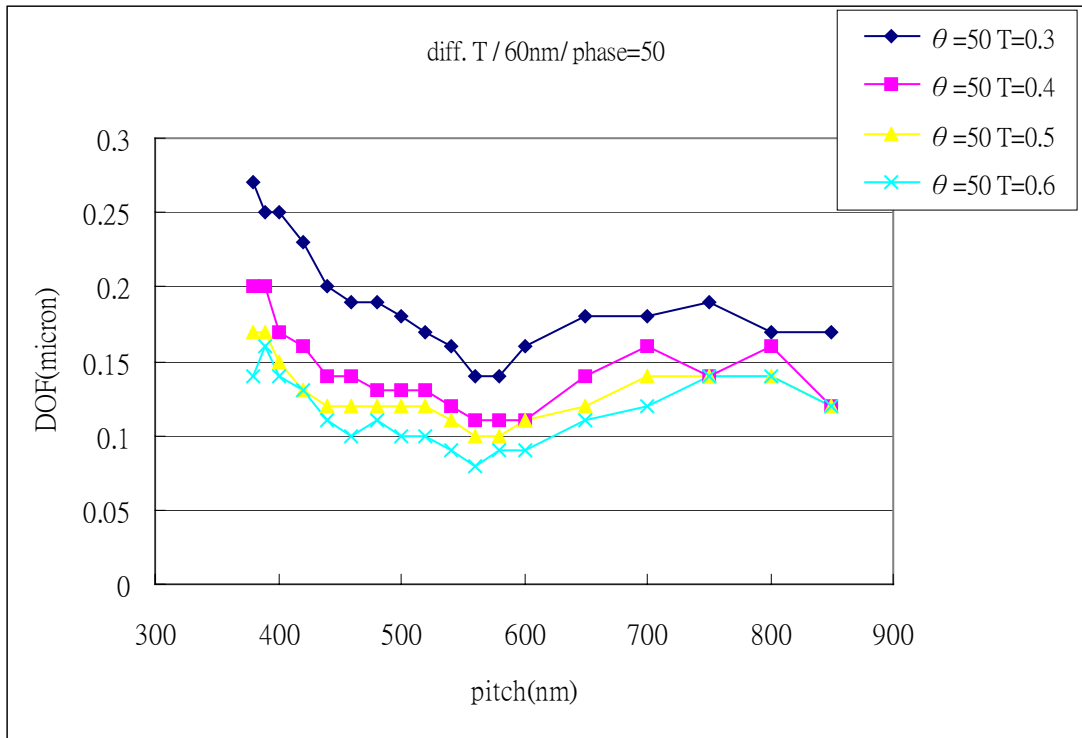


圖 4.19 全條減光相移角 50 度之不同透射度比較

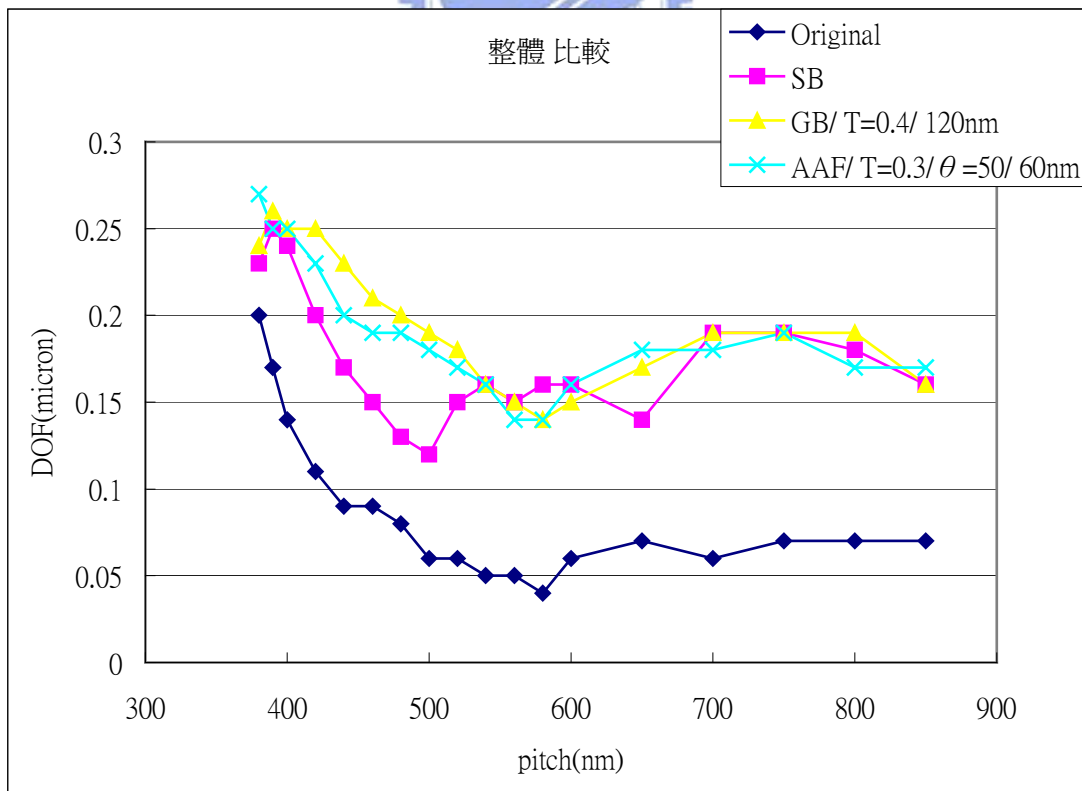


圖 4.20 整體比較

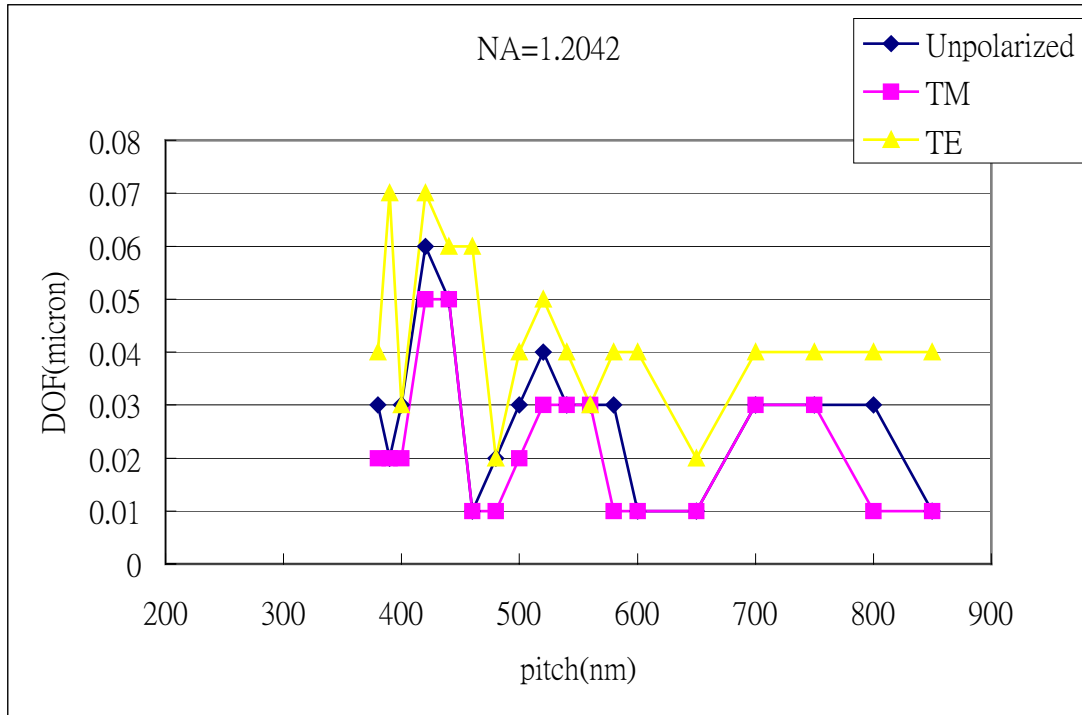


圖 4.21(a) NA=1.2042 焦深比較

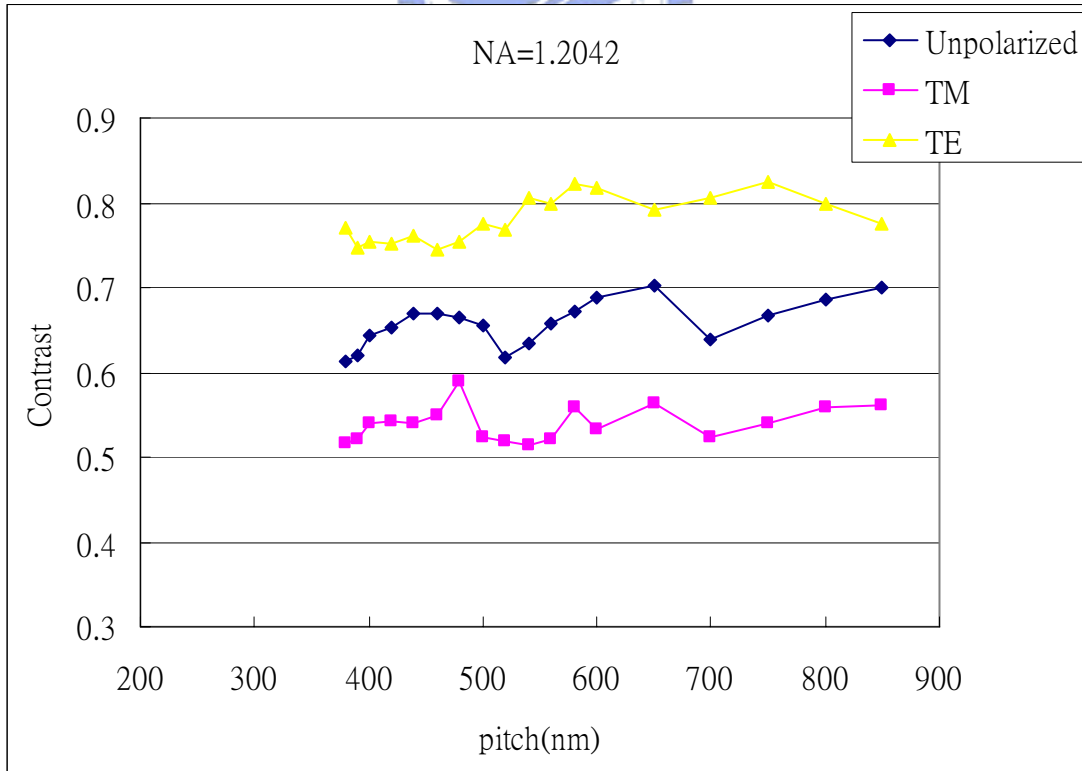


圖 4.21(b) NA=1.2042 對比度比較

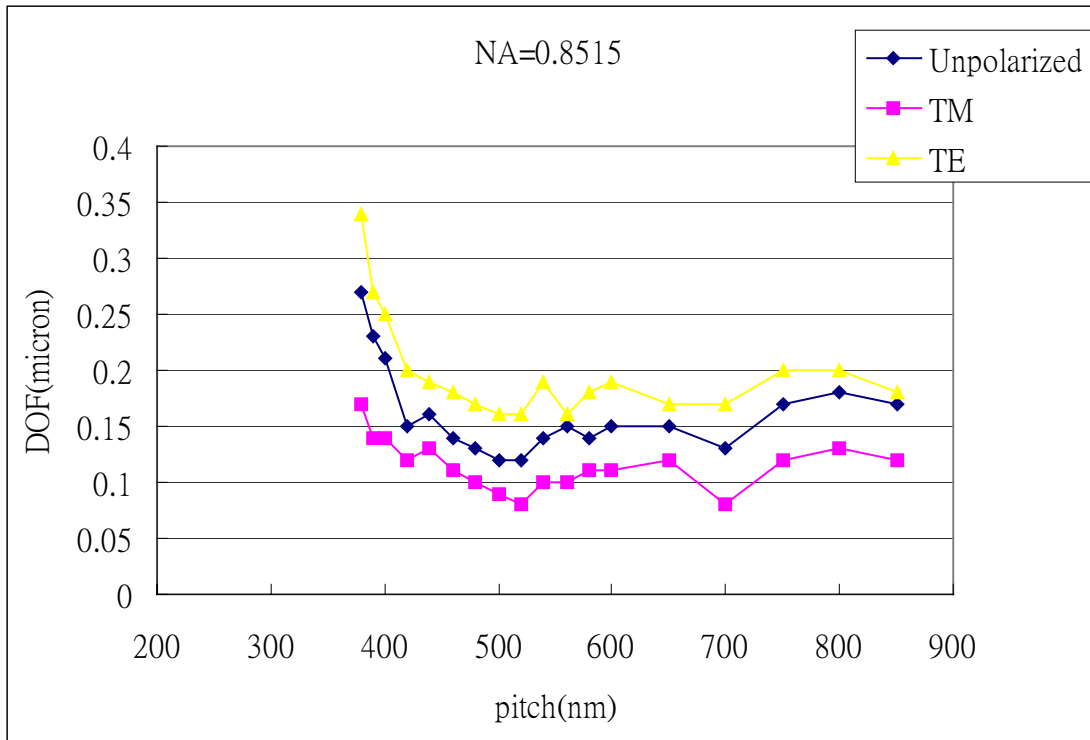


圖 4.22 (a) NA=0.8515 焦深比較

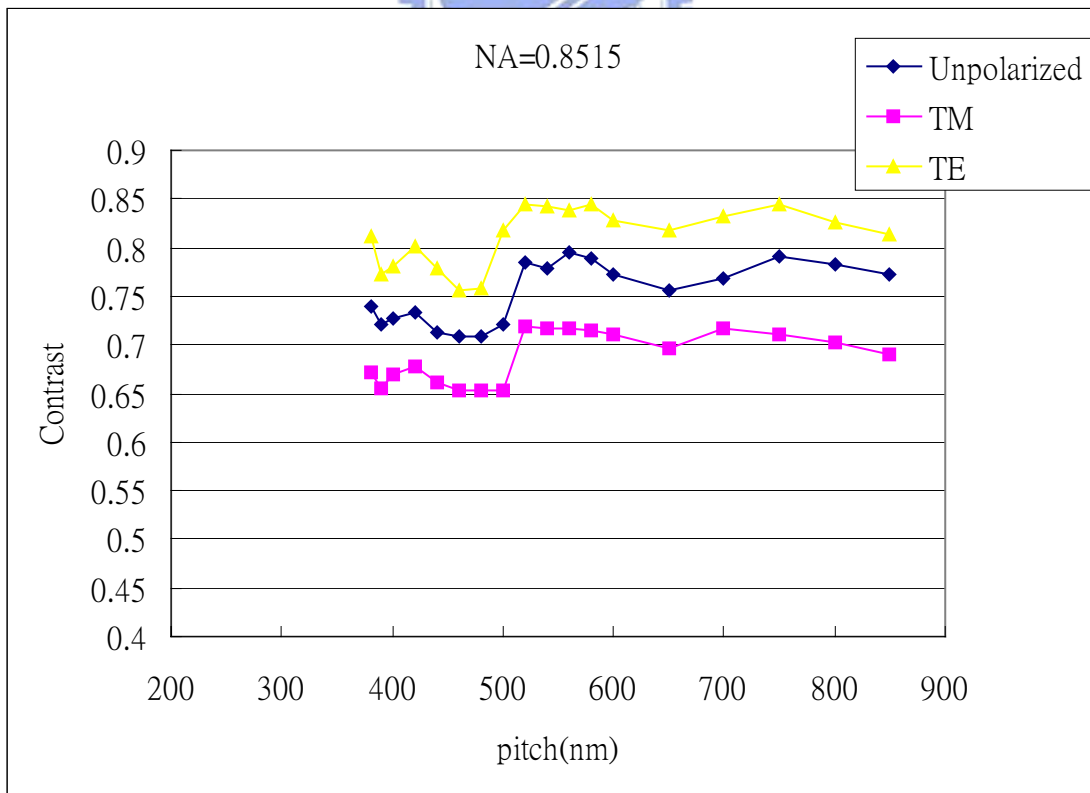


圖 4.22 (b) NA=0.8515 對比度比較

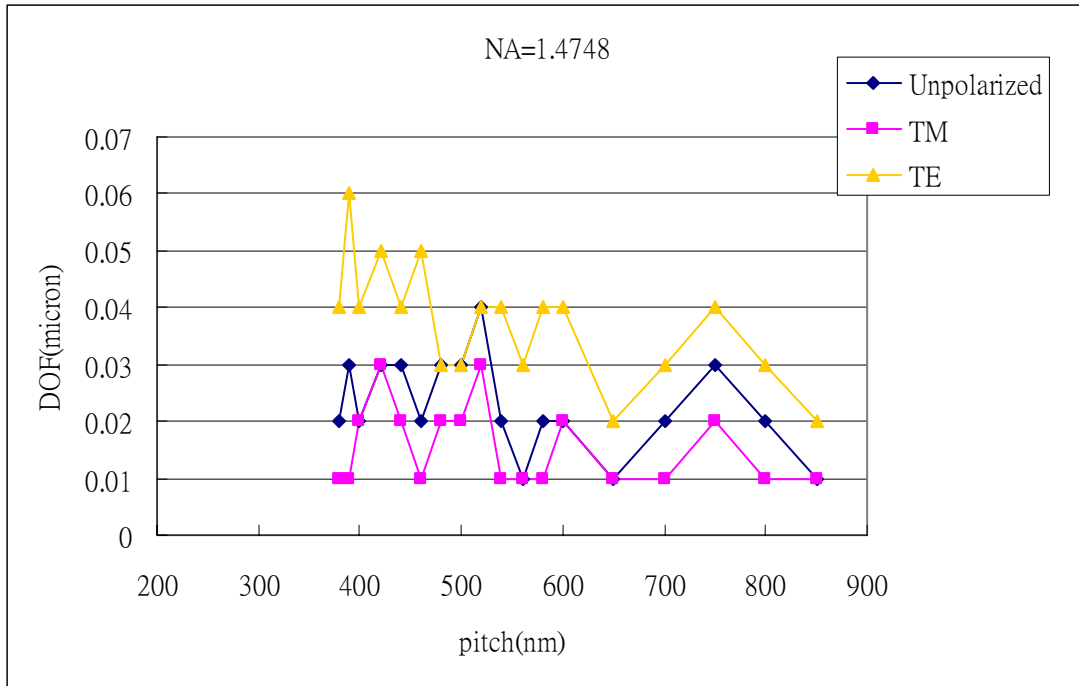


圖 4.23 (a) NA=1.4748 焦深比較

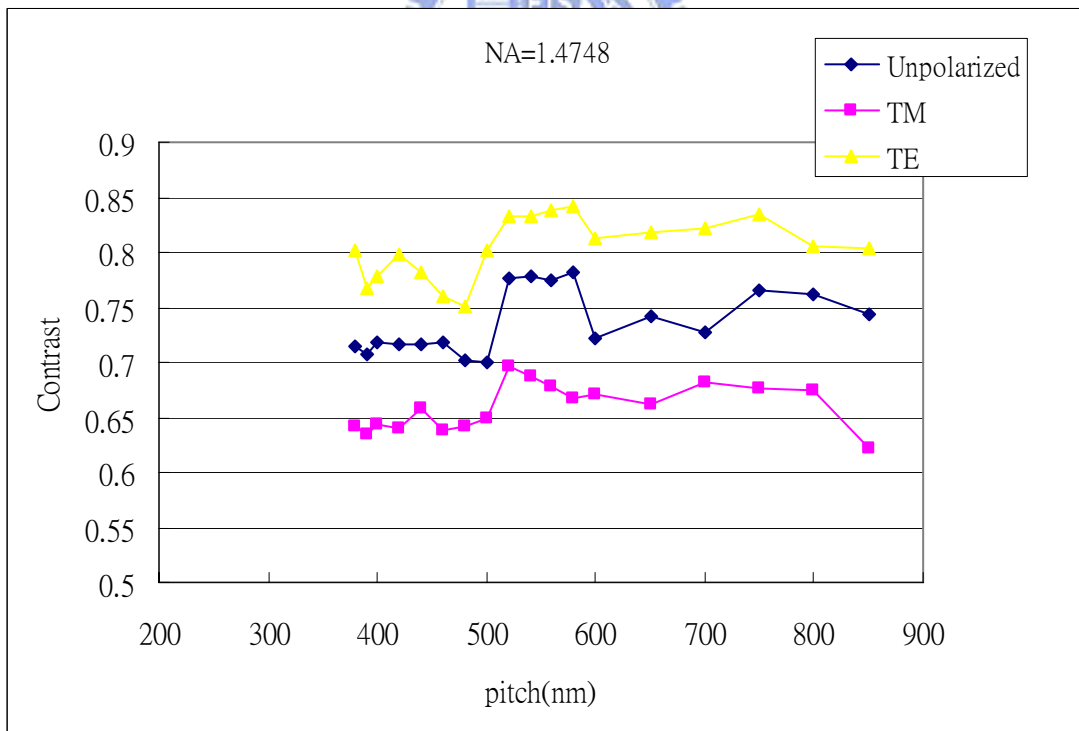


圖 4.23 (b) NA=1.4748 對比度比較

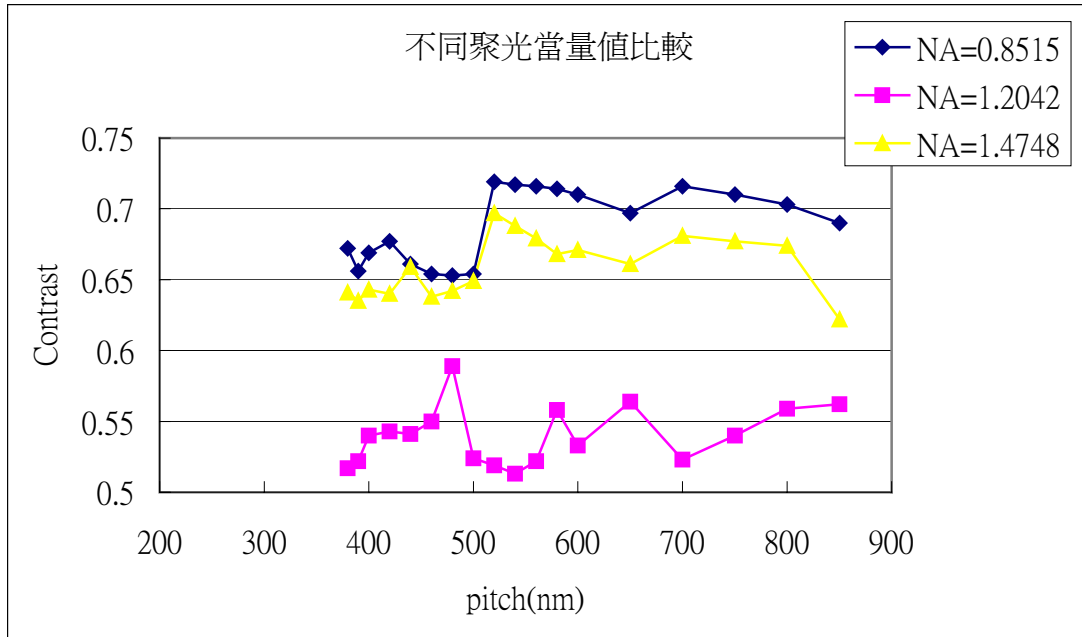


圖 4.24 橫磁(TM)偏振光於不同聚光當量值下之比較

θ 為兩橫磁偏振光束夾角

NA=0.8515($\theta=60$ 度), NA=1.2042($\theta=90$ 度), NA=1.4748($\theta=120$ 度)

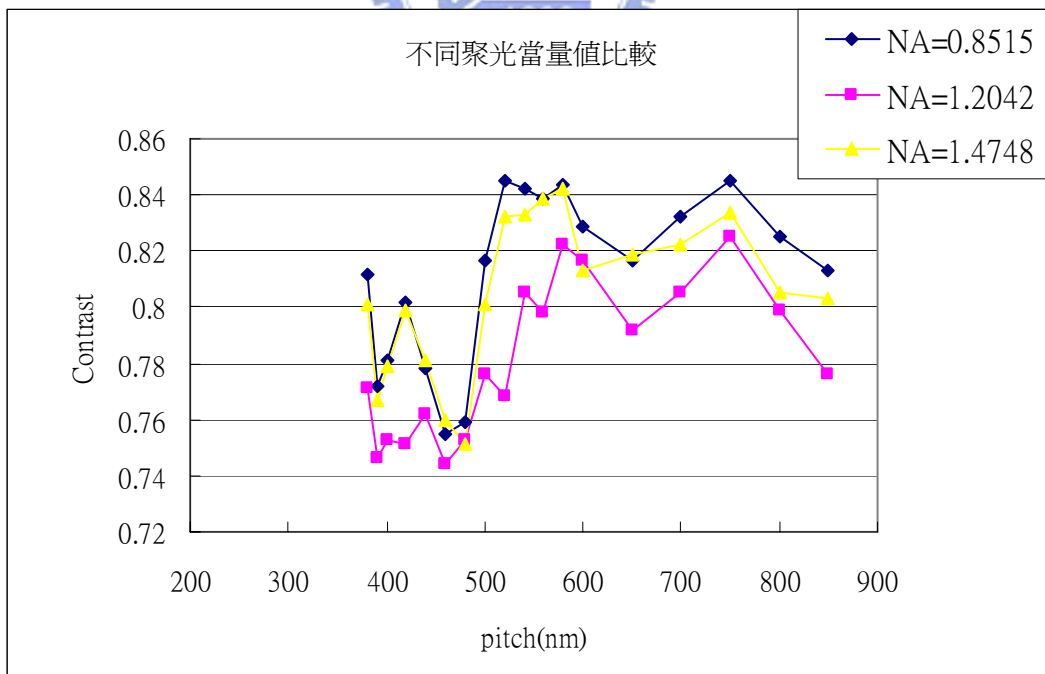


圖 4.25 橫電(TE)偏振光於不同聚光當量值下之比較

NA 與 θ 關係同橫磁偏振光

參考文獻

1. H. Levinson, “The end of optical on the ITRS lithography roadmap”, Solid State Technology, January, 2002.
2. S. Chou, J. Shin, B. Lin, “ Study of mask corner rounding effects on lithographic patterning for 90-nm technology node and beyond”, Proc. SPIE, Vol. 5446, pp. 508-515 (2004).
3. K. Ozawa, S. Sato, H. Ohnuma, “Impact of inter-mask CD error on OPC accuracy in resolution of 90nm and below”, Proc. SPIE, Vol. 5040, pp. 1006-1017 (2004).
4. I. Ivonin, T. Sandstrom, “Pupil optimization of incoherent imaging systems for improved CD linearity”, Proc. SPIE Vol. 5754, pp. 1792-1799 (2005).
5. S. Owa, H. Nagasaka, “Immersion lithography; its potential performance and issues”, Proc. SPIE, Vol. 5040, pp. 724-733 (2003).
6. S. Sato, K. Ozawa, M. Katsumata and H. Ohnuma, “Integrated OPC approach to line-end shortening effects on the photomask and silicon levels for ArF attenuated PSM lithography”, Proc. SPIE, Vol. 5733, pp. 1093-1104 (2004).
7. S. Ishida et al., “DOF enhancement effect of attenuated assist feature”, Proc. SPIE, Vol. 2793, pp. 34-42 (1996).
8. B. W. Smith, “Mutually optimizing resolution enhancement techniques: illumination, APSM, assist feature OPC, and gray bars”, Proc. SPIE, Vol. 4346, pp. 471-485 (2001).

9. N. V. Lafferty et al., “Gray assist bar OPC”, Proc. SPIE, Vol. 5377, pp. 381-392 (2004).
10. R. Socha et al., “Forbidden pitches for 130nm lithography and below”, Proc. SPIE, Vol. 4000, pp. 1140-1155 (2000).
11. B. W. Smith, “Forbidden pitch or duty-free: revealing the causes of across-pitch imaging differences”, Proc. SPIE, Vol. 5040, pp. 399-407 (2003).
12. B. W. Smith et al., “Benefiting from polarization - effects on high-NA imaging”, Proc. SPIE, Vol. 5377, pp. 68-79 (2004).
13. H. Y. Kang et al., “A new method of tilted illumination using grating mask ; ATOM (Advanced Tilted illumination On Mask)”, Proc. SPIE, Vol. 1927, p. 226 (1993).
14. A. Erdmann et al., “Mask Modeling in the Low k_1 and Ultrahigh NA Regime: Phase and Polarization Effects”, BACUS NEWS **21**, April, 2005.
15. Harry Sewell, Diane McCafferty, Jan Mulkens et al., “ The Next Phase for Immersion Lithography ”, Proc. SPIE, Vol. 6154, pp. 1-12 (2006).
16. Burn J. Lin, “The barrier and breakthrough for the immersion lithography technology”, Semicon Taiwan, 2004.
17. A. Wei et al., “Simulating fluid flow characteristics during the scanning process for immersion lithography”, J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 21, No. 6, pp. 2788-2793 (2003).
18. A. Wei et al., “Modelling fluid thermomechanical response for immersion lithography scanning”, Microelectron Eng. (2004).

19. A. Wei, "Preliminary microfluidic simulation for immersion lithography", Proc. SPIE, Vol. 5040, pp. 713-723 (2003).
20. A. Biswas and S. R. J. Brueck, "Simulation of the 45-nm half-pitch node with 193-nm immersion lithography-imaging interferometric lithography and dipole illumination", J. Microlitho., Microfab., Microsyst., 3(1), pp. 35-43, January, 2004.
21. M. Switkes et al., "Immersion liquid for lithography in the deep ultraviolet", Proc. SPIE, Vol. 5040, pp. 690-699 (2003).
22. P. Brooker and J. Lewwillen, "Hyper-NA process window analysis for 45nm lines for azimuthally polarized source", BACUS Newsletter, July, 2004.
http://www.sigma-c.de/papers/hyper_na_2004_july.pdf
23. Pietro Cantu et al, " Evaluation of Hitachi CAD to CD-SEM Metrology Package for OPC Model Tuning and Product Devices OPC Verification ", Proc. SPIE, Vol. 5752, pp. 1341-1352 (2005).
24. C. A. Mack, "The lithography expert: The Rayleigh depth of focus", Microlithography World, February, 2004.
http://sst.pennnet.com/Articles/Article_Display.cfm?Section=ARCHI&Subsection=Display&ARTICLE_ID=199855&p=28
25. Y. Fan et al., "Study of air bubble induced light scattering effect on image quality in 193 nm immersion lithography", Proc. SPIE, Vol. 5377, pp. 477-486 (2005).
26. Scott Warrick et al., " Immersion Lithography Robustness for the C065 node ", Proc. SPIE, Vol. 6154, pp.71-82 (2006).
27. 龍文安, "半導體微影技術", 五南, 台北市, 民93年。

28. L. Peters, "Fabricating 90 nm devices by 2004", Semiconductor International, January, 2002.
29. B. Nikolaus et al., "Dense plasma focus for production-level EUV lithography", Solid State Technology, February, 2002.
30. S. Roy et al., "Extending aggressive low k1 Design rule requirements for 90nm and 65nm nodes via simultaneous optimization of NA, illumination, and OPC", SPIE, Vol. 5379, pp. 190-201 (2005).
31. Chris A. Mack, "Exploring the capabilities of immersion lithography", IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference 2005.
32. Fumikasta Uesawa, Mikio Katsumata et al., "Lithography of choice for the 45 nm node: New medium, new wavelength or new beam? ", Proc. SPIE, Vol. 5377, pp. 1728-1736 (2005).
33. Burn J. Lin, "Immersion lithography and its impact on semiconductor manufacturing", J. Microlitho., Microfab., Microsyst., 3(3), pp377-395, July, 2004.
34. Burn J. Lin, "Depth of focus in multilayered media-along-neglected phenomenon aroused by immersion lithography", J. Microlith., Microfab., Microsyst., Vol. 3, No 1, January, 2004.
35. So-Yeon Beak, Daniel C. Cole et al., "Simulation Study of process latitude for liquid immersion lithography", Proc. SPIE, Vol. 4463, p. 112 (2003).
36. Dario Gila et al., "Characterization of imaging performance for immersion lithography at NA=0.93", Proc. SPIE, Vol. 6154, pp. 202-209 (2006).
37. Yuri Granik, "Calibration of compact OPC models using SEM


- contours”, BACUS Symposium, Proc. SPIE Vol. 5992, pp. 1522-1527 (2005).
38. Hyunjo Yang et al., “OPC Accuracy Enhancement through Systematic OPC Calibration and Verification Methodology for Sub-100nm Node”, Proc. SPIE, Vol. 5752, pp. 720-726 (2005).
39. Ken Ozawa et al., “Effect of Azimuthally Polarized Illumination Imaging on Device Patterns Beyond the 45-nm-Node”, Proc. SPIE, Vol. 6154, pp. 1117-1128 (2006).



自 傳

呂廷軒，男，台北縣人，民國 70 年 11 月 15 日生，家中成員共四人，父親、母親、姐姐和我，家境小康，平時生活樸實和樂。在父母教養下，自幼便養成良好的倫理道德以及基本禮節。

民國 89 年自台北市立大同高中畢業後，進入國立台灣大學化學工程系就讀，四年大學生活，憑著對知識追求的熱忱，及生活上點滴的經驗累積，不僅兼顧學業，也學得做人處事的態度。課餘亦參加系上籃球隊練習，且愛好音樂，藉以放鬆陶冶性情。四年大學生活獲益良多。



大學畢業後，有感學無止盡，應屆（民國 93 年）考上國立交通大學應用化學研究所，在恩師龍文安教授指導下，從事半導體微影製程之研究，如光學微影(Lithography)、相移圖罩(PSM)及解像度增進技術(RET)等相關知識。在交大兩年裡，認識許多不同科系的同學，並結識許多朋友，深刻體會到學無止盡。

自認並非天資聰穎，所以一向抱持謙卑的態度學習，廣泛吸取知識，來面對這變遷快速的社會。畢業後希望能學以致用，繼續不斷充實自己，以期將來能一展所長，對社會有所微薄貢獻。