

# Canon FPA-3000i5<sup>+</sup> Stepper

The FPA-3000 i5<sup>+</sup> is a high productivity mix-and-match Stepper. Its wide-field lens with improved NA variability makes it an excellent investment. This extensively field-proven veteran of the Canon Stepper line-up has been a best-selling product since its release in 1996.

## Features

- High resolution, wide-field lens, extra NA variability, plus reticle options.
- High alignment accuracy for CMP processes. Two off-axis methods in addition to Canon's original technology.
- High throughput features include a six-axis non-contact FLAT (Fast Linear Air-guided Tilting) stage and on-the-fly smoothing focus.
- Designed for high CoO and efficient operation which is achieved through common parameters for main-body structure, operation and maintenance. By partnering for example with the E-beam Stepper the i5<sup>+</sup> delivers truly optimized mix-and-match lithography.

## Specifications

FPA-3000i5 <sup>+</sup>	I-line (365nm) Stepper
Resolution	0.35 micron (dense lines)
NA	0.63 – 0.45 (Automatically Variable)
Reticle Size	5-inch
Reduction Ratio	5:1
Field Size	20mm x 20mm
Overlay Accuracy	/Mean/ + 3 sigma ≤ 45nm
Throughput	100 wph (200mm)

# X-Y 曝光平台系統介紹

現行微影製程所使用的曝光機台主要是由光學投影系統及 X-Y 曝光平台所構成的，光學投影系統決定了曝光機台對阻劑層的解析極限，而 X-Y 平台則影響機台對準時的相關參數，進一步影響產品之產能和良率。目前高數值孔徑(high NA)與短波長（達 DUV 範圍）的步進機，已經可以將線寬推進至 100 奈米以下的尺寸，但伴隨而來的問題，是挑戰在 100nm 線寬下的對準極限( $3\sigma=10\text{nm}$ )。在先進曝光機台中，曝光平台的步進準確性(Stepping Accuracy)、等距性(Stepping Scaling)、再現性(Stepping Repeatability)、旋轉補正(Rotation Compensation)、傾斜補正 (Tilt Compensation) 等項目，都有明確的規範和檢驗方式。

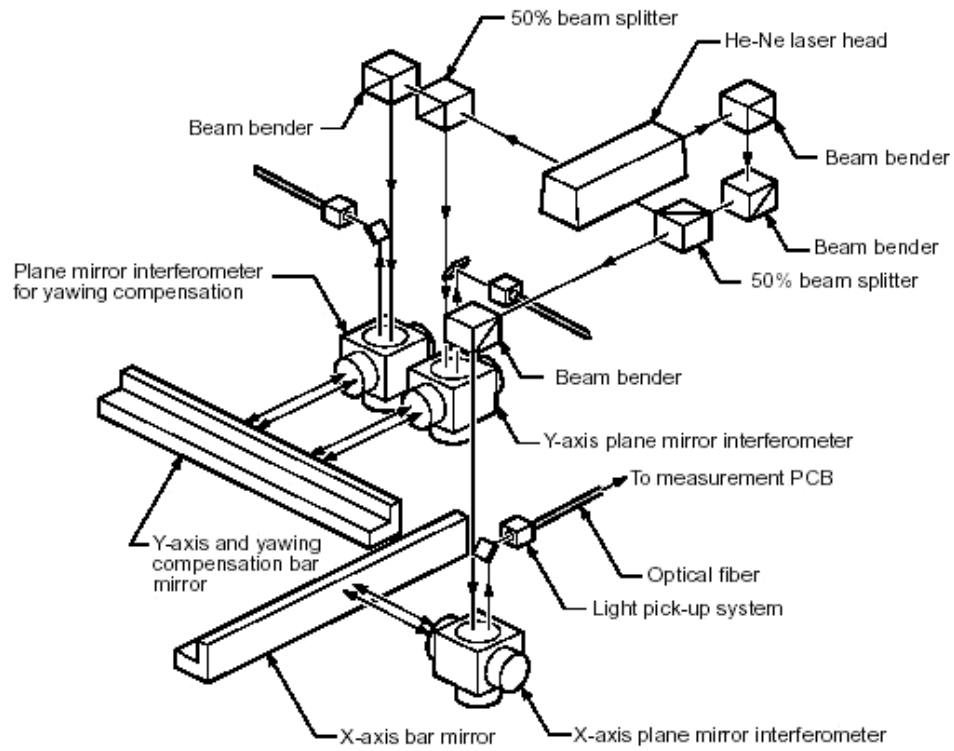
## X-Y Stage 系統簡介

曝光平台為一氣浮式(Air Bearing)平台，是利用氣浮系統和線性馬達在 X、Y 軸和  $\theta$ -Z 軸運動以達到高速、高準確性的晶圓定位和傳輸，其包含以下兩個系統，(1)驅動系統，(2)定位偵測系統。

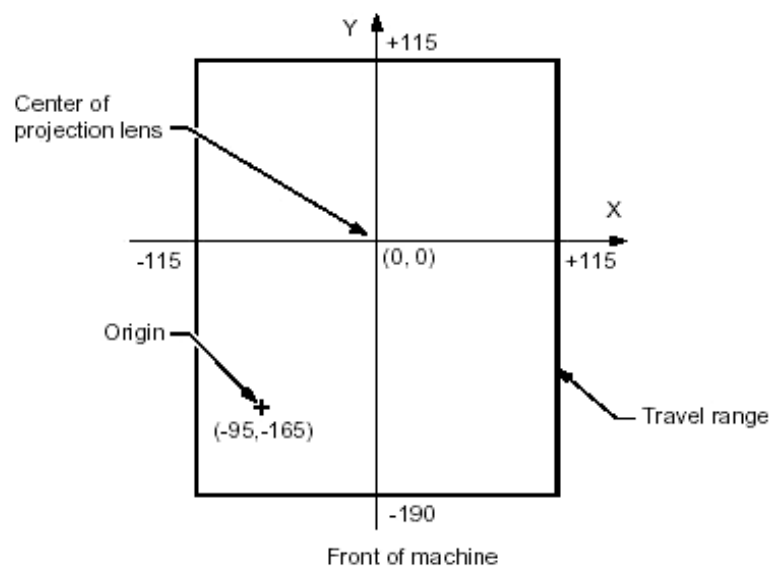
驅動系統由線性馬達控制，這些馬達由 X-Y 曝光平台的專屬印刷電路板輸出電流值，藉以計算由馬達驅動平台到特定位置時所移動的距離。定位偵測系統由光開關感知器 (Photo switch sensor) 和雷射干涉儀 (Laser interferometer) 組成，光開關感知器以平台驅動到特定位置，會遮斷光而判斷平台之相對歸零位置

(Origin)和極限位置(Limit)，而雷射干涉儀則是以雷射光與平台上條狀鏡組(Bar mirror) 其反射光因光程差產生干涉之條紋來計算平台行進和偏轉的即時位置；氦氖雷射光以分光器分成三道光，分別導至 X 軸、Y 軸和  $\theta$  角之雷射頭，每道光都會跟平台上之條狀鏡組反射光產生干涉，經由計算可準確得知雷射頭和平台的相對位置(參考圖一)；圖中分光鏡 (beam splitter) 將雷射頭的光分至三個干涉儀，干涉儀利用入射線與經由條狀鏡組 (bar mirror) 的光因為光程差的不同，產生干涉，干涉而得的光利用光纖導入 PCB 版中進行量測和計算。整個平台移動座標

系統和範圍則在圖二中表示；X軸運動範圍在 $\pm 115\text{mm}$ 之間，Y軸運動範圍在 $-190\text{mm}$ 至 $+115\text{mm}$ 之間，相對歸零位置（Origin）在 $(-9.5, -165)$ 處。



圖一、步進機之驅動系統

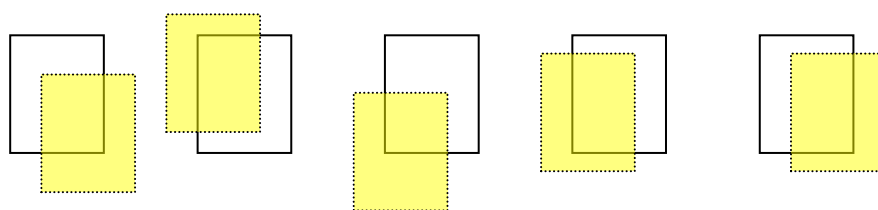


圖二、平台移動座標系統和範圍

## X-Y Stage 誤差的影響

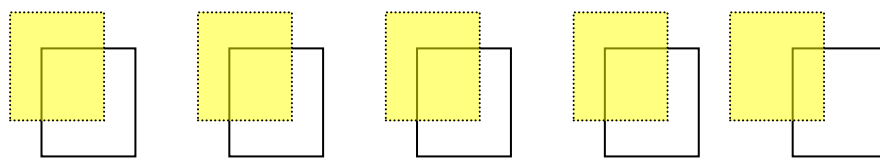
X-Y 平台係由上述的複雜驅動和定位系統控制，變因極多，其主要誤差來源為雷射干涉儀與平台上幾何角度的微小誤差，造成干涉計算結果的不準度，一般稱之為 ABBE 參數，而在其各項性能評估上可規類為以下數項：(1)步進準確性、(2)步進再現性、(3)步進等距性、(4)旋轉補正、(5)傾斜補正。

步進準確性是為了評估同一次曝光時平台步進距離能與設定值相同，若步進準確性不好會造成無規律的誤差。此項誤差會造成同一層圖案發生不預期的重疊，或是無法進行下一層對準。圖三中實線為正常步進，而虛線為步進準確性不佳時所造成。



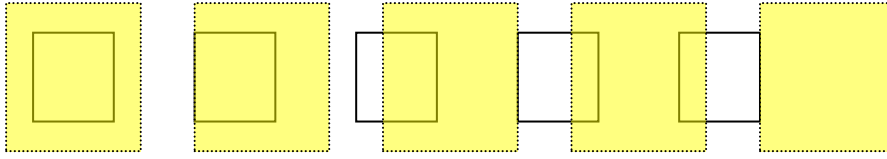
圖三、實線為正常步進，而虛線為步進準確性不佳

步進再現性是評估不同次曝光時步進距離的再現性質，若是步進再現性不佳則在多層對準上會有規律的誤差，造成對準效率不佳，影響良率。圖四中實線為前一層圖案，而虛線為步進再現性不佳所造成結果。



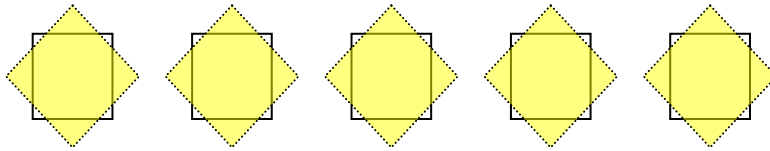
圖四、實線為前一層圖案，而虛線為步進再現性不佳

步進等距性是評估同次曝光時步進距離有無放大或縮小的型變發生，若是等距性不佳，會造成圖案的偏移量規律放大。圖五中實線為正常圖案，而虛線為等距性不佳造成圖案放大現象。圖五可看出正常圖案中心位置與等距性不佳時，中心位置距離相差越來越大，但其實其步進距離是相等的。



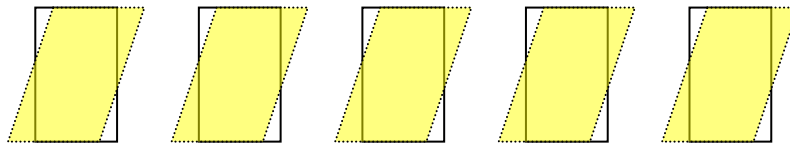
圖五、實線為正常圖案，而虛線為等距性不佳造成圖案放大現象

旋轉補正是評估平台步進圖案是否有旋轉的情況發生，若是旋轉補正不佳，即會造成如圖六之現象，而旋轉發生的原因與光罩本身有無旋轉有關連，故此項補正常常與光罩旋轉補正 (Reticle Rotation) 互為因果。圖六之實線為正常圖案，而虛線為旋轉補正不佳時造成的現象。



圖六、實線為正常圖案，而虛線為旋轉補正不佳

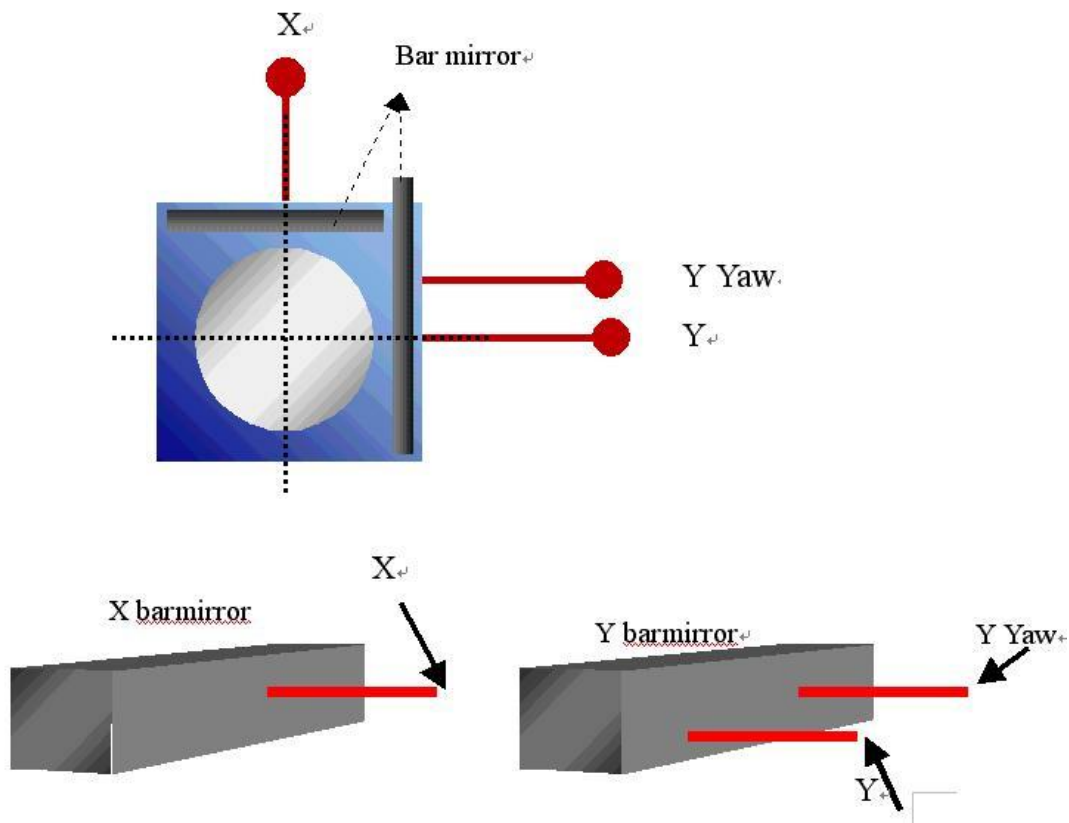
傾斜補正是評估平台本身是否與曝光平面平行，若不是平行，則其投影在平台上之正交性(orthogonality)會受影響，而且會有焦距不同(uneven focus)的現象發生。圖七之實線為正常圖案，而虛線為傾斜補正不佳時造成的現象。



圖七、實線為正常圖案，而虛線為傾斜補正不佳

## X-Y Stage 誤差的原因

上節中的任一種誤差發生時，勢必會造成對準效率的下降，其成因都與平台上雷射干涉儀的計算有關連(稱之為 ABBE 參數)，接下來以本實驗室之 I-line 步進機其曝光平台為例，介紹各種 ABBE 參數和其造成誤差的原因。首先先看雷射干涉儀和平台相對關係：干涉儀為三支雷射頭 X、Y 和 Y Yaw，分別與條狀鏡組的反射光進行干涉後計算 X、Y 及  $\theta$  的位置(參考圖八)。



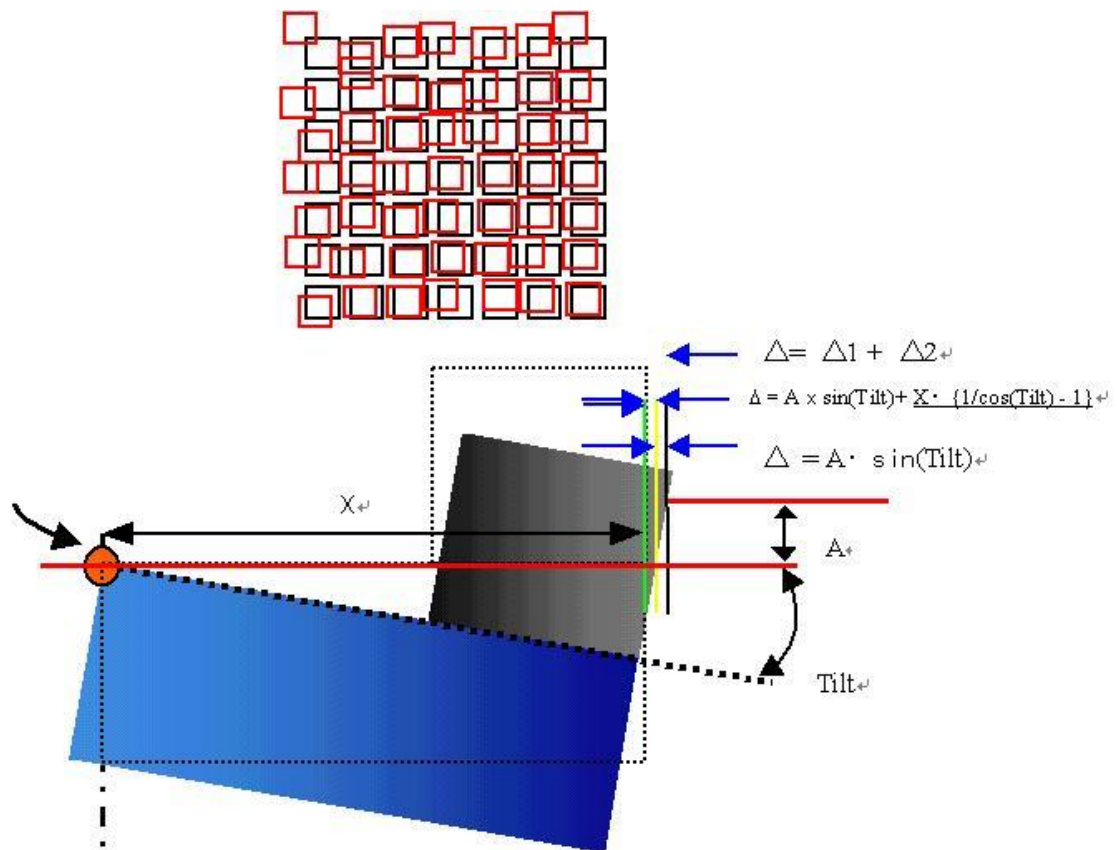
圖八、干涉儀作用原理

ABBE的A參數是為了補償當平台驅動傾斜時，入射雷射光打在Bar mirror其反射光的位置會與實際曝光平面有一微小高度差(A)，造成位置計算的不準，其可用下式表示。

$$\Delta = A \times \sin(\text{Tilt}) + X \{ 1/\cos(\text{Tilt}) - 1 \} \approx A \times \text{Tilt}$$

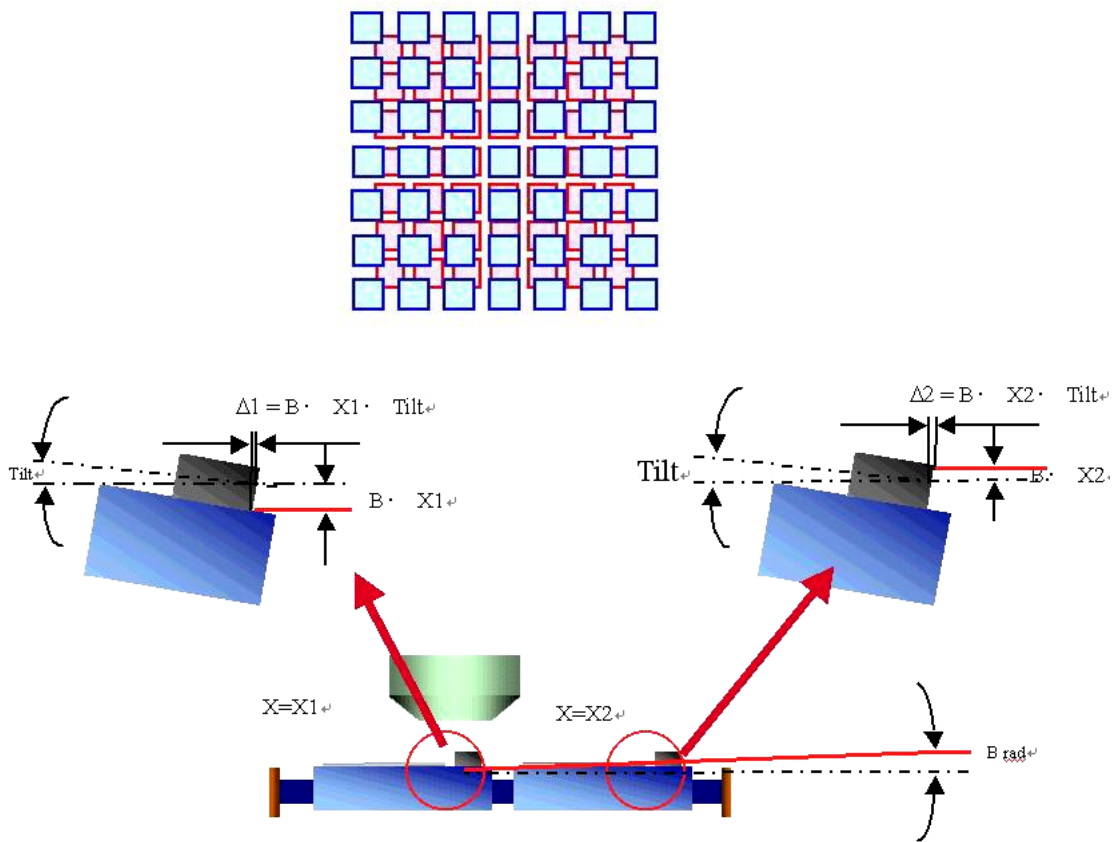
當平台在曝光時會做 Die By Die 傾斜補正，而在一發生傾斜補正時，會造成以上的  $A \times \text{Tilt}$  之微小誤差，所以要預先算出補償值，讓雷射干涉儀修正此誤差。ABBE

的 A 參數造成的誤差為影響步進準確性的主要因素。圖九中黑色為正確位置，而紅色為 ABBE 的 A 參數補償不佳時的狀況。



圖九、黑色為正確位置，而紅色為 ABBE 的 A 參數補償不佳

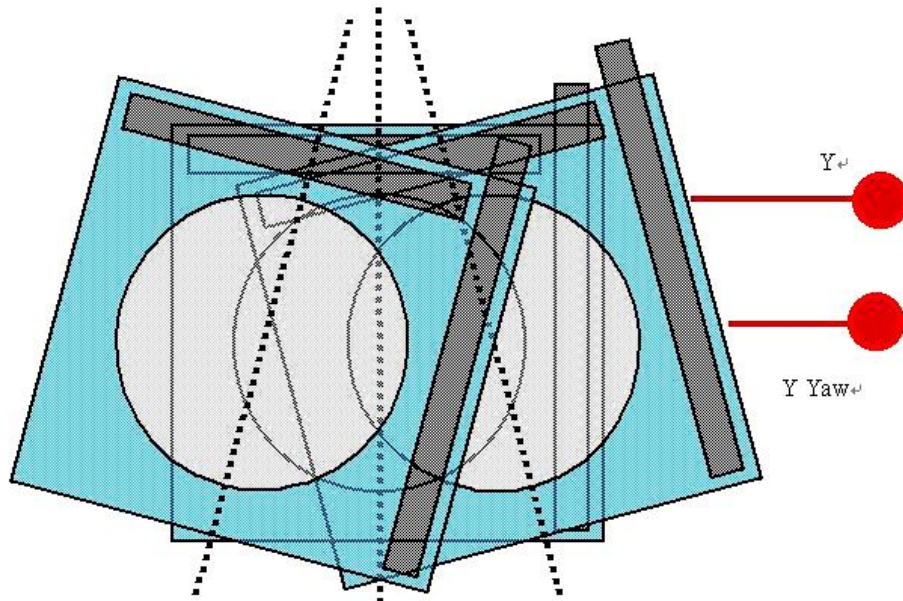
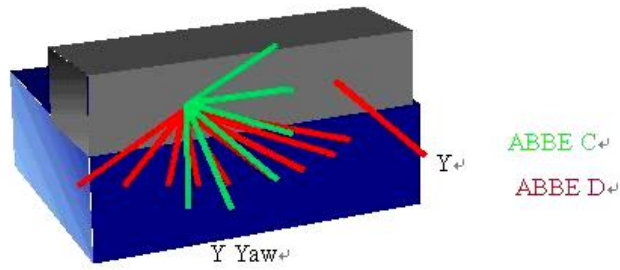
ABBE 的 B 參數是為了補償雷射光其入射角與平台不平行，以致在不同位置 (X) 時相差 B 角度(rad)，造成計算上微小的誤差，其公式為  $\Delta = B \times X \times \text{Tilt}$ 。ABBE 的 B 參數造成的誤差亦是步進等距性的主要因素。圖十中紅色區域為正確位置，而淺藍區域為 ABBE 的 B 參數補償不佳所造成的狀況。



圖十、紅色區域為正確位置，而淺藍區域為 的 參數補償不佳

ABBE 的 C 與 D 參數是補償 Y Yaw 雷射光入射 Bar mirror，與 Y 雷射光的夾角 X、Y 分量(D、C)造成在晶圓左右兩端有旋轉的誤差。平台有無  $\theta$  的偏轉是靠 Y 與 Y Yaw 雷射所得的  $\Delta Y$  除以 Y 與 Y Yaw 距離 (42mm) 所得；若 Y 與 Y Yaw 無良好的平行度，則在平台移動至左右兩端時，自然會有一個  $\Delta Y$  產生造成旋轉的誤差(參考圖十一)，其公式如下  $\Delta\theta = Y(C + D\theta) / 42\text{mm}$ 。





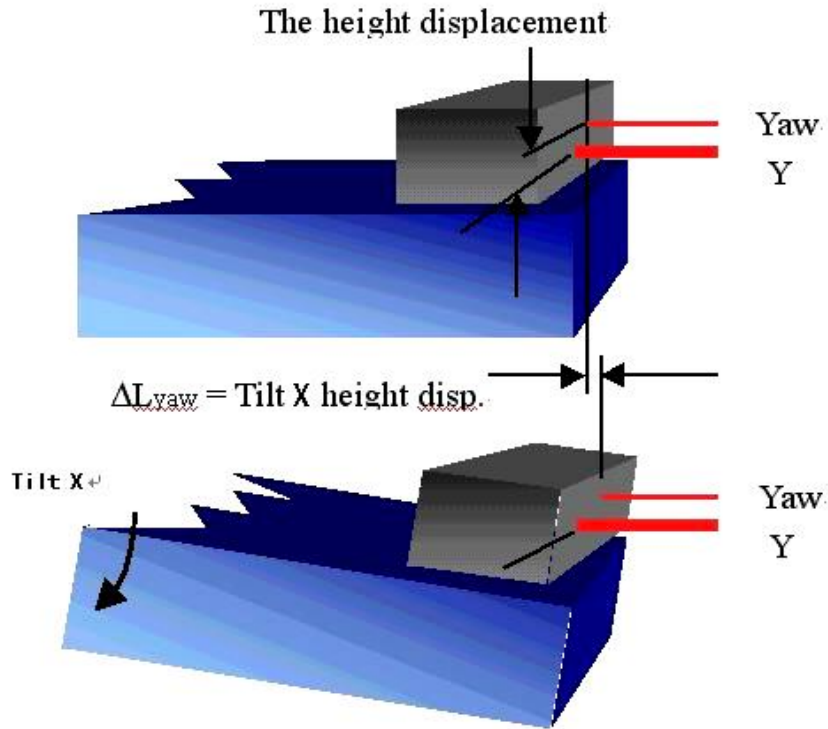
圖十一、ABBE的C與D參數

ABBE的E參數是在補償Y雷射光與Y Yaw雷射光入射位置在高度上的差，這差異會使平台在Y軸上傾斜時，造成Yaw量測上的誤差。當ABBE的E參數未適當補正時，Yaw軸量測 $\theta$ 會發生與平台傾斜度固定比例的誤差，這種形式的誤差發生在X、Y的晶圓旋轉補正（Wafer rotation）也會在晶片旋轉補正（Chip/Shot rotation）（參考圖十二），其公式如下。

$$\Delta Lyaw = \text{tilt} * \text{height displacement} \quad \Delta\theta = \Delta Lyaw / 42\text{mm}$$

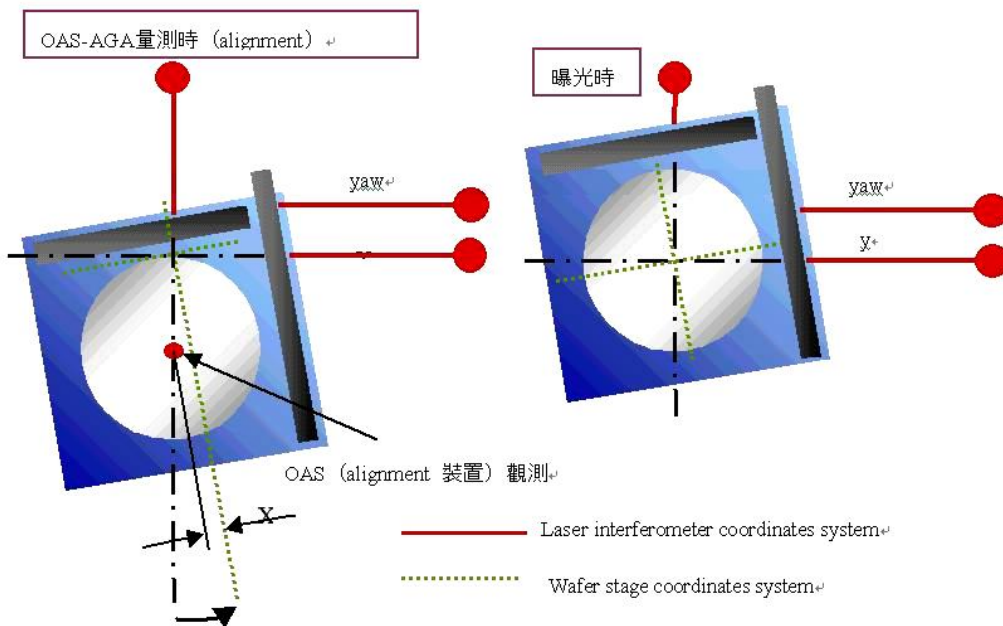
$$\text{ABBE E} = \text{Height Disp.} / 42\text{mm} \times 100 (\%)$$

$$= \Delta\theta / \text{Tilt} \times 100 (\%)$$



圖十二、ABBE 的 E 參數

ABBE 的 G 參數是用於補償 Y 雷射光與 Y Yaw 雷射光入射位置有偏差時，造成平台發生旋轉時 Y Yaw 量測上的誤差。當 ABBE 的 G 參數未被適當補正時，Y 軸偏移和晶片旋轉會隨著整體平台旋轉量成固定比例(參考圖十三)。

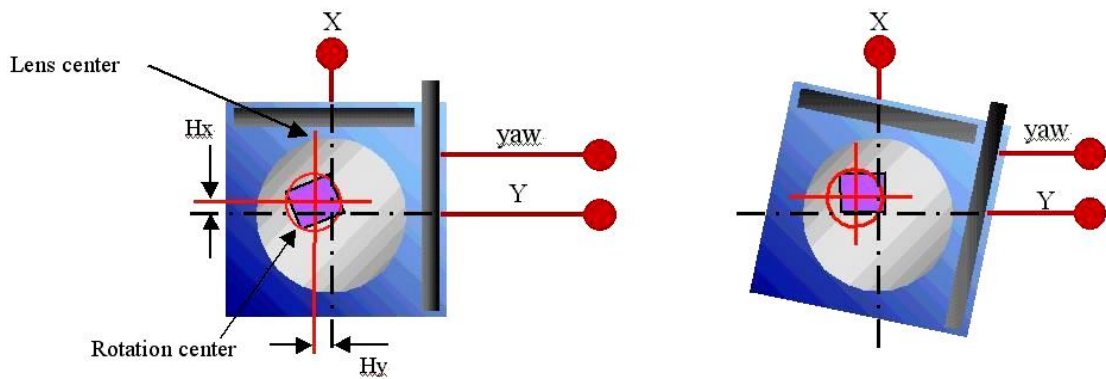


圖十三、ABBE 的 G 參數

ABBE 的 H 參數是用於補償 Lens 中心與旋轉中心 (X、Y 兩道干涉雷射光的交點)之間位移產生的誤差。若 ABBE 的 H 沒有正確的補償,在 X、Y 方向在 overlay 對準時會產生一個隨著平台旋轉量固定比例的偏移(參考圖十四),其公式如下。

$$\text{Shift - X} = H_y * \text{wafer total rotation}$$

$$\text{Shift - Y} = H_x * \text{wafer total rotation}$$

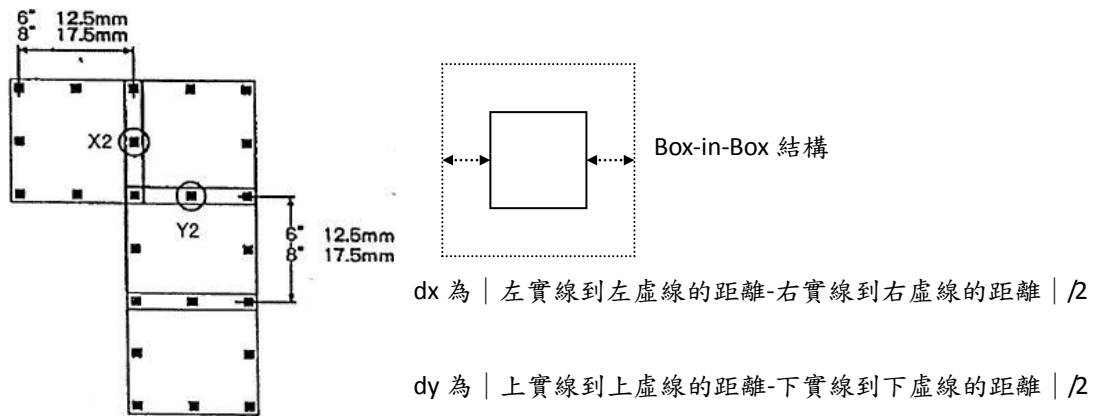


圖十四、ABBE 的 H 參數

## X-Y Stage 誤差的察驗

在瞭解平台誤差的影響和各種原因,接著介紹如何設計曝光程序 (exposure job)來察驗 I-line stepper 其平台步進之準確性、等距性、再現性、旋轉補正、傾斜補正等參數。驗證平台性能必須用到一片標準測試光罩,光罩上有 25 個區,有各種測試對準的圖案,通常用到的是 Box-in-Box 結構,而驗證的曝光程序大都是曝一層 First Layer,然後強制平台位移曝第二層來造成 Box-in-Box 結構,配合各種不同之測試條件來逐步驗證。

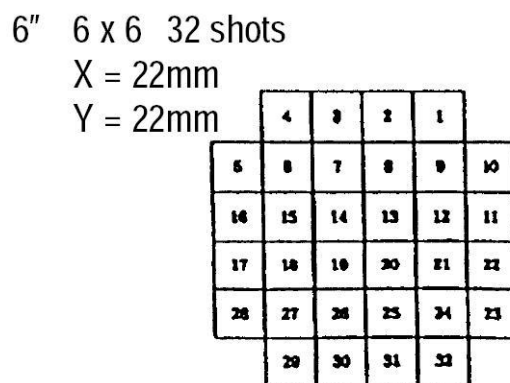
平台步進準確性驗證又稱 N-Step 驗證,程序設計為 X、Y 步進距離 12.5mm,光罩遮罩上下左右±7.7mm (每一個 Die 為 15.4mmx15.4mm),這會造成四周邊緣的 X2、Y2 位置產生 Box-in-Box 結構(參考圖十五)。



圖十五、驗證平台步進準確性之 Box-in-Box 結構

接著量測每個 X2、Y2 的 Box-in-Box 結構之 dx、dy，計算其  $3\sigma$  值，此值即代表 X、Y 軸步進準確性，在 I-line 步進機上其規格要符合 dx 之  $3\sigma \leq 20\text{nm}$ 、dy 之  $3\sigma \leq 20\text{nm}$ 。

平台步進再現性其驗證程序為使用 32 shot layout (參考圖十六)，先曝光一層後，指定平台向 Y 軸移動  $0.348\mu\text{m}$ ，這會使得 Shot 中心的 C3 位置產生 Box-in-Box 的結構，接著量測每個 C3 的 Box-in-Box 結構之 dx、dy，計算其  $3\sigma$  值即為步進再現性，其標準規格要符合 dx 之  $3\sigma \leq 30\text{nm}$ 、dy 之  $3\sigma \leq 30\text{nm}$ 。

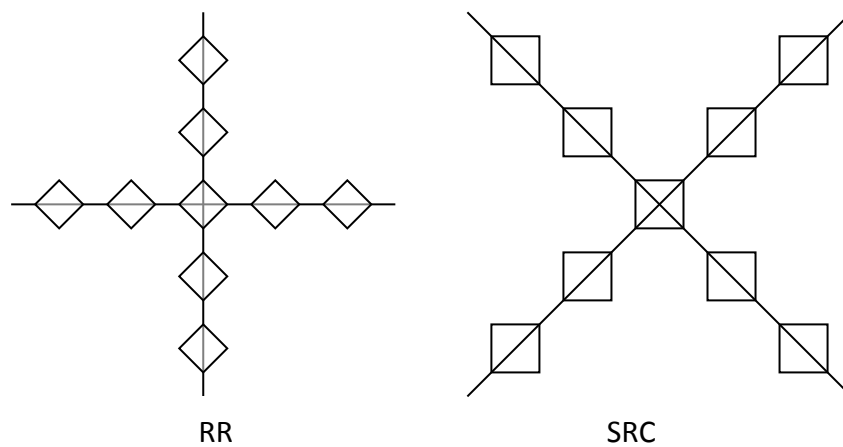


圖十六、驗證平台步進再現性之結構

平台步進等距性其驗證程序需要一片標準晶圓 (Standard Wafer)，標準晶圓是指已經校正過的機台所曝光的 32 shots 標準 Layout 的晶圓，利用此標準晶圓

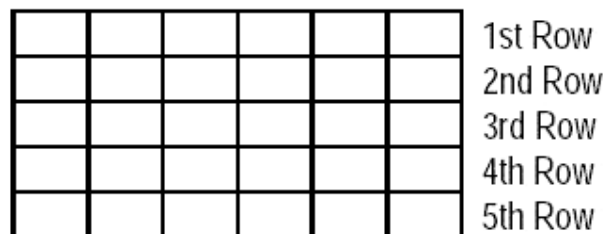
讓機台對準系統量測每一個 shot 中 C3 位置的 BL1 mark，定出每一個 shot 的中心位置，量測每個 shot 中心位置距離是否有放大，因標準晶圓其 shot 距離是固定值，故若有量測到中心位置距離放大，其放大值即為平台移動所造成的，放大值經計算即可得放大比率；其標準規格要符合 $\pm 0.5\text{ppm}$ 。

旋轉補正關連到平台和光罩旋轉，有兩項驗證程序平台旋轉驗證 (SRC) 及光罩旋轉驗證 (RR)。如圖十七中，RR 與 SRC 雖然誤差的來源不同，但是所造成的影響其實是一樣的。



圖十七、光罩旋轉及平台旋轉

光罩旋轉驗證程序為曝光步進距離 X 軸 17.5mm、Y 軸 5mm，光罩遮罩左右 $\pm 10.1\text{mm}$ 、上下 $\pm 4\text{mm}$  (Die size 為  $20.2\text{mm} \times 8\text{mm}$ )，五行六排；如此將可得到在 X2 位置 Box-in-Box 的結構(參考圖十八)

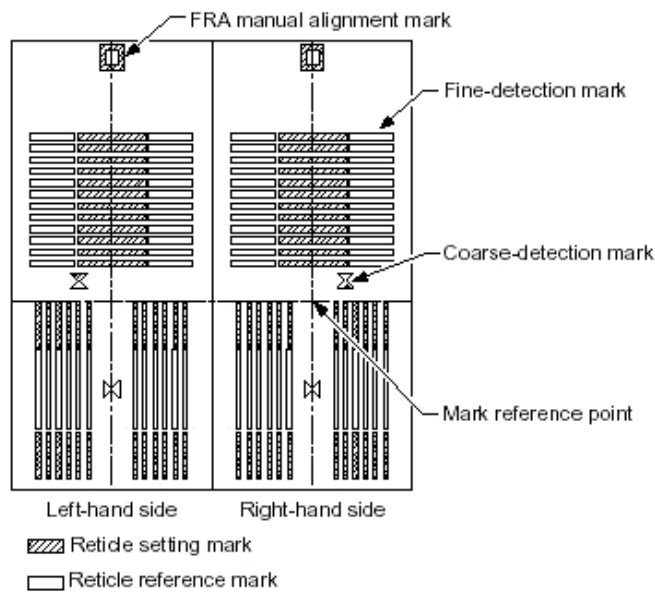


圖十八、光罩旋轉驗證設計圖案

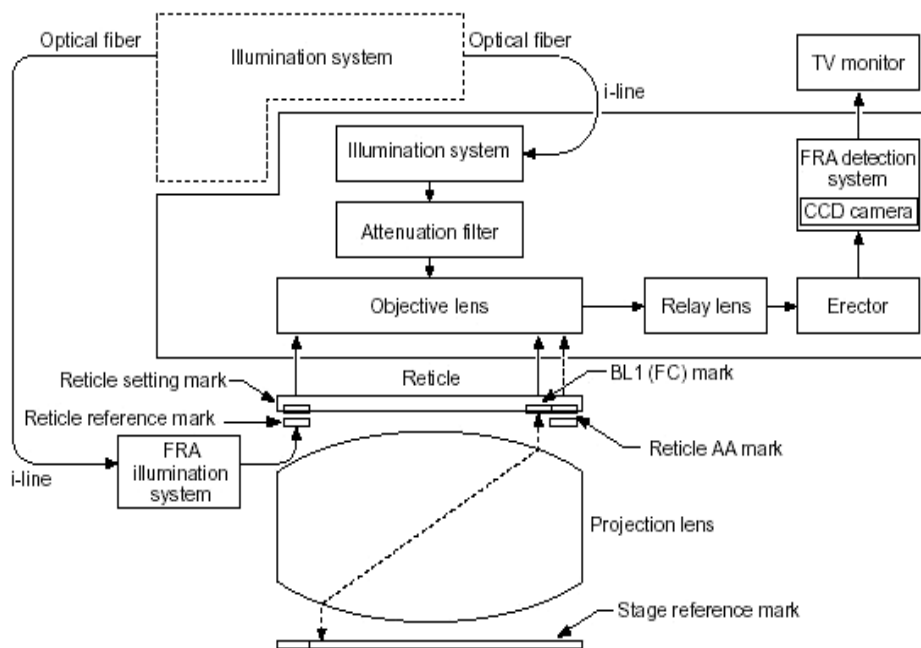
設定曝光暫停於每一行的第一個 shot，當曝光執行到每一行第一個 shot 時機台會暫停，然後強迫移位光罩位置，並重新對準光罩，接著讓曝光繼續執行，曝光

完成顯影後將可得到 5x4 shots，20 個重疊區域的 box-in-box，量測同一行中 X2 位置 box-in-box 的 dy 的平均值，再將五行的平均值平均除以 17.5mm，其值即為光罩旋轉的量。最後將這些值存入機台參數中，如此一來機台每次曝光即會旋轉光罩固定量來修正。

平台旋轉驗證是利用光罩上和平台上的一組 mark，讓機台的 iA scope 來讀取，獲得旋轉量。首先是利用 I-line 光源進行光罩對準(參考圖十九之 FRA 標記)，然後將平台驅動到平台參考區 (stage reference block)，接著 iA scope 會讀取到光罩上的 mark 和平台參考區的左邊的 mark，開始量測，然後平台移動到右邊的 mark，開始量測。由於平台參考區左右兩邊的 mark 位置是固定的，由量測得到 dy 值除以平台參考區左右兩邊的 mark 的距離即為旋轉量(參考圖二十)。



圖十九、FRA 標記



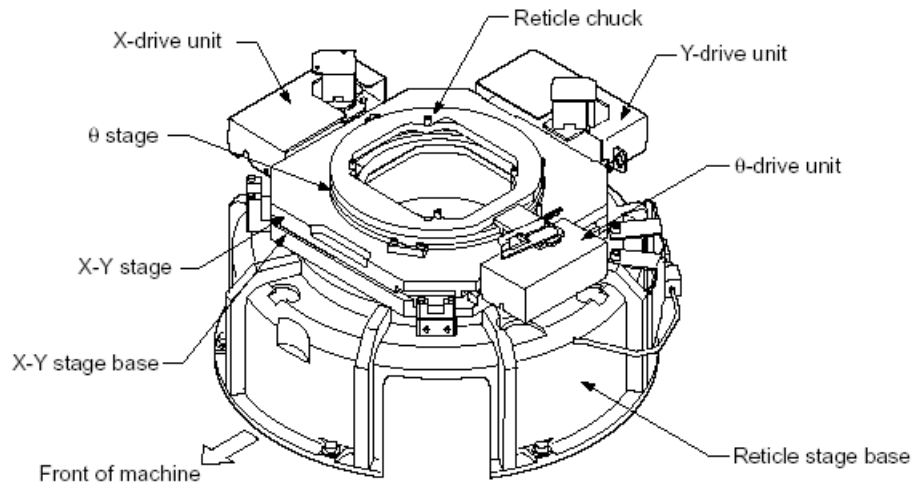
圖二十、平台旋轉驗證方式

平台傾斜會造成正交度不佳的情況，測試正交度的方法與平台等距性類似需要一片標準晶圓（Standard Wafer），利用此標準晶圓讓機台對準系統量測每一個 shot 中 C3 位置的 BL1 mark，定出每一個 shot 的中心位置，因標準晶圓其 shot 正交度是 90 度，故若有量測到正交度有偏轉量，其偏轉量即為平台移動傾斜所造成的，其標準規格要符合 $\pm 0.5\text{ppm}$ 。

在此介紹步進機技術中最關鍵的對準偏移校正原理及方式，由這些高精密及準備的動作，可以確保製程之良率。影響這些偏移的原因，除了機台自身的故障外，其他外在因素：諸如振動、電流不穩、空氣污染、濕度及溫度偏差、晶圓不平等，皆會導致製程良率不佳。在微影關鍵線寬已邁入 100nm 以下時，平台誤差容忍幾已達到物理極限，多層對準勢必成為微影模組生產良率最大的敵人，希望讀者經由瞭解上述平台誤差的原因及察驗方式，在多層對準發生誤差時，能迅速判斷誤差的來源，進而排除及修正誤差，以提高工廠之競爭性。

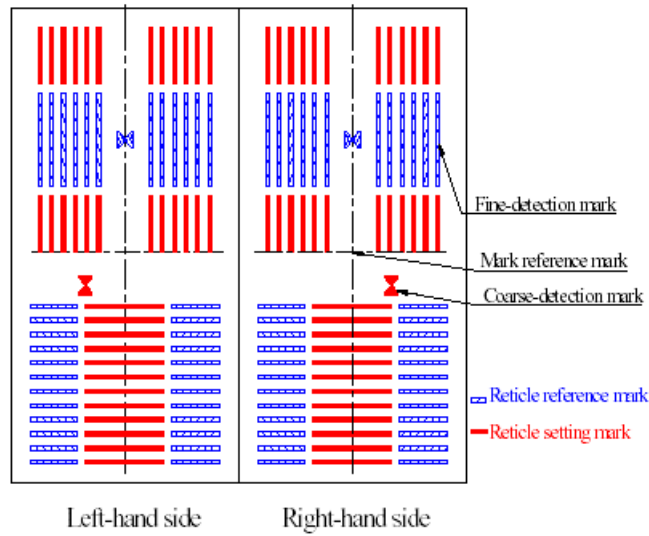
## 光罩平台系統與晶片預對準系統介紹

光罩平台系統 (Reticle Stage System)：裝置在主鏡組的鏡筒上主要功能為承載光罩、將光罩與光罩平台上參考標誌 (reticle stage reference mark) 對準。各項裝置功能簡介如下。

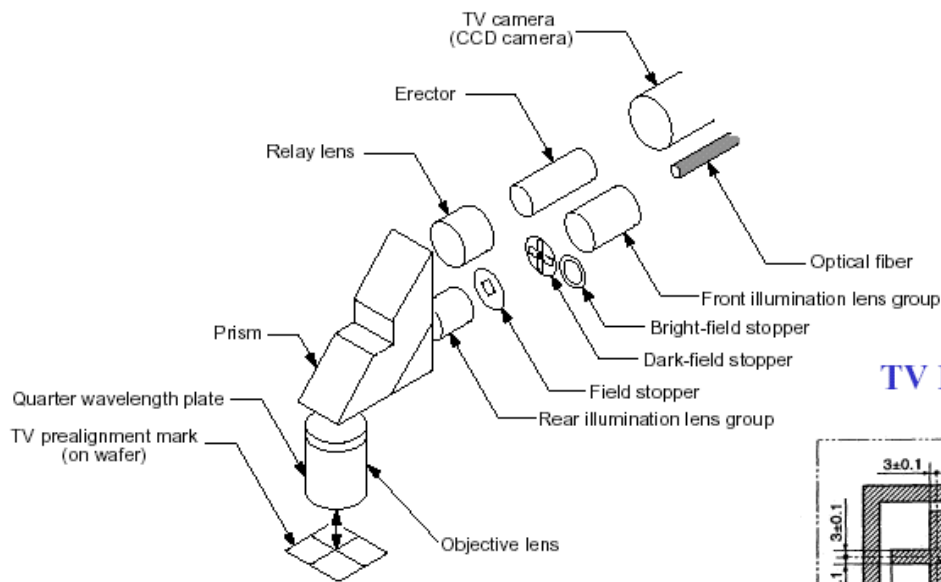


- (1) 光罩吸盤 (reticle chuck)：利用真空吸住光罩。
- (2)  $\theta$  平台和  $\theta$  驅動裝置：驅動光罩在  $\theta$  方向運動。
- (3) X-Y 平台和 X-Y 驅動裝置：驅動光罩在 X-Y 方向運動。
- (4) X-Y 平台基座：X-Y 平台和 X-Y 驅動裝置均裝在此基座上。
- (5) 光罩平台基座：裝置在主鏡組鏡筒上，支撐 X-Y 平台基座。
- (6) 光罩參考標誌 (reticle reference mark) 位在光罩 X-Y 平台上，X 方向、Y 方向各一組，當光罩進入 X-Y 平台時，系統會利用 iA 偵檢器來進行對準 (光罩上 Fine Reticle Alignment 對 reticle reference mark)。



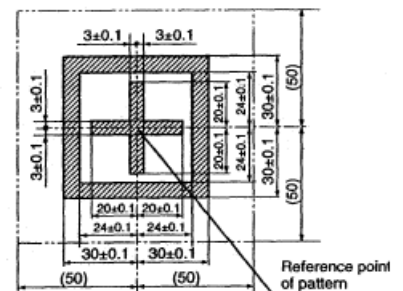


離軸 TV 預對準系統 (Off-axis TV PreAlignment)：TVPA 偵測晶圓上的 PA (PreAlignment) mark 並進行影像處理，當影像在可辨識的範圍內時就開始進行下一個對準程序 AGA (Advance Global Alignment)。TVPA 是利用鹵素燈離軸 (Non TTL) 直接照射晶圓上 PA Mark，然後以 OA (Off-Axis) 偵檢器直接取得影像，進行影像處理。



TVPA 偵檢器簡圖

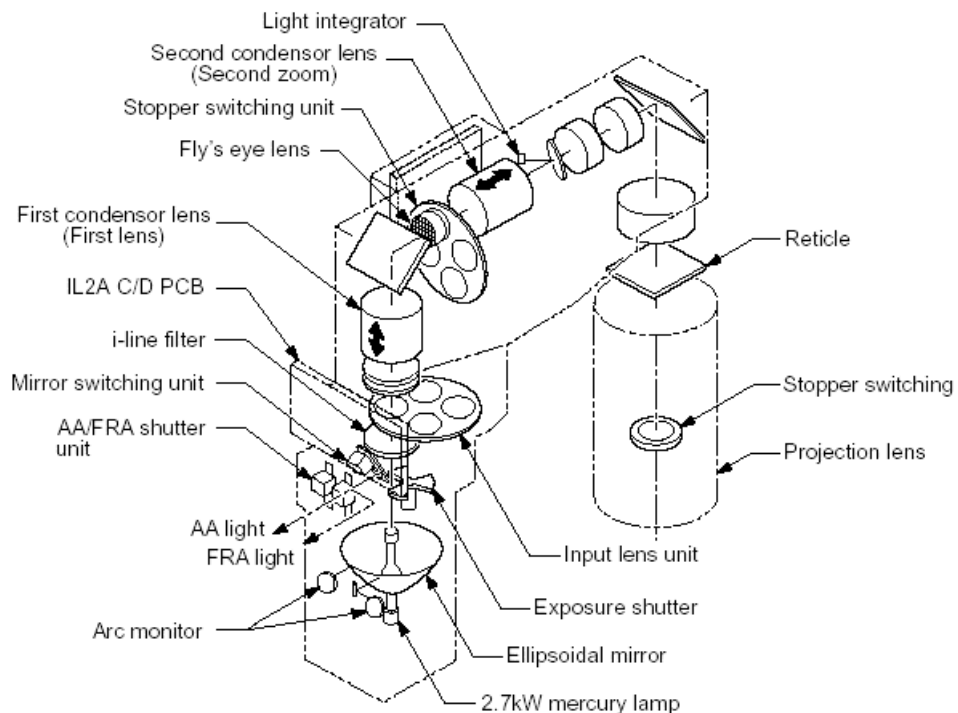
TV PA Mark



## 照射系統介紹

照射系統 (Illumination System)：i5+的照射系統設計是為了達到比以前的機台更好的成像和更大的聚焦景深，並且具備了更大的汞燈容量達 2kW 以上的使用性。此照明系統有六項特點：

- (1) 整合型的光學系統：利用橢圓反射鏡和蒼蠅眼 (Fly eye) 來達成最佳照射均勻性 (uniform intensity)。
- (2) I-line 光源粹取：使用了 band-pass 濾鏡和 band-reflective 反射鏡達到純化粹取 365nm 波長。
- (3) 彈性的照射範圍：利用遮罩控制照射範圍。
- (4) 高準確的劑量控制：高準確快門和光積分器。
- (5) 多重曝光模式：自動化改變對應的 stopper、input lens、first zoom lens。
- (6) 自動補償照射均勻性：移動 2nd zoom lens、軟體補正、OAI 模式裝置。



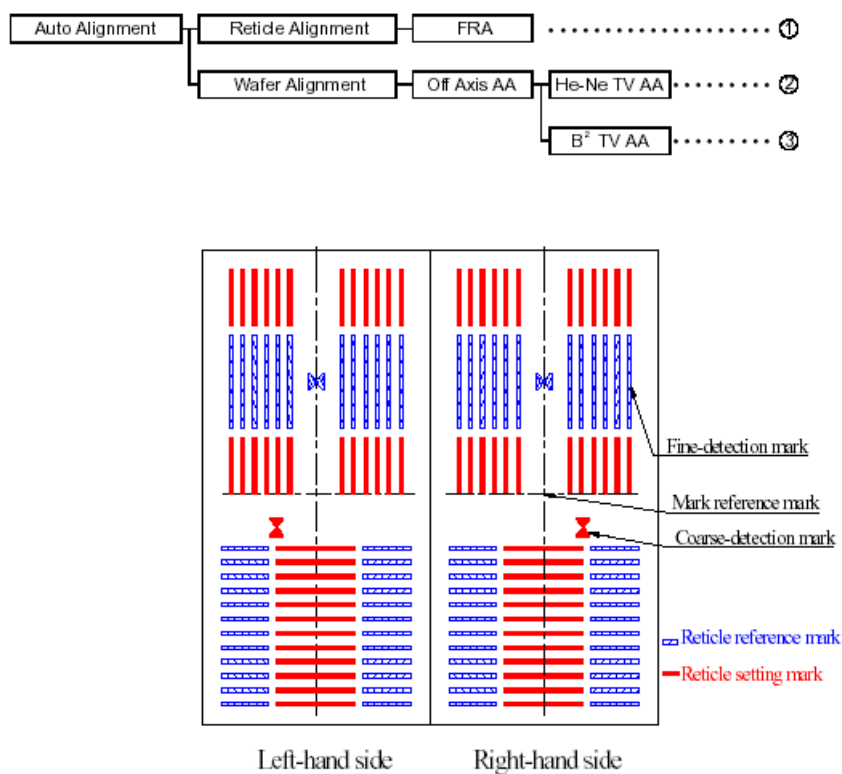
照射系統簡圖

各項單元的功能簡介如下:

- (1) 超高壓汞燈：20.kW 以上超高壓汞燈。
- (2) 橢圓反射鏡 (Ellipsoidal mirror)：有效的收集汞燈所發射的光。
- (3) 燈座位置調整裝置：透過控制 X、Y 和 Z 的方向的機械旋鈕，可達到最佳的照射能力和均勻性。
- (4) 電弧 (ARC) 視窗：將汞燈的光經由一個針孔投射成電弧影像，方便當調整燈座位置時瞭解調整的方向和方位。
- (5) 反射鏡開關 (mirror switch unit)：當曝光時關閉，進行 AA 或是 FRA 時打開將 I-line 光導引出來。
- (6) AA/FRA 快門單元：由反射鏡開關導引出的 I-line 光，在此分光；進行 AA 時快門開至 AA，FRA 時則開至 FRA。
- (7) 曝光快門 (exposure shutter)：快門葉片旋轉和停留來遮斷或是允許光的通過，藉此控制曝光的時間。
- (8) I-line 濾鏡 (filter)：將橢圓反射鏡反射的光粹取出 365nm 的波長
- (9) Input lens：跟隨著 Stopper 做搭配，當需要不同的照射模式時例如 SIA、SIB 時。
- (10) First zoom lens：將橢圓反射鏡反射的光聚在 Fly eye lens 上，可以照射模式變換角度。
- (11) 蒼蠅眼 (Fly eye lens)：由許多小具焦透鏡所組成的透鏡，用於將照射光均勻化。
- (12) stopper 開關裝置：當 OAI 模式時自動切換，與 Input lens 搭配型成 OAI。
- (13) second zoom lens：用來補償 OAI 照射模式造成的均勻性下降。
- (14) 光積分器 (Light Integrator)：量測並積分曝光劑量，並根據曝光強度來做曝光均勻性的量測。
- (15) 遮罩裝置：移動四個遮罩來控制照射面積大小。

## 對準系統介紹

在 I-line Stepper 上有兩種對準系統，一是光罩對準系統，一是晶圓多層對準系統。光罩對準是一個準確的光罩定位系統，利用 iA 偵檢器處理光罩平台上參考標誌與光罩上的標誌對準，稱之為 FRA (Fine Reticle Alignment)。晶圓對準是利用 B/C 偵測器偵測晶圓上的 AA(Advance Alignment)標誌來定位，用的是非曝光光源；氦氖雷射 (He-Ne) 或是鹵素燈 (B2)，不同的對準光源用於反射率不同的底材，並且可以選擇對準光源的  $\sigma$  大小得到不同對比的對準標誌圖形。

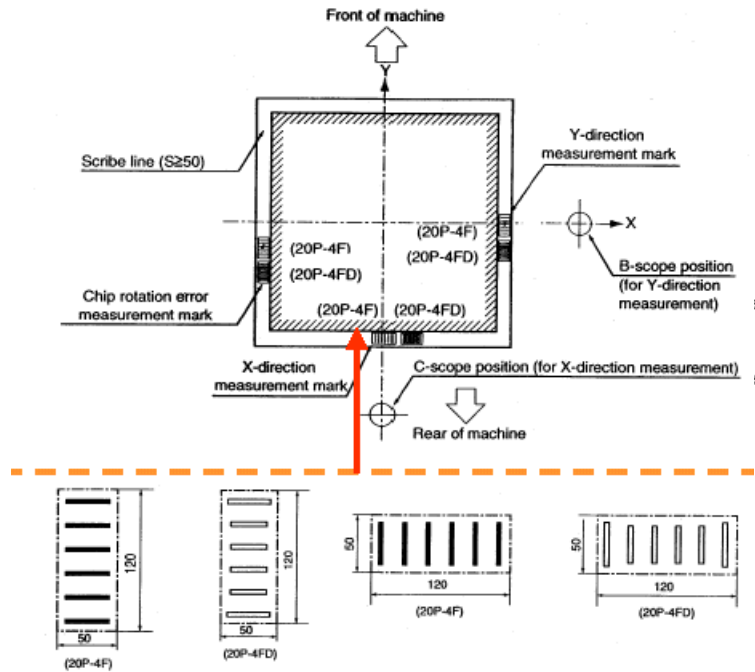


對準系統簡圖

對準系統中有 3 個偵檢器 iA、B 和 C 偵檢器；iA 偵檢器主要是用來取得 FRA 的影像，是利用 I-line 光源直接照射光罩與光罩平台，取得對準圖形。B/C 偵檢

器則是用來取得 AA 標誌的影像與位置，其對準光源是 He-Ne 雷射或是滷素燈；  
 另外 Off-axis 對準偵檢器則是 TVPA 影像取得的偵檢器對準光源是滷素燈。

FRA 對準圖形



AA 標誌位置與圖形 (20P-4F)