

# 疊對量測圖樣最佳化設計

李雅萍  
量測中心  
ypli@itri.org.tw

顧逸霞  
量測中心  
yku@itri.org.tw

童啟弘  
量測中心  
chtung@itri.org.tw

## 摘要

為了要降低 WIS(wafer induce shift)對微影疊對誤差量的影響,許多研究報告紛紛顯示未來的趨勢為縮小微影疊對圖樣的尺寸以及改變放置微影疊對圖樣的位置使其接近主動面積(active area)或是直接將微影疊對圖樣放在主動面積裡。但是當微影疊對圖樣的尺寸愈來愈接近晶片內最小設計尺寸(in-chip design rule)時,由於超越了繞射極限的緣故,經由顯微鏡觀察到的影像會變的模糊而難以辨識,在這種情況下雖然仍然可以觀察到一些影像非對稱的現象,但是用來分析傳統微影疊對圖樣(box-in-box, BIB)的演算法勢必難以用來分析晶片內微影疊對圖樣(in-chip overlay target),有鑒於此,我們發展出新的演算法用來分析這種微小化的微影疊對圖樣。

本文中我們建立出一套數值演算法用來模擬整個疊對圖樣的量測系統模型, Thin Film Model, 並經由與 NIST 發展的數值理論模型比較, 確定了本數值演算法所用來模擬整個疊對圖樣影像的正確性。除了可正確的模擬出因為錯位而產生非對稱現象的影像, 並發展分析非對稱性與微影疊對錯位量關係的演算法。

為了配合微影疊對圖樣的線寬可能縮至 65nm 或更小及尺寸上之縮小, 我們利用所建立之 Thin Film Model 理論模擬結果找出 in-chip overlay target 在 offset 及之最佳尺寸參數、線寬及最佳光學參數, 並在尋求最佳參數之際找出是否有更佳之分析非對稱性之數學理論。

關鍵字：自動光學檢測、AOI

## 壹、前言：

為了要降低 WIS(wafer induce shift)對微影疊對誤差量的影響,許多研究報告<sup>(1)</sup>紛紛顯示未來的趨勢為縮小微影疊對圖樣的尺寸以及改變放置微影疊對圖樣的位置使其接近主動面積(active area)或是直接將微影疊對圖樣放在主動面積裡。但是當微影疊對圖樣的尺寸愈來愈接近晶片內最小設計尺寸(in-chip design rule)時,由於超越了繞射極限的緣故,經由顯微鏡觀察到的影像會變的模糊而難以辨識,在這種情況下雖然仍然可以觀察到一些影像非對稱的現象,但是用來分析傳統微影疊對圖樣(box-in-box, BiB)的演算法勢必難以用來分析晶片內微影疊對圖樣(in-chip overlay target),有鑒於此,發展出新的演算法 Thin Film Model 用來分析這種微小化的微影疊對圖樣。為了配合微影疊對圖樣的線寬可能縮至 65nm 或更小及尺寸上之縮小,本文利用所建立之 Thin Film Model 理論模擬結果找出 in-chip overlay target 之最佳尺寸參數及最佳光學參數。

## 貳、Thin Film Model：

本模擬系統使用之數值模型詳述如下，首先在計算遠場影像強度分佈之前，要先計算疊對圖樣物件近場分佈函數，即 target Function，為了避免解繁瑣的電磁撥傳導方程式，我們採用計算薄膜反射率穿透率的 transfer matrix method<sup>(2)</sup>，其公式如下：

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \delta & \frac{i}{\eta} \sin \delta \\ i\eta \sin \delta & \cos \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ y_s \end{bmatrix} \quad (1-1)$$

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} nd \quad (1-2)$$

$$\eta_s = (n - ik) \cdot \cos \theta, \quad \eta_p = \frac{(n - ik)}{\cos \theta} \quad (1-3)$$

$$y_s = n_s - ik_s \quad (1-4)$$

$$r = \frac{\eta_0 B - C}{\eta_0 B + C} \quad (1-5)$$

$$R = r \cdot r^* \quad (1-6)$$

式(1-1)中  $\delta$  代表經過薄膜後的相位變化量，如(1-2)所示與穿透光波長及薄膜折射率、厚度有關， $y_s$  為基板之光學導納(optical admittance)，如(1-4)所示， $n$  跟  $k$  為折射率與消光係數， $\eta$  為斜向入射之光學導納， $\theta$  為入射角，則  $C/B$  為通過膜層後之等效光學導納，得到等效光學導納就可以計算反射係數  $r$  與反射率  $R$  如式(1-5)與(1-6)所示， $\eta_0$  為入射介電質之光學導納。

建構好 target Function 之後，就利用 Thin Film Model<sup>(3)</sup>計算遠場的成像強度分佈情況，遠場之成像系統如圖一所示，target 的影像由物平面(x,y)經過一次傅立葉轉換其繞射圖樣成像在透鏡在其後焦平面( $\mu, \nu$ )上( $\mu = k \sin \theta$ )，由於假設在  $y$  方向對稱，即只考慮一維成像，所以係數  $y$  與  $\nu$  都被省略了，其轉換公式如下：

$$i(\vartheta, \varphi, \lambda, x_0) = \int_{x_0 - w/2}^{x_0 + w/2} r(x, \lambda) e^{-ikx(\sin \vartheta - \sin \varphi)} dx \quad (2-1)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2-2)$$

式(2-1)中  $r(x, \lambda)$  為 target function， $\theta$  為光束進入物鏡入射角， $\varphi$  為光源光束進入聚光透鏡之入射角， $w$  為 target 的寬度， $x_0$  為 target 之中心點，所以  $i(\theta, \varphi, \lambda, x_0)$  為 target 經過透鏡在其後焦點處之場的分布， $k$  為波數。

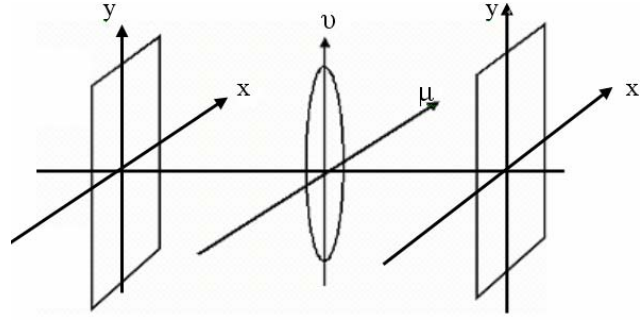


圖 1、成像系統

將透鏡後焦處之成像  $i(\theta, \varphi, \lambda, x_0)$  再經過一次反傅立葉轉換，就可以得到遠場場的分佈，即如式(3-1)中  $i'(x', \varphi, \lambda, x_0)$  所示， $NA_0$  為顯微物鏡的數值孔徑，而  $I(x', \varphi, \lambda, x_0)$  為影像強度之分佈，如式(3-2)所示。

$$i'(x', \varphi, \lambda, x_0) = 2\pi \int_{NA_0} i(\vartheta, \varphi, \lambda, x_0) \cos \vartheta e^{ikx' \sin \vartheta} d\vartheta \quad (3-1)$$

$$I(x', \varphi, \lambda, x_0) = |i'(x', \varphi, \lambda, x_0)|^2 \quad (3-2)$$

得到遠場影像強度的分佈之後，還必須考慮光源經過聚光透鏡之後為有限角度入射，而且可能會有不均勻的現象，所以將這些考慮進去之後用幾何光學的方式積分不同角度入射之影響就如式(4-1)所示，除此之外，一般疊對測量系統通常是用白光光源加上彩色濾光片再擷取影像，所以濾光片對光源頻譜之影響也必須考慮進去，如式(4-2)所示：

$$I(x', \lambda, x_0) = 2\pi \int_{NA_c} I(x', \varphi, \lambda, x_0) \cos \varphi d\varphi \quad (4-1)$$

$$I(x', x_0) = \int I(x', \lambda, x_0) L(\lambda) d\lambda \quad (4-2)$$

式(4-1)中  $NA_c$  為聚光透鏡的數值孔徑， $\varphi$  為光源光束進入聚光透鏡之入射角， $L(\lambda)$  為光源經過彩色率光片後之能量頻譜，所以最後得到之影像強度即為  $I(x', x_0)$ ，而且包含了光源與光學系統參數之影響。

參、實驗設計：

先前已經由與 NIST 發展的數值理論模型<sup>(4)</sup>比較，確定了本實驗架構所用來模擬整個疊對圖樣影像的正確性，如圖二所示，圖二(a)為 NIST 數值模型模擬結果，實線為 Modal Diffraction Grating Model，虛線為 Integral Equation Method，模擬目標為單一矽線，寬度 1 micron，高度 600nm，如圖三所示，照明數值孔徑為 0.6，較正數值孔徑為 0.8，波長為 546nm，圖二(b)為 Thin film model 模擬結果，可以看出其模擬結果吻合度很好。

經由建立出一套用來模擬整個疊對圖樣的量測系統模型，已經可以正確的模擬出因錯位而產生非對稱現象的影像，其模擬目標晶片內微影疊對圖樣(in-chip overlay target)的設定如圖四所示，整個圖樣大小為  $1 \mu m \times 1 \mu m$ ，SiO<sub>2</sub> 與 PR 線寬為  $0.1 \mu m$ ，SiO<sub>2</sub> 與 PR 為不同層的結構，所以當錯位產生時，PR 的位置會偏離兩條 SiO<sub>2</sub> 線的中心，所以

模擬中心 PR 線偏離中心的結構，就可以預估量測 overlay 時觀察到的影像。

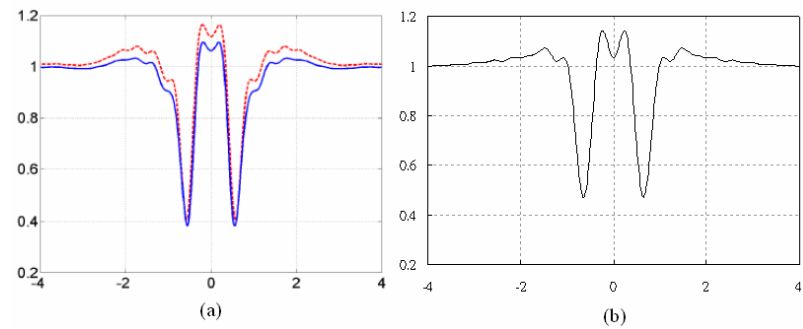


圖 2、(a)NIST 數值模型模擬結果 (b)Thin film model 模擬結果

模擬 in-chip overlay target 在 offset 之最佳尺寸參數、位置及最佳光學參數部分，目前會將模擬重點放在如圖三所示，S=2um，W1=65、90 nm，W2=65、90 nm，並從分析非對稱性之數學理論來分析其中心點之非對稱性的線性關係來做判斷，具較高靈敏度(較大斜率)之 minRMSE vs. offset value 之參數組合為最佳 in-chip overlay target。

#### 肆、模擬最佳化設計

##### 一、不同尺寸大小及線寬組合

如圖三所示，我們以 NDL 的材料參數，試著以不同尺寸大小，1000nm, 2000nm,3000nm 及不同線寬組合，65nm, 90nm, 130nm, 250nm，來作模擬參數之選擇。其中光阻 PR 的厚度為 100nm，而 SiO<sub>2</sub> 的厚度為 50nm。光源的選擇為 380~490nm，並以 offset value 同為 60nm 之 minRMSE 來作比較。

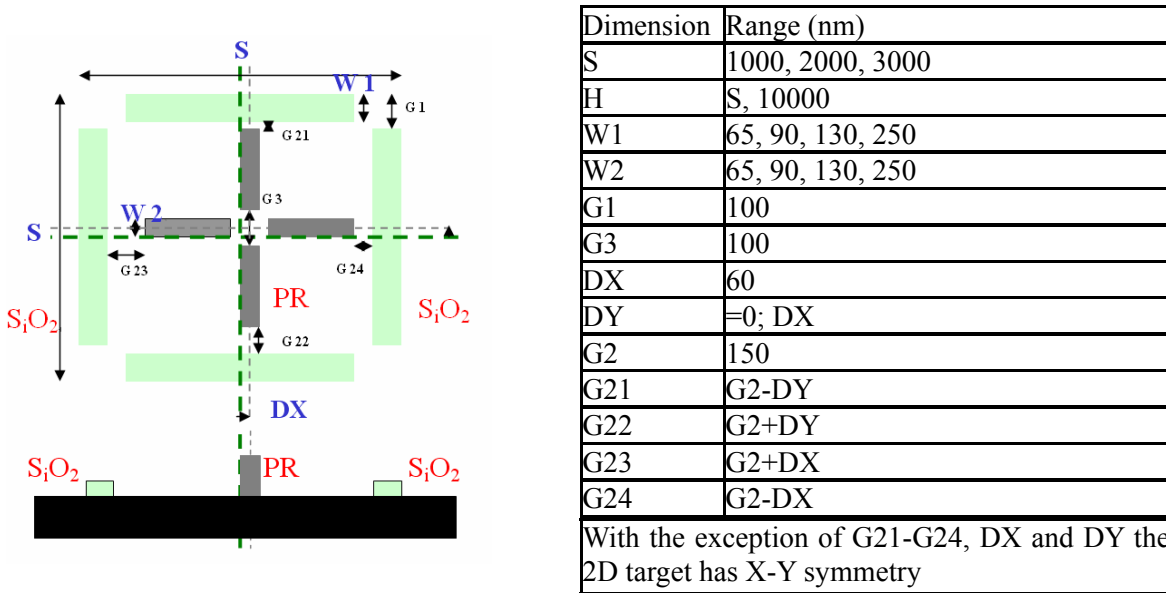


圖 3、最佳化之結構圖及參數之選擇

圖四所示為當尺寸大小為 3000nm，不同線寬組合下所模擬出之 intensity profile。圖五所示為當尺寸大小為 2000nm，不同線寬組合下所模擬出之 intensity profile。圖六所示

為當尺寸大小為 1000nm，不同線寬組合下所模擬出之 intensity profile。表格一所示為不同之線寬組合於 offset value 為 60nm 時，不同尺寸之 minRMSE 比較值表。由表格可看出當尺寸大小為 1000nm，外 90nm，內 250nm 為最佳 in-chip target。當尺寸大小為 2000nm，外 250nm，內 250nm 及外 65nm，內 250nm 為最佳 in-chip target。當尺寸大小為 3000nm，外 65nm，內 250nm 為最佳 in-chip target。

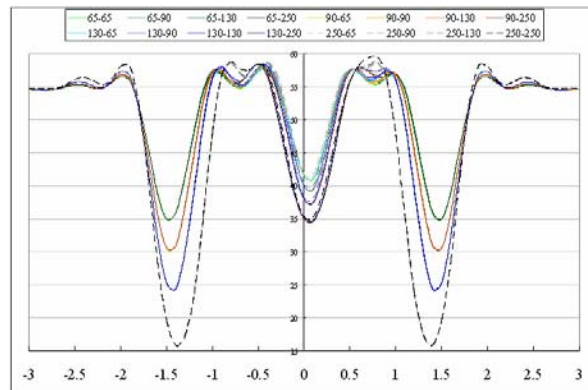


圖 4、尺寸大小為 3000nm，不同線寬組合下所模擬出之 intensity profile

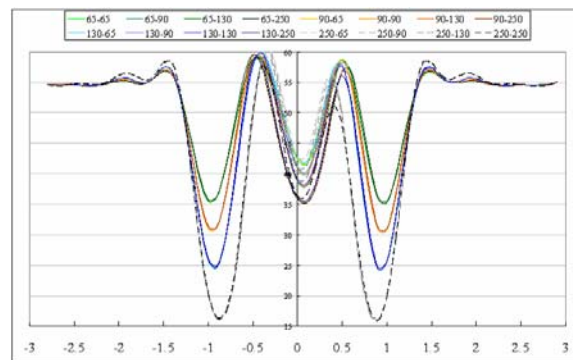


圖 5、尺寸大小為 2000nm，不同線寬組合下所模擬出之 intensity profile

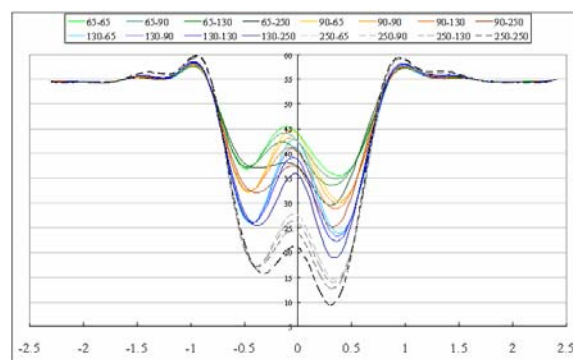


圖 6、尺寸大小為 1000nm，不同線寬組合下所模擬出之 intensity profile

## profile

表格 1、不同之線寬組合於 offset value 為 60nm 時之 minRMSE 比較

| W1 (nm) - W2 (nm) | S=1um, minRMSE | S=2um, minRMSE | S=3um, minRMSE |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| 65-65             | 0.03654        | 0.03451        | 0.03206        |
| 65-90             | 0.0398         | 0.03753        | 0.03484        |
| 65-130            | 0.04371        | 0.0412         | 0.03823        |
| 65-250            | 0.0475         | 0.04527        | 0.0418         |
| 90-65             | 0.03562        | 0.03445        | 0.03198        |
| 90-90             | 0.03887        | 0.03746        | 0.03476        |
| 90-130            | 0.04277        | 0.04118        | 0.03814        |
| 90-250            | 0.04654        | 0.0453         | 0.04181        |
| 130-65            | 0.03376        | 0.03435        | 0.03187        |
| 130-90            | 0.03699        | 0.03737        | 0.03464        |
| 130-130           | 0.04088        | 0.04106        | 0.03801        |
| 130-250           | 0.0448         | 0.04528        | 0.04167        |
| 250-65            | 0.0271         | 0.03441        | 0.03177        |
| 250-90            | 0.03044        | 0.03745        | 0.03452        |
| 250-130           | 0.03458        | 0.04113        | 0.03786        |
| 250-250           | 0.0396         | 0.04553        | 0.04148        |

## 二、進階選擇較佳之尺寸及線寬組合於 NAO 及 NAc 之最佳化

選擇外為 65nm，內為 130nm 及 250nm 之線寬組合於不同尺寸下，改變 NAO 及 NAc 之選擇。圖七所示為當尺寸為 3000nm，外為 65nm，內為 130nm 及 250nm 之線寬組合於不同 NAO 及 NAc 之 intensity profile。圖八所示為當尺寸為 2000nm，外為 65nm，內為 130nm 及 250nm 之線寬組合於不同 NAO 及 NAc 之 intensity profile。圖九所示為當尺寸為 1000nm，外為 65nm，內為 130nm 及 250nm 之線寬組合於不同 NAO 及 NAc 之 intensity profile。表格二所示為不同之線寬組合於 offset value 為 60nm 時，在不同 NAO 及 NAc 之 minRMSE 比較表格。由表格二可看出，當 NAO=0.5, NAc=0.1 時，可得最佳之 minRMSE 值。

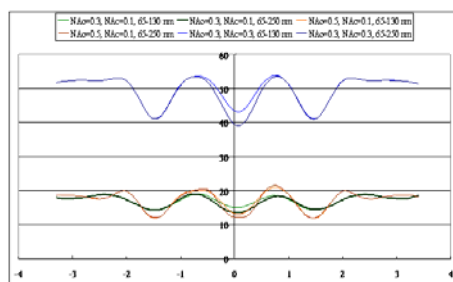


圖 7、尺寸為 3000nm，外為 65nm，內為 130nm 及 250nm 之線寬組合於不同 NAO 及 NAc 之 intensity profile。

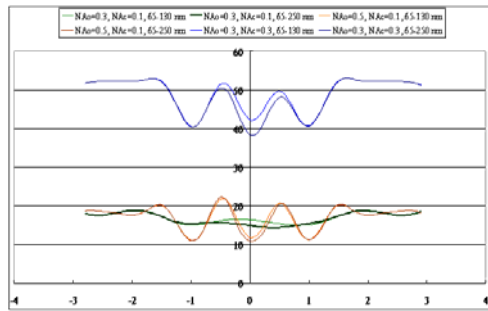


圖 8、尺寸為 2000nm，外為 65nm，內為 130nm 及 250nm 之線寬組合於不同 NAO 及 NAc 之 intensity profile。

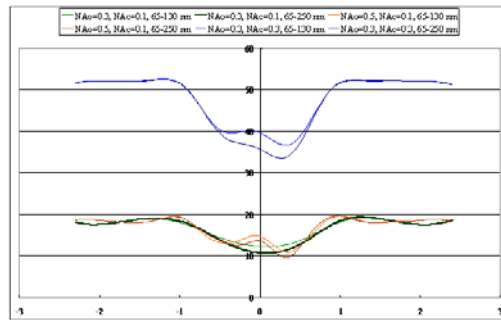


圖 9、尺寸為 1000nm，外為 65nm，內為 130nm 及 250nm 之線寬組合於不同 NAO 及 NAc 之 intensity profile。

表格 2、不同之線寬組合於 offset value 為 60nm 時，在不同 NAO 及 NAc 之 minRMSE 比較表格。

|             | NAo=0.3, NAc=0.1 | NAo=0.5,<br>NAc=0.1 | NAo=0.3, NAc=0.3 |
|-------------|------------------|---------------------|------------------|
| 1um, 65-130 | 0.01899          | 0.04481             | 0.02077          |
| 1um, 65-250 | 0.01876          | 0.06028             | 0.02732          |
| 2um, 65-130 | 0.01807          | 0.04274             | 0.0202           |
| 2um, 65-250 | 0.02611          | 0.05103             | 0.0263           |
| 3um, 65-130 | 0.01689          | 0.04077             | 0.01838          |
| 3um, 65-250 | 0.02407          | 0.04832             | 0.024            |

## 五、結論

由所建立之 Thin Film Model 數值演算法模擬整個疊對圖樣的量測系統模型，除了可正確的模擬出因為錯位而產生非對稱現象的影像，並發展分析非對稱性與微影疊對錯位量關係的演算法。

為了配合微影疊對圖樣的線寬可能縮至 65nm 或更小及尺寸上之縮小，我們利用所

建立之 Thin Film Model 理論模擬結果找出 in-chip overlay target 在 offset 及之最佳尺寸參數、線寬及最佳光學參數。由模擬結果發現，當尺寸大小為 3000nm，外 65nm，內 250nm 為最佳 in-chip target。當  $NA_o=0.5$ ,  $NA_c=0.1$  時，可得最佳之 minRMSE 值。

## 參考文獻

- (1) R. Attota, R. M. Silver, M. Bishop, E. Marx, J. Jun, M. Stocker, M. Davidson, & R. Larrabee (2004). Evaluation of New In-chip and Arrayed Line Overlay Target Designs. *SPIE*, 5375, 395.
- (2) H. A. Macleod (1986). Thin-Film Optical Filter 2<sup>nd</sup>. *Chap. 2, Adam Hilger Ltd.*
- (3) ACCENT. Measurement algorithms. 19-31.
- (4) R. M. Silver, R. Attota, M. Stocker, M. Bishop, J. Jun, E. Marx, M. Davidson, & R. Larrabee (2004). High-resolution Optical Overlay Metrology. *SPIE*, 5375, 78.