

發明摘要

※ 申請案號：105103055

※ 申請日：105. 1. 30

※IPC 分類：G03F 1/10 (2012.01)

【發明名稱】

影像對數斜率(ILS)最佳化

IMAGE LOG SLOPE (ILS) OPTIMIZATION

G03F 1/20 (2006.01)

G03F 17/50 (2006.01)

【中文】

本文中揭示一種用以改良使用一微影投影裝置將一設計佈局之一部分成像至一基板上之一微影程序的電腦實施方法，該方法包含：計算一多變數成本函數，該多變數成本函數為一空中影像或一抗蝕劑影像之一特性之一推測變化之一函數，或為一變數之一函數，該變數為該推測變化之一函數或影響該推測變化，該推測變化為複數個設計變數之一函數，該複數個設計變數表示該微影程序之特性；及藉由調整該等設計變數中之一或多者直至滿足某一終止條件為止來重新組態該微影程序之該等特性中之一或多者。

【英文】

Disclosed herein is a computer-implemented method to improve a lithographic process of imaging a portion of a design layout onto a substrate using a lithographic projection apparatus, the method comprising: computing a multi-variable cost function, the multi-variable cost function being a function of a stochastic variation of a characteristic of an aerial image or a resist image, or a function of a variable that is a function of the stochastic variation or that affects the stochastic variation, the stochastic variation being a function of a plurality of design variables that represent characteristics of the lithographic process; and reconfiguring one or more of the characteristics of the lithographic process by adjusting one or more of the design variables until a certain termination condition is satisfied.

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】

影像對數斜率(ILS)最佳化

IMAGE LOG SLOPE (ILS) OPTIMIZATION

【技術領域】

本文中之描述係關於微影裝置及程序，且更特定言之，係關於一種用以最佳化用於微影裝置或程序中之照明及/或圖案化器件/設計佈局之方法或裝置。

【先前技術】

微影投影裝置可用於(例如)積體電路(IC)製造中。在此狀況下，圖案化器件(例如，光罩)可含有或提供對應於IC之個別層之電路圖案(「設計佈局」)，且可藉由諸如經由圖案化器件上之電路圖案來輻照已被塗佈有輻射敏感材料(「抗蝕劑」)層之基板(例如，矽晶圓)上之目標部分(例如，包含一或多個晶粒)的方法將此電路圖案轉印至該目標部分上。一般而言，單一基板含有複數個鄰近目標部分，電路圖案係由微影投影裝置順次地轉印至該複數個鄰近目標部分，一次一個目標部分。在一種類型之微影投影裝置中，將整個圖案化器件上之電路圖案一次性轉印至一個目標部分上；此裝置通常被稱作步進器(stepper)。在通常被稱作步進掃描裝置(step-and-scan apparatus)之替代裝置中，投影光束在給定參考方向(「掃描」方向)上遍及圖案化器件進行掃描，同時平行或反平行於此參考方向而同步地移動基板。圖案化器件上之電路圖案之不同部分被漸進地轉印至一個目標部分。一般而言，由於微影投影裝置將具有放大因數 M (通常 <1)，故基板被移動之速率 F 將為投影光束掃描圖案化器件之速率的因數 M 倍。可(例如)

自以引用之方式併入本文中之US 6,046,792搜集到關於如本文中所描述之微影器件的較多資訊。

在將電路圖案自圖案化器件轉印至基板之前，基板可經歷各種工序，諸如上底漆、抗蝕劑塗佈及軟烘烤。在曝光之後，基板可經受其他工序，諸如曝光後烘烤(PEB)、顯影、硬烘烤，及經轉印電路圖案之量測/檢測。此工序陣列用作製成一器件(例如，IC)之個別層的基礎。基板可接著經歷各種程序，諸如蝕刻、離子植入(摻雜)、金屬化、氧化、化學機械拋光等等，該等程序皆意欲精整器件之個別層。若在器件中需要若干層，則針對每一層來重複整個工序或其變體。最終，在基板上之每一目標部分中將存在一器件。接著藉由諸如切割或鋸切之技術來使此等器件彼此分離，據此可將個別器件安裝於載體上、連接至銷釘，等等。

如所提及，微影為IC製造之中心步驟，其中形成於基板上之圖案界定IC之功能元件，諸如微處理器、記憶體晶片等等。相似微影技術亦用於形成平板顯示器、微機電系統(MEMS)及其他器件。

隨著半導體製造程序不斷地進步，幾十年來，功能元件之尺寸已不斷地縮減，同時每器件的諸如電晶體之功能元件之量已穩固地增加，此遵循通常被稱作「莫耳定律(Moore's law)」之趨勢。在當前先進技術下，使用微影投影裝置來製造器件層，微影投影裝置使用來自深紫外線照明源之照明將設計佈局投影至基板上，從而產生尺寸充分地低於100奈米之個別功能元件，亦即，尺寸小於來自該照明源(例如，193奈米照明源)之輻射之波長的一半。

供印刷尺寸小於微影投影裝置之經典解析度極限之特徵的此程序根據解析度公式 $CD = k_1 \times \lambda / NA$ 而通常被稱為低 k_1 微影，其中 λ 為所使用輻射之波長(當前在大多數狀況下為248奈米或193奈米)， NA 為微影投影裝置中之投影光學件之數值孔徑， CD 為「臨界尺寸」(通常為

所印刷之最小特徵大小)，且 k_1 為經驗解析度因數。一般而言， k_1 愈小，則在基板上再生類似於由電路設計者規劃之形狀及尺寸以便達成特定電功能性及效能的圖樣變得愈困難。為了克服此等困難，將複雜微調步驟應用於微影投影裝置及/或設計佈局。此等步驟包括(例如，但不限於) NA及光學相干設定之最佳化、自訂照明方案、相移圖案化器件之使用、設計佈局中之光學近接校正(OPC，有時亦被稱作「光學及程序校正」)，或通常被定義為「解析度增強技術」(RET)之其他方法。如本文中所使用之術語「投影光學件」應被廣泛地解譯為涵蓋各種類型之光學系統，包括(例如)折射光學件、反射光學件、孔徑及反射折射光學件。術語「投影光學件」亦可包括根據此等設計類型中之任一者而操作以用於集體地或單獨地導向、塑形或控制投影輻射光束的組件。術語「投影光學件」可包括微影投影裝置中之任何光學組件，而無論光學組件在微影投影裝置之光學路徑上定位於何處。投影光學件可包括用於在來自源之輻射通過圖案化器件之前塑形、調整及/或投影該輻射的光學組件，及/或用於在該輻射通過圖案化器件之後塑形、調整及/或投影該輻射的光學組件。投影光學件通常排除源及圖案化器件。

【發明內容】

本文中揭示一種用以改良使用一微影投影裝置將一設計佈局之一部分成像至一基板上之一微影程序的電腦實施方法，該方法包含：計算一多變數成本函數，該多變數成本函數為一空中影像或一抗蝕劑影像之一特性之一推測變化之一函數，或為一變數之一函數，該變數為該推測變化之一函數或影響該推測變化，該推測變化為複數個設計變數之一函數，該複數個設計變數為該微影程序之特性；及藉由調整該等設計變數中之一或多者直至滿足某一終止條件為止來重新組態該微影程序之該等特性中之一或多者。

本文中揭示一種用以改良使用一微影投影裝置將一設計佈局之一部分成像至一基板上之一微影程序的電腦實施方法，該方法包含：計算一多變數成本函數，該多變數成本函數為一變數之一函數，該變數為一推測變化之一函數或影響該推測變化，該推測變化為複數個設計變數之一函數，該複數個設計變數表示該微影程序之特性；及藉由調整該等設計變數中之一或多者直至滿足某一終止條件為止來重新組態該微影程序之該等特性中之一或多者。

根據一實施例，該推測變化包含線邊緣粗糙度、線寬粗糙度、局域臨界尺寸均一性，或選自前述各者之任何組合。

根據一實施例，該變數為模糊影像對數斜率(bl_ILS)、影像對數斜率(ILS)或正規化影像對數斜率(NILS)。

根據一實施例，該成本函數為以下微影度量中之一或多者之一函數：邊緣置放誤差、臨界尺寸、抗蝕劑輪廓距離、最差缺陷大小，及/或最佳焦點移位。

根據一實施例，該成本函數包含為一劑量改變之一函數的第一項。

根據一實施例，該成本函數包含為一邊緣置放誤差之一函數的第一第二項。

根據一實施例，與該邊緣置放誤差之一絕對值不大於一偏移時的該第二項之一權數相比，於在該邊緣置放誤差之該絕對值大於該偏移時的該權數之一值具有一較大值。

根據一實施例，該等設計變數包含選自模糊影像對數斜率(ILS)、模糊影像強度、影像強度、全域偏置、光罩錨定偏置及/或劑量之一或多者。

根據一實施例，該設計佈局之該部分包含選自以下各者之一或多者：一整個設計佈局、一剪輯、已知為具有一關鍵特徵的一設計佈

局之一區段、一熱點或一溫點已被識別的該設計佈局之一區段，及/或一關鍵特徵已被識別的該設計佈局之一區段。

根據一實施例，該終止條件包含選自以下各者之一或多者：該成本函數之最小化或最大化；該成本函數之最大化；達到某一數目次反覆；達到等於或超出某一臨限值的該成本函數之一值；達到某一計算時間；達到在一可接受誤差極限內的該成本函數之一值；及/或最小化該微影程序中之曝光時間。

根據一實施例，該等設計變數中之一或多者表示由該微影裝置進行之照明之一或多個特性，及/或該等設計變數中之一或多者表示該設計佈局之一或多個特性，及/或該等設計變數中之一或多者表示該微影裝置之投影光學件之一或多個特性，及/或該等設計變數中之一或多者表示該基板之一抗蝕劑之一或多個特性，及/或該等設計變數中之一或多者表示該空中影像或該抗蝕劑影像之一或多個特性。

根據一實施例，該重新組態包含規定該等設計變數中之至少一者之一範圍之一約束。

根據一實施例，該成本函數係藉由選自由高斯-牛頓演算法 (Gauss-Newton algorithm)、雷文柏格-馬括特演算法 (Levenberg-Marquardt algorithm)、布洛伊登-費萊雪-高德法伯-香農演算法 (Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno algorithm)、梯度下降演算法 (gradient descent algorithm)、模擬退火演算法 (simulated annealing algorithm)、內在點演算法 (interior point algorithm) 及遺傳演算法 (genetic algorithm) 組成之一群組之一方法予以最小化或最大化。

根據一實施例，該推測變化係由以下各者造成：該基板之一抗蝕劑中的光子散粒雜訊、光子產生次級電子、光子產生酸；該基板之一抗蝕劑中的光子可活化或電子可活化粒子之分佈；該基板之一抗蝕劑中的光子可活化或電子可活化粒子之密度；或其一組合。

根據一實施例，該空中影像及/或該抗蝕劑影像為一模擬影像。

本文中亦揭示一種方法，其包含：獲得一空中影像或一抗蝕劑影像之一特性之一推測變化之一值；獲得該特性之一範圍；比較該推測變化之該值與該特性之該範圍；及若該推測變化之該值超過該範圍，則將該特性識別為一熱點以供進一步處理。

本文中亦揭示一種方法，其包含：獲得一空中影像或一抗蝕劑影像之一特性之一範圍；基於該特性之該範圍來獲得該推測變化之一範圍或一變數之一範圍，該變數為該推測變化之一函數或影響該推測變化；針對該特性來獲得該推測變化之一值或該變數之一值；比較該推測變化之該所獲得值與該推測變化之該範圍，或比較該變數之該所獲得值與該變數之該範圍；及若該推測變化之該所獲得值超過該推測變化之該範圍或若該變數之該值超過該變數之該範圍，則將該特性識別為一熱點以供進一步處理。

根據一實施例，該推測變化之該所獲得值係自該變數之該所獲得值獲得。

根據一實施例，該推測變化包含線邊緣粗糙度、線寬粗糙度、局域臨界尺寸均一性，或選自前述各者之任何組合。

根據一實施例，該變數為模糊影像對數斜率(bl_ILS)、影像對數斜率(ILS)或正規化影像對數斜率(NILS)。

根據一實施例，該等方法可進一步包含使用一成本函數來最佳化設計變數。

本文中揭示一種縮減一空中影像或抗蝕劑影像之一特性之一推測變化的方法，該方法包含：自一設計佈局之一部分獲得被識別為一熱點之該特性；及藉由最佳化該設計佈局之一或多個部分來縮減該推測變化。

根據一實施例，該方法可進一步包含自該設計佈局之該部分重

新識別一熱點。

根據一實施例，該方法可進一步包含：若識別出一熱點，則改變用於該最佳化之一參數。

根據一實施例，最佳化該設計佈局之該一或多個部分使用至少表示該推測變化或一變數之一成本函數，該變數為該推測變化之一函數或影響該推測變化。

根據一實施例，該推測變化包含線邊緣粗糙度、線寬粗糙度、局域臨界尺寸均一性，或選自前述各者之任何組合。

根據一實施例，該變數為模糊影像對數斜率(b1_ILS)、影像對數斜率(ILS)或正規化影像對數斜率(NILS)。

本文中揭示一種電腦程式產品，其包含經記錄有指令之一電腦可讀媒體，該等指令在由一電腦執行時實施如本文中所描述之一方法。

本文中揭示一種非暫時性電腦可讀媒體，其在複數個條件下及在設計變數之複數個值下具有一推測變化或一變數之值，該變數為該推測變化之一函數或影響該推測變化。

【圖式簡單說明】

圖1為微影系統之各種子系統的方塊圖。

圖2為對應於圖1中之子系統之模擬模型的方塊圖。

圖3A示意性地描繪LER。

圖3B示意性地描繪LWR。

圖3C示意性地說明推測變化可如何影響微影。

圖4A及圖4B示意性地展示判定空中影像或抗蝕劑影像之特性之推測變化與一或多個設計變數之間的關係之方法。

圖5A及圖5B展示使用該關係之擬合之結果。

圖6展示用於計算及說明推測變化之例示性流程圖。

圖7展示使用推測變化而識別之熱點。

圖8展示非暫時性電腦可讀媒體，其在複數個條件下及在設計變數之複數個值下含有推測變化之值。

圖9A及圖9B各自展示在垂直於圖案之邊緣之方向(x)上的橫越彼邊緣之影像(空中或抗蝕劑)之強度。

圖10示意性地展示 EPE_{ILS} 項之曲線。

圖11為說明聯合最佳化/共最佳化之實例方法之態樣的流程圖。

圖12展示根據一實施例的另外最佳化方法之實施例。

圖13A、圖13B及圖14展示各種最佳化程序之實例流程圖。

圖15A展示根據一實施例的用於基於特性之推測變化(例如，LER)或基於其函數(例如， $b1_{ILS}$ 、ILS或NILS)來識別空中影像或抗蝕劑影像上之熱點的方法之流程圖。

圖15B展示根據一實施例的用於基於空中影像或抗蝕劑影像之特性(例如，邊緣部位)之推測變化(例如，LER)或基於其函數(例如， $b1_{ILS}$ 、ILS或NILS)來識別空中影像或抗蝕劑影像上之熱點的另外方法之流程圖。

圖16展示根據一實施例的用於縮減空中影像或抗蝕劑影像之一或多個特性(例如，邊緣部位)之推測變化(例如，LER)的方法之流程圖。

圖17為實例電腦系統之方塊圖。

圖18為微影投影裝置之示意圖。

圖19為另一微影投影裝置之示意圖。

圖20為圖19中之裝置的更詳細視圖。

圖21為圖19及圖20之裝置之源收集器模組SO的更詳細視圖。

圖22展示產出率與推測變化之量度的若干關係。

圖23示意性地說明進行用於一或多個設計變數之值集合之最佳

化且將程序、空中影像及/或抗蝕劑影像之各種特性呈現至使用者使得使用者可基於使用者之所要特性來選擇一或多個設計變數之值集合的方法之流程圖。

【實施方式】

儘管可在本文中特定地參考IC製造，但應明確地理解，本文中描述具有許多其他可能應用。舉例而言，其可用於製造整合式光學系統、用於磁疇記憶體之導引及偵測圖案、液晶顯示器面板、薄膜磁頭等等。熟習此項技術者應瞭解，在此等替代應用之內容背景中，應認為本文中對術語「比例光罩」、「晶圓」或「晶粒」之任何使用分別可與更一般之術語「光罩」、「基板」及「目標部分」互換。

在本文件中，術語「輻射」及「光束」用以涵蓋所有類型之電磁輻射，包括紫外線輻射(例如，具有365奈米、248奈米、193奈米、157奈米或126奈米之波長)，及極紫外線輻射(EUV，例如，具有在5奈米至20奈米之範圍內之波長)。

如本文中所使用之術語「最佳化(optimizing/optimization)」係指或意謂調整微影投影裝置、微影程序等等，使得微影之結果及/或程序具有較多合意特性，諸如設計佈局於基板上之較高投影準確性、較大程序窗等等。因此，如本文中所使用之術語「最佳化」係指或意謂識別用於一或多個參數之一或多個值的程序，該一或多個值與用於彼一或多個參數之一或多個值之初始集合相比較提供至少一相關度量之改良(例如，局域最佳)。「最佳」及其他相關術語應予以相應地解釋。在一實施例中，可反覆地應用最佳化步驟以提供一或多個度量之進一步改良。

另外，微影投影裝置可屬於具有兩個或兩個以上台(例如，兩個或兩個以上基板台、一基板台及一量測台、兩個或兩個以上圖案化器件台等等)之類型。在此等「多載物台」器件中，可並行地使用多個

台中之複數個台，或可在一或多個台上進行預備步驟，同時將一或多個其他台用於曝光。舉例而言，以引用之方式併入本文中之US 5,969,441中描述雙載物台微影投影裝置。

上文所參考之圖案化器件包含或可形成一或多個設計佈局。可利用電腦輔助設計(CAD)程式來產生設計佈局，此程序常常被稱作電子設計自動化(EDA)。大多數CAD程式遵循一預定設計規則集合，以便產生功能設計佈局/圖案化器件。藉由處理及設計限制來設定此等規則。舉例而言，設計規則定義電路器件(諸如閘、電容器等等)或互連線之間的空間容許度，以便確保該等電路器件或線彼此不會以不良方式相互作用。設計規則限制中之一或多者可被稱作「臨界尺寸」(CD)。可將電路之臨界尺寸定義為一線或孔之最小寬度，或兩個線或兩個孔之間的最小空間。因此，CD判定經設計電路之總大小及密度。當然，積體電路製作中之目標中之一者係在基板上如實地再生原始電路設計(經由圖案化器件)。

如本文中所使用之術語「光罩」或「圖案化器件」可被廣泛地解譯為係指可用以向入射輻射光束賦予經圖案化橫截面之通用圖案化器件，經圖案化橫截面對應於待在基板之目標部分中產生之圖案；術語「光閥」亦可用於此內容背景中。除了經典光罩(透射或反射；二元、相移、混合式等等)以外，其他此等圖案化器件之實例亦包括：

- 可程式化鏡面陣列。此器件之一實例為具有黏彈性控制層及反射表面之矩陣可定址表面。此裝置所隱含之基本原理為(例如)：反射表面之經定址區域使入射輻射反射為繞射輻射，而未經定址區域使入射輻射反射為非繞射輻射。在使用適當濾光器的情況下，可自反射光束濾出該非繞射輻射，從而僅留下繞射輻射；以此方式，光束根據矩陣可定址表面之定址圖案而變得圖案化。可使用合適電子構件來執行所需矩陣定址。可(例如)自以引用之方式併入本文中之美國專利第

5,296,891號及第5,523,193號搜集到關於此等鏡面陣列之較多資訊。

- 可程式化LCD陣列。以引用之方式併入本文中之美國專利第5,229,872號中給出此建構之一實例。

作為簡要介紹，圖1說明例示性微影投影裝置10A。主要組件為：輻射源12A，其可為深紫外線準分子雷射源或包括極紫外線(EUV)源的其他類型之源(如上文所論述，微影投影裝置自身無需具有輻射源)；照明光學件，其界定部分相干(被表示為均方偏差(sigma))且可包括塑形來自源12A之輻射的光學件14A、16Aa及16Ab；圖案化器件14A；及透射光學件16Ac，其將圖案化器件圖案之影像投影至基板平面22A上。投影光學件之光瞳平面處之可調整濾光器或孔徑20A可限定照射於基板平面22A上之光束角度之範圍，其中最大可能角度界定投影光學件之數值孔徑 $NA = n \sin(\Theta_{max})$ ， n 為投影光學件之最後元件與基板之間的介質之折射率。

在系統之最佳化程序中，可將系統之優值(figure of merit)表示為成本函數。最佳化程序歸結為找到最佳化(例如，最小化或最大化)成本函數的系統之參數(設計變數)集合的程序。成本函數可具有取決於最佳化之目標的任何合適形式。舉例而言，成本函數可為系統之某些特性(評估點)相對於此等特性之預期值(例如，理想值)之偏差的加權均方根(RMS)；成本函數亦可為此等偏差之最大值(亦即，最差偏差)。本文中之術語「評估點」應被廣泛地解譯為包括系統之任何特性。歸因於系統之實施之實務性，系統之設計變數可限於有限範圍及/或為相互相依的。在微影投影裝置之狀況下，約束常常係與硬體之物理屬性及其特性(諸如可調諧範圍，及/或圖案化器件可製造性設計規則)相關聯，且評估點可包括基板上之抗蝕劑影像上的實體點，以及諸如劑量及焦點之非物理特性。

在微影投影裝置中，源將照明(亦即，輻射)提供至圖案化器件，

且投影光學件經由圖案化器件將照明導向及塑形至基板上。此處，術語「投影光學件」被廣泛地定義為包括可變更輻射光束之波前的任何光學組件。舉例而言，投影光學件可包括組件14A、16Aa、16Ab及16Ac中之至少一些。空中影像(AI)為基板位階處之輻射強度分佈。曝光基板上之抗蝕劑層，且將空中影像轉印至該抗蝕劑層以在其中作為潛伏「抗蝕劑影像」(RI)。可將抗蝕劑影像(RI)定義為抗蝕劑層中之抗蝕劑之溶解度之空間分佈。可使用抗蝕劑模型以自空中影像計算抗蝕劑影像，可在美國專利申請公開案第US 2009-0157360號中找到此情形之實例，該美國專利申請公開案之揭示內容之全文係特此以引用之方式併入。抗蝕劑模型係僅關於抗蝕劑層之屬性(例如，在曝光、PEB及顯影期間發生之化學程序之效應)。微影投影裝置之光學屬性(例如，源、圖案化器件及投影光學件之屬性)規定空中影像。由於可改變用於微影投影裝置中之圖案化器件，故需要使圖案化器件之光學屬性與至少包括源及投影光學件的微影投影裝置之其餘部分之光學屬性分離。

圖2中說明用於模擬微影投影裝置中之微影的例示性流程圖。源模型31表示源之光學特性(包括輻射強度分佈及/或相位分佈)。投影光學件模型32表示投影光學件之光學特性(包括由投影光學件造成的對輻射強度分佈及/或相位分佈之改變)。設計佈局模型35表示設計佈局之光學特性(包括由給定設計佈局33造成的對輻射強度分佈及/或相位分佈之改變)，該設計佈局為在圖案化器件上或由圖案化器件形成之特徵之配置的表示。可自設計佈局模型35、投影光學件模型32及設計佈局模型35模擬空中影像36。可使用抗蝕劑模型37而自空中影像36模擬抗蝕劑影像38。舉例而言，微影之模擬可預測抗蝕劑影像中之輪廓及CD。

更具體而言，應注意，源模型31可表示源之光學特性，該等光

學特性包括但不限於NA設定、均方偏差(σ)設定，以及任何特定照明形狀(例如，離軸輻射源，諸如環形、四極、偶極等等)。投影光學件模型32可表示投影光學件之光學特性，該等光學特性包括像差、失真、一或多個折射率、一或多個實體大小、一或多個實體尺寸等等。設計佈局模型35可表示實體圖案化器件之一或多個物理屬性，如(例如)全文以引用之方式併入之美國專利第7,587,704號中所描述。模擬之目標係準確地預測(例如)邊緣置放、空中影像強度斜率及/或CD，其可接著與預期設計進行比較。預期設計通常被定義為可以諸如GDSII或OASIS或其他檔案格式之標準化數位檔案格式而提供之預OPC設計佈局。

自此設計佈局，可識別被稱作「剪輯」之一或多個部分。在一實施例中，提取剪輯集合，其表示設計佈局中之複雜圖案(通常為約50個至1000個剪輯，但可使用任何數目個剪輯)。此等圖案或剪輯表示設計之小部分(亦即，電路、胞元(cell)或圖案)，且更具體而言，該等剪輯通常表示需要特定注意及/或驗證的小部分。換言之，剪輯可為設計佈局之部分，或可為相似的或具有設計佈局之部分之相似行為，其中一或多個關鍵特徵係藉由體驗(包括由客戶提供之剪輯)、藉由試誤法或藉由執行全晶片模擬予以識別。剪輯可含有一或多個測試圖案或量規圖案(gauge pattern)。

可由客戶基於設計佈局中需要特定影像最佳化之一或多個已知關鍵特徵區域來先驗地提供初始較大剪輯集合。替代地，在另一實施例中，可藉由使用識別該一或多個關鍵特徵區域之某種自動化(諸如機器視覺(machine vision))或手動演算法而自整個設計佈局提取初始較大剪輯集合。

在(例如)使用極紫外線輻射(EUV，例如，具有在5奈米至20奈米之範圍內之波長)源或非EUV源之微影投影裝置中，縮減之輻射強度

可導致較強推測變化，諸如在諸如孔之小二維特徵中之明顯線寬粗糙度及/或局域CD變化。在使用EUV源之微影投影裝置中，縮減之輻射強度可歸因於自源輸出之低總輻射、來自塑形來自源之輻射之光學件之輻射損耗、通過投影光學件之透射損耗、在恆定劑量下導致較少光子之高光子能量等等。推測變化可歸因於諸如抗蝕劑中之光子散粒雜訊、光子產生次級電子、光子吸收變化及/或光子產生酸的因素。特徵之小的大小進一步構成此推測變化。較小特徵中之推測變化為生產產率中之重要因素且辨明包括於微影程序及/或微影投影裝置之多種最佳化程序中。

在相同輻射強度下，每一基板之較低曝光時間導致微影投影裝置之較高產出率，但導致較強推測變化。在給定輻射強度下的給定特徵中之光子散粒雜訊係與曝光時間之平方根成比例。在使用EUV及其他輻射源之微影中存在出於增加產出率之目的而降低曝光時間的期望。因此，考慮最佳化程序中之推測變化的本文中所描述之方法及裝置並不限於EUV微影。

產出率亦可受到經導向至基板之輻射之總量影響。在一些微影投影裝置中，犧牲來自源之輻射之部分以便達成照明之所要形狀。

圖3A示意性地描繪線邊緣粗糙度(LER)。假定所有條件在設計佈局上之特徵之邊緣903之三次曝光或曝光模擬中皆相同，則邊緣903之抗蝕劑影像903A、903B及903C可具有稍微不同之形狀及部位。可藉由分別平均化抗蝕劑影像903A、903B及903C來量測抗蝕劑影像903A、903B及903C之部位904A、904B及904C。諸如線邊緣粗糙度之推測變化通常係由基礎特性之分佈之參數表示。在此實例中，邊緣903之LER可由邊緣903之空間分佈的 3σ 表示，此係假定該分佈為常態分佈。可在邊緣903之許多曝光或模擬中自邊緣903之部位(例如，部位904A、904B及904C)導出 3σ 。LER表示邊緣903歸因於推測效應而

可能會落入的範圍。出於此原因，LER亦可被稱為推測邊緣置放誤差(SEPE)。LER可大於由非推測效應造成的邊緣903位置之改變。

圖3B示意性地描繪線寬粗糙度(LWR)。假定所有條件在設計佈局上具有寬度911之長矩形特徵910之三次曝光或曝光模擬中皆相同，則矩形特徵910之抗蝕劑影像910A、910B及910C可分別具有稍微不同之寬度911A、911B及911C。矩形特徵910之LWR可為寬度911A、911B及911C之分佈之量度。舉例而言，LWR可為寬度911之分佈的 3σ ，此係假定該分佈為常態分佈。可自矩形特徵910之寬度911 (例如，寬度911A、911B及911C)之許多曝光或模擬導出LWR。在短特徵(例如，接觸孔)之內容背景中，因為長邊緣不可用於平均化該特徵之影像之部位，所以並未良好地界定該特徵之影像之寬度。相似量LCDU可用以特性化推測變化。LCDU為短特徵之影像之經量測CD之分佈(假定該分佈為常態分佈)的 3σ 。

圖3C示意性地說明推測變化可如何影響微影。在圖3C之實例中，空中影像或抗蝕劑影像中之特徵之邊緣之預期位置被指示為點線982。實際邊緣被指示為曲線995，其包含推測變化(在此實例中為LER)及與推測效應無關之誤差(例如，由諸如劑量變化、焦點變化、源形狀、圖案化器件(例如，光罩)誤差等等造成)兩者。實際邊緣之平均部位被指示為實線981。平均部位(實線981)與預期部位(點線982)之間的差980為與推測效應無關之誤差，其可被稱作邊緣置放誤差(EPE)。實際邊緣相對於平均部位之變化為推測變化。圍封推測變化的圍繞平均部位(實線981)之帶990可被稱為推測變化帶，其表示實際局域邊緣置放可歸因於推測效應而達到之範圍。推測變化帶之寬度可大於EPE。因此，與邊緣之預期部位(點線982)之總機率性偏差可為EPE與推測變化帶之總和。若不存在推測變化，則此實例中之邊緣之實際部位將處於由實線981指示之部位，其不與相鄰特徵983合併且因

此不產生缺陷。然而，當存在推測變化且推測變化帶足夠大(例如，帶990)時，實際邊緣可與相鄰特徵983合併(由點線圓圈標記之處)且因此產生缺陷。因此，需要評估、模擬或縮減推測變化。

圖4A中以流程圖且圖4B中以示意圖描繪判定空中影像或抗蝕劑影像之特性之推測變化與一或多個設計變數之間的關係之方法。在步驟1301中，自針對一或多個設計變數之複數個值集合1501中之每一者所形成(藉由實際曝光或模擬)的複數個空中影像或抗蝕劑影像1502量測特性之值1503。在步驟1302中，針對一或多個設計變數之每一值集合1501而自特性之值1503之分佈1504判定推測變化之值1505，分佈1504係自針對一或多個設計變數之彼值集合1501所形成之空中影像或抗蝕劑影像予以量測。在步驟1303中，藉由自推測變化之值1505及一或多個設計變數之值集合1501擬合一模型之一或多個參數來判定關係1506。

在一實例中，推測變化為LER，且一或多個設計變數為模糊影像ILS (bl_ILS)、劑量及影像強度。模型可為：

$$\text{LER} = a \times \text{bl_ILS}^b \times (\text{劑量} \times \text{影像強度})^c \quad (\text{方程式30})$$

可藉由擬合來判定參數a、b及c。模糊影像ILS (bl_ILS)為被應用空間模糊之影像對數斜率ILS。空間模糊可表示歸因於抗蝕劑層中藉由曝光於輻射而產生之化學物質之擴散的抗蝕劑影像之模糊。

圖5A展示使用方程式30中之模型之擬合的結果。遵循圖4A及圖4B之方法來判定在恆定影像強度及恆定劑量下的900個以上不同特徵之LER 1400 (作為推測變化之一實例)之值，該等不同特徵包括長渠溝1401、長線1402、短線1403、短渠溝1404、短線端1405，及短渠溝端1406。藉由擬合LER之值與設計變數bl_ILS之值來判定方程式30中之參數a及b (參數c係因為劑量加權模糊影像強度恆而合為參數a)。以曲線1410展示擬合結果。

圖5B展示使用方程式30中之模型之擬合1510的結果。使用圖4A及圖4B之方法來判定在多種劑量及多種影像強度下的20奈米乘40奈米之渠溝1505在寬度方向上之CD及在長度方向上之CD的LCDU 1500 (作為推測變化之一實例)之值。藉由擬合LWR之值與設計變數bl_ILS、劑量及影像強度之值來判定方程式30中之參數a、b及c。

一旦藉由諸如圖4A及圖4B之方法的方法而判定空中影像或抗蝕劑影像之特性之推測變化與一或多個設計變數之間的關係，就可使用該關係而針對彼特性來計算推測變化之值。圖6展示用於此計算之例示性流程圖。在步驟1610中，選擇條件集合(例如，NA、 σ 、劑量、焦點、抗蝕劑化學反應、一或多個投影光學件參數、一或多個照明參數等等)。在步驟1620中，在此等條件下計算一或多個設計變數之值。舉例而言，抗蝕劑影像及bl_ILS沿著邊緣之邊緣位置之值。在步驟1630中，自推測變化與一或多個設計變數之間的關係計算推測變化之值。舉例而言，在一實施例中，推測變化為邊緣之LER。在選用步驟1640中，可定義雜訊向量，該雜訊向量之頻率分佈大致匹配於真實基板量測。在選用步驟1650中，將雜訊向量覆疊於結果(例如，空中影像或抗蝕劑影像之推測邊緣)上。

空中影像或抗蝕劑影像之特性之推測變化與一或多個設計變數之間的關係亦可用以識別空中影像或抗蝕劑影像之一或多個「熱點」，如圖7所展示。「熱點」可被定義為推測變化超出某一量值的在影像上之部位。舉例而言，若兩個附近邊緣上之兩個位置具有大的LER值，則此兩個位置具有高的彼此接合機會。

在一實施例中，可計算在複數個條件下及在一或多個設計變數之複數個值下的推測變化(及/或其函數)之值，且將該等值編譯於非暫時性電腦可讀媒體1800 (如圖8所展示，諸如儲存於硬碟機上之資料庫)中。電腦可查詢媒體1800，且自媒體1800之內容計算推測變化之

值。

空中/抗蝕劑影像之特性之推測變化的判定可在微影程序中以許多方式有用。在一個實例中，可在光學近接校正(OPC)中考量推測變化。

作為一實例，OPC處理如下事實：投影於基板上之設計佈局之影像的最終大小及置放將不相同於或簡單地僅取決於該設計佈局在圖案化器件上之大小及置放。應注意，術語「光罩」、「比例光罩」、「圖案化器件」在本文中可被互換地利用。又，熟習此項技術者應認識到，尤其是在微影模擬/最佳化之內容背景中，術語「光罩」/「圖案化器件」及「設計佈局」可被可互換地使用，此係因為：在微影模擬/最佳化中，未必使用實體圖案化器件，而可使用設計佈局以表示實體圖案化器件。對於存在於一些設計佈局上之小特徵大小及高特徵密度，給定特徵之特定邊緣之位置將在某種程度上受到其他鄰近特徵之存在或不存在影響。此等近接效應起因於自一個特徵耦接至另一特徵的微小量之輻射及/或諸如繞射及干涉之非幾何光學效應。相似地，近接效應可起因於在通常繼微影之後的(例如)曝光後烘烤(PEB)、抗蝕劑顯影及蝕刻期間之擴散及其他化學效應。

為了幫助確保設計佈局之經投影影像係根據給定目標電路設計之要求，應使用設計佈局之複雜數值模型、校正或預失真來預測及補償近接效應。論文「Full-Chip Lithography Simulation and Design Analysis - How OPC Is Changing IC Design」(C. Spence, Proc. SPIE, 第5751卷, 第1至14頁(2005年))提供「以模型為基礎」之光學近接校正程序的綜述。在典型的高端設計中，設計佈局之幾乎每一特徵皆具有某種修改，以便達成經投影影像至目標設計之高保真度。此等修改可包括邊緣位置或線寬之移位或偏置，以及意欲輔助其他特徵之投影的「輔助」特徵之應用。

在數百萬個特徵通常存在於一晶片設計中的情況下，將以模型為基礎之OPC應用於目標設計涉及良好的程序模型及相當多的計算資源。然而，應用OPC通常不為「嚴正科學(exact science)」，而為並不總是補償所有可能近接效應之經驗反覆程序。因此，應藉由設計檢測(亦即，使用經校準數值程序模型之密集全晶片模擬)來驗證OPC之效應(例如，在應用OPC及/或任何其他RET之後的設計佈局)，以便縮減或最小化設計瑕疵被建置至圖案化器件圖案中之可能性。此情形係藉由以下各者驅使：製成高端圖案化器件之巨大成本，其在數百萬美元的範圍內；以及對產品製作時程之影響，其係因重工或修復實際圖案化器件(一旦其已被製造)而引起。

OPC及全晶片RET驗證兩者可基於如(例如)美國專利申請公開案第US 2005-0076322號及Y. Cao等人之名為「Optimized Hardware and Software For Fast, Full Chip Simulation」(Proc. SPIE, 第5754卷, 405 (2005年))之論文中所描述的數值模型化系統及方法。

一個RET係關於設計佈局之全域偏置(亦被稱作「光罩偏置」)之調整。全域偏置為設計佈局中之圖案與意欲印刷於基板上之圖案之間的差。舉例而言，在忽略由投影光學件引起之放大率(縮小率)的情況下，可藉由設計佈局中之50奈米直徑圖案或藉由設計佈局中之20奈米直徑圖案但以高劑量將直徑為25奈米之圓形圖案印刷於基板上。

除了對設計佈局或圖案化器件之最佳化(例如，OPC)以外，亦可與圖案化器件最佳化聯合地或分離地最佳化照明，以致力於改良總微影保真度。術語「照明源」及「源」在此文件中被可互換地使用。許多離軸照明(諸如環形、四極及偶極)已被引入且已針對OPC設計提供較多自由，藉此改良成像結果。離軸照明為用以解析圖案化器件中含有之精細結構(亦即，目標特徵)的方式。然而，與傳統照明相比較，離軸照明通常針對空中影像(AI)提供較少輻射強度。因此，變得需要

嘗試最佳化照明以在較精細之解析度與縮減之輻射強度之間達成最佳平衡。

舉例而言，可在 Rosenbluth 等人之名為「Optimum Mask and Source Patterns to Print a Given Shape」(Journal of Microlithography, Microfabrication, Microsystems 1(1)，第13至20頁(2002年))之論文中找到眾多照明最佳化途徑。將源分割成若干區，該等區中之每一者對應於光瞳光譜之某一區。接著，將源分佈假定為在每一源區中均一，且針對程序窗來最佳化每一區之亮度。然而，源分佈在每一源區中均一之此假定並不總是有效，且結果，此途徑之有效性受損。在 Granik 之名為「Source Optimization for Image Fidelity and Throughput」(Journal of Microlithography, Microfabrication, Microsystems 3(4)，第509至522頁(2004年))之論文中所闡述的另一實例中，綜述若干現有源最佳化途徑，且提議將源最佳化問題轉換成一系列非負最小平方最佳化的基於照明器像素之方法。儘管此等方法示範一些成果，但該等方法通常需要多次複雜反覆進行收斂。另外，可難以判定用於一些額外參數(諸如 Granik 方法中之 γ)之適當/最佳值，此情形規定在最佳化用於基板影像保真度之源與該源之平滑度要求之間的取捨。

對於低 k_1 光微影，源及圖案化器件兩者之最佳化有用於幫助確保用於關鍵電路圖案之投影的可行程序窗。一些演算法(例如，Socha 等人，Proc. SPIE，第5853卷，2005年，第180頁)將照明離散化至獨立源點中且將圖案化器件離散化至空間頻域中之繞射階中，且基於諸如曝光寬容度之程序窗度量來分離地公式化成本函數(其被定義為一或多個經選擇設計變數之函數)，該程序窗度量可由光學成像模型自源點強度及圖案化器件繞射階予以預測。

如本文中所使用之術語「設計變數」包含微影投影裝置或微影程序之參數集合，例如，微影投影裝置之使用者可調整之參數，或使

用者可藉由調整彼等參數而調整之影像特性。應瞭解，包括照明、圖案化器件、投影光學件及/或抗蝕劑之一或多個特性的微影投影程序之任何一或多個特性可由最佳化中之設計變數表示。成本函數常常為設計變數之非線性函數。接著使用標準最佳化技術以最佳化成本函數。

相關地，不斷地減低設計規則之壓力已驅使半導體晶片製造者在現有193奈米ArF微影的情況下更深入於低 k_1 微影時代。朝向較低 k_1 之微影對RET、曝光工具及針對微影親和設計之需要施予大量需求。未來可使用1.35 ArF超數值孔徑(NA)曝光工具。為了幫助確保電路設計可以可工作程序窗而產生至基板上，照明-圖案化器件最佳化(在本文中被稱作源-光罩最佳化或SMO)正變為用於2倍奈米節點之顯著RET。

在無約束的情況下且在可實行時間量內使用成本函數來允許照明及圖案化器件之同時最佳化的照明及圖案化器件(設計佈局)最佳化方法及系統被描述於美國專利申請公開案第US 2011-0230999號中，該美國專利申請公開案之全文係特此以引用之方式併入。涉及藉由調整源之像素來最佳化源之另一SMO方法及系統被描述於美國專利申請公開案第2010/0315614號中，該美國專利申請公開案之全文係特此以引用之方式併入。

在微影投影裝置中，作為一實例，成本函數可被表達為

$$CF(z_1, z_2, \dots, z_N) = \sum_{p=1}^P w_p f_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N) \quad (\text{方程式1})$$

其中 (z_1, z_2, \dots, z_N) 為N個設計變數或其值。 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 可為設計變數 (z_1, z_2, \dots, z_N) 之函數，諸如用於 (z_1, z_2, \dots, z_N) 之設計變數之值集合的評估點處之特性之實際值與預期值之間的差。 w_p 為與 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 相關聯之權數常數。可向比其他評估點或圖案更關鍵之評估點或圖案指派較高 w_p 值。亦可向具有較大出現次數之圖案及/或評估點指派較

高 w_p 值。評估點之實例可為基板上之任何實體點或圖案、虛擬設計佈局上之任何點，或抗蝕劑影像，或空中影像，或其組合。 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 亦可為諸如LWR、LER及/或LCDU之一或多個推測變化之函數，該一或多個推測變化又為設計變數 (z_1, z_2, \dots, z_N) 之函數。 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 可為推測變化之顯函數，諸如 $f_p(LER) = LER^2(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 。 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 可為一變數之顯函數，該變數為諸如LER之推測變化之函數。舉例而言，bl_ILS可為如由方程式 30 所指示的 LER 之函數，且 $f_p(bl_ILS(LER)) = f_p\left(\sqrt[b]{\frac{LER}{a \times (\text{劑量} \times \text{影像強度})^c}}\right)$ 。 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 可為影響諸如LER之推測變化之變數。

因此，使用包括表示推測變化之 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 之成本函數的最佳化可導致一或多個設計變數之值縮減或最小化推測變化。成本函數可表示微影投影裝置、微影程序或基板之任何一或多個合適特性，例如，焦點、CD、影像移位、影像失真、影像旋轉、推測變化、產出率、LCDU或其組合。LCDU為局域CD變化(例如，局域CD分佈之標準偏差的三倍)。在一個實施例中，成本函數表示LCDU、產出率及推測變化(亦即，為LCDU、產出率及推測變化之函數)。在一個實施例中，成本函數表示EPE、產出率及推測變化(例如，包括為EPE、產出率及推測變化之函數的 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$)。在一個實施例中，成本函數包括為EPE之函數的 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 及為諸如LER之推測變化之函數的 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 。在一個實施例中，設計變數 (z_1, z_2, \dots, z_N) 包含選自劑量、圖案化器件之全域偏置、照明形狀或其組合的一或多者。由於抗蝕劑影像常常規定基板上之圖案，故成本函數可包括表示抗蝕劑影像之一或多個特性的函數。舉例而言，此評估點之 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 可僅為抗蝕劑影像中之點與彼點之預期位置之間的距離(亦即，邊緣置放誤

差 $EPE_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 。設計變數可包括任何可調整參數，諸如源、圖案化器件、投影光學件、劑量、焦點等等之可調整參數。

微影裝置可包括可用以調整波前及強度分佈之形狀及/或輻射光束之相移的被集體地稱為「波前操控器」之組件。在一實施例中，微影裝置可調整沿著微影投影裝置之光學路徑之任何部位處的波前及強度分佈，諸如在圖案化器件之前、在光瞳平面附近、在影像平面附近及/或在焦平面附近。波前操控器可用以校正或補償由(例如)源、圖案化器件、微影投影裝置中之溫度變化、微影投影裝置之組件之熱膨脹等等造成的波前及強度分佈及/或相移之某些失真。調整波前及強度分佈及/或相移可改變評估點及成本函數之值。可自模型模擬此等改變或實際上量測此等改變。當然， $CF(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 並不限於方程式1中之形式。 $CF(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 可呈任何其他合適形式。

根據一實施例，表示EPE及LER兩者之成本函數可具有如下形式：

$$CF(z_1, z_2, \dots, z_N) = \sum_{p=1}^P \left(w_p EPE_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N) + s_p LER_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N) \right)$$

此係因為EPE及LER兩者具有長度之尺寸。因此，其可直接地相加。

方程式30將bl_ILS連結至LER。因此，使用表示bl_ILS之成本函數的最佳化相似於使用表示LER之成本函數的最佳化。較大bl_ILS導致較小LER，且反之亦然。根據一實施例，成本函數可表示EPE及bl_ILS兩者(或正規化ILS (NILS))。然而，EPE及bl_ILS (或NILS)可能不直接地相加，此係因為bl_ILS不量測長度，而EPE量測長度，或NILS係無因次的，且EPE具有長度之尺寸。因此，藉由表示長度之函數來表示bl_ILS (或NILS)會使將彼表示直接地加至EPE成為可能。

ILS被定義為 $ILS = \partial \ln I / \partial x$ 。bl_ILS為空間模糊ILS。NILS被定義為 $= CD \times ILS$ 。此等定義暗示可表示ILS、bl_ILS或NILS且表示長度之

函數，且因此允許直接地加至EPE。圖9A及圖9B各自展示在垂直於圖案之邊緣之方向(x)上的橫越彼邊緣之影像(空中或抗蝕劑)之強度。強度相對於x之較高斜率意謂較高ILS、bl_ILS及NILS。因此，與圖9B之實例相比，圖9A之實例具有較高ILS、bl_ILS及NILS。邊緣部位 X_e 隨著足以曝光抗蝕劑之強度I而移位。當曝光之持續時間固定時，足以曝光抗蝕劑之強度I隨著劑量而改變。因此，由劑量之給定改變量(例如，相對於標稱劑量之 $\pm\delta$ ，其可為使用者所選擇之參數)造成的邊緣部位 X_e 之移位量(在下文中為「 EPE_{ILS} 」，例如，2911及2912)係由ILS、bl_ILS或NILS判定。圖9A之實例中的 EPE_{ILS} 小於圖9B之實例中的 EPE_{ILS} ，此係因為因此與圖9B之實例相比，圖9A之實例具有較高ILS、bl_ILS及NILS。 EPE_{ILS} 因此為可表示ILS、bl_ILS或NILS且表示長度之函數之實例，從而允許在成本函數中直接地加至EPE。 EPE_{ILS} 可被寫為：

$$EPE_{ILS} = \frac{1}{ILS(x_e(0))} \left(\frac{1}{1+\delta} - 1 \right) \cong \frac{1}{ILS(x_e(0))} (-\delta)。$$

其中 $ILS(x_e(0))$ 為設計變數 (z_1, z_2, \dots, z_N) 之函數。根據一實施例，表示EPE及ILS兩者、bl_ILS或NILS之成本函數可具有如下形式：

$$CF(z_1, z_2, \dots, z_N) = \sum_{p=1}^P (w_p EPE_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N)|_{\delta=0} + s_p (EPE_{ILS})^2) = \sum_{p=1}^P \left(w_p EPE_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N)|_{\delta=0} + s_p \left(\frac{\delta}{ILS(x_e(0))} \right)^2 \right)。$$

其中 $EPE_p(z_1, z_2, \dots, z_N)|_{\delta=0}$ 為在標稱劑量下之EPE值， p 為第 p 個評估點，且 s_p 為用於 EPE_{ILS} 項之權數。因此，舉例而言，藉由最小化此成本函數進行之最佳化會最大化 $ILS(x_e(0))$ ，且因此最小化LER。

根據一實施例，當EPE項增加時， EPE_{ILS} 項 $\left(\frac{\delta}{ILS(x_e(0))}\right)^2$ 之權數可相對於EPE項(例如， EPE_p^2)之權數而縮減，使得 EPE_{ILS} 項 $\left(\frac{\delta}{ILS(x_e(0))}\right)^2$ 並不比EPE項 EPE_p^2 佔優勢。若 EPE_{ILS} 項佔優勢，則EPE項將不會藉由最佳

化而充分地縮減。舉例而言，當 $|EPE_p|$ 高於使用者選擇之偏移時，當 $|EPE_p| > OF$ 時 $s_p = 0$ （藉此最佳化忽略 EPE_{ILS} 項且僅縮減 EPE 項），且當 $|EPE_p| \leq OF$ 時 $s_p \neq 0$ ，其中 OF 為該偏移。舉例而言， $w_p = \begin{cases} w_{default}, & \text{當 } |EPE_p| \leq OF \text{ 時} \\ w_{default} + w_{offset}, & \text{當 } |EPE_p| > OF \text{ 時} \end{cases}$ 。EPE項之較高權數將使最佳化有利於EPE項在使用成本函數之最佳化中之縮減。

圖10示意性地將成本函數之曲線展示為 EPE_p 之函數，其中權數 $w_p = \begin{cases} w_{default}, & \text{當 } |EPE_p| \leq OF \text{ 時} \\ w_{default} + w_{offset}, & \text{當 } |EPE_p| > OF \text{ 時} \end{cases}$ 。如圖10所展示，EPE項在 $|EPE_p| > OF$ 時占成本函數之較大比例，此係因為權數 w_p 具有較大值。

設計變數可具有約束，該等約束可被表達為 $(z_1, z_2, \dots, z_N) \in Z$ ，其中 Z 為設計變數之可能值集合。對設計變數之一個可能約束可由微影投影裝置之所要產出率強加。所要產出率之下限導致對劑量之上限，且因此具有針對推測變化之蘊涵(例如，對推測變化強加下限)。較短曝光時間及/或較低劑量通常導致較高產出率，但導致較大推測變化。基板產出率及推測變化最小化之考慮可約束設計變數之可能值，此係因為推測變化為設計變數之函數。在無由所要產出率強加之此約束的情況下，最佳化可得到不切實際的設計變數之值集合。舉例而言，若劑量為設計變數，則在無此約束的情況下，最佳化可得到使產出率經濟上不可能之劑量值。然而，約束之有用性不應被解譯為必要性。舉例而言，產出率可受到光瞳填充比影響。對於一些照明設計，低光瞳填充比可捨棄輻射，從而導致較低產出率。產出率亦可受到抗蝕劑化學反應影響。較慢抗蝕劑(例如，要求適當地曝光較高量之輻射的抗蝕劑)導致較低產出率。

因此，最佳化程序係在約束 $(z_1, z_2, \dots, z_N) \in Z$ 下找到最佳化成本函數之一或多個設計變數之值集合，例如，找到：

$$(\tilde{z}_1, \tilde{z}_2, \dots, \tilde{z}_N) = \arg \min_{(z_1, z_2, \dots, z_N) \in Z} CF(z_1, z_2, \dots, z_N) \quad (\text{方程式2})$$

根據一實施例，圖11中說明最佳化之一般方法。此方法包含定義複數個設計變數之多變數成本函數之步驟302。設計變數可包含選自表示照明(300A)之一或多個特性(例如，光瞳填充比，即，傳遞通過光瞳或孔徑的照明之輻射之百分比)、投影光學件(300B)之一或多個特性及/或設計佈局(300C)之一或多個特性的設計變數之任何合適組合。舉例而言，設計變數可包括表示照明(300A)之一或多個特性及設計佈局(300C)之一或多個特性(例如，全域偏置)但不表示投影光學件(300B)之一或多個特性的設計變數，此導致SMO。或，設計變數可包括表示照明(300A)之一或多個特性(視情況為偏光)、投影光學件(300B)之一或多個特性及設計佈局(300C)之一或多個特性的設計變數，此導致照明-圖案化器件(例如，光罩)-投影系統(例如，透鏡)最佳化(SMLO)。在步驟304中，同時地調整設計變數使得成本函數移動朝向收斂。在步驟306中，判定是否滿足預定義終止條件。預定終止條件可包括各種可能性，例如，選自以下各者之一或多者：成本函數可根據需要藉由所使用之數值技術予以最小化或最大化，成本函數之值已等於臨限值或已超越臨限值，成本函數之值已達到預設誤差極限內，及/或達到預設數目次反覆。若滿足步驟306中之條件，則方法結束。若不滿足步驟306中之一或多個條件，則反覆地重複步驟304及306直至獲得所要結果為止。最佳化未必導致用於一或多個設計變數之單一值集合，此係因為可存在由諸如光瞳填充因數、抗蝕劑化學反應、產出率等等之因素造成的實體抑制。最佳化可提供用於一或多個設計變數之多個值集合及關聯效能特性(例如，產出率)，且允許微影裝置之使用者選取一或多個集合。圖22展示水平軸線中之產出率(以每小時基板數目為單位)及推測變化之量度(例如，垂直軸線中之最差隅角CDU及LER之平均值)與抗蝕劑化學反應(其可由曝光抗蝕劑所需

要之劑量表示)、光瞳填充比(亦被稱為「光瞳填充因數」)、照明效率(例如,將輻射導向至圖案化器件之鏡面對照明器中之總可用鏡面的比率)及光罩偏置的若干關係。跡線1811在運用100%光瞳填充因數及快速抗蝕劑的情況下展示此等關係。跡線1812在運用100%光瞳填充因數及緩慢抗蝕劑的情況下展示此等關係。跡線1821在運用60%光瞳填充因數及快速抗蝕劑的情況下展示此等關係。跡線1822在運用60%光瞳填充因數及緩慢抗蝕劑的情況下展示此等關係。跡線1831在運用29%光瞳填充因數及快速抗蝕劑的情況下展示此等關係。跡線1832在運用29%光瞳填充因數及緩慢抗蝕劑的情況下展示此等關係。最佳化可將所有此等可能性呈現至使用者,因此,使用者可基於其對推測變化及/或產出率之特定要求來選擇光瞳因數、抗蝕劑化學反應。最佳化可進一步包括計算產出率與光瞳填充因數、抗蝕劑化學反應及光罩偏置之間的關係。最佳化可進一步包括計算推測變化之量度與光瞳填充因數、抗蝕劑化學反應及光罩偏置之間的關係。

根據一實施例,亦如圖23之流程圖中示意性地所說明,可在一或多個設計變數之值集合中之每一值(例如,全域偏置及光罩錨定偏置之值陣列、矩陣或清單)下執行最佳化(步驟1910)。在一實施例中,最佳化之成本函數為推測變化之一或多個量度(例如,LCDU)之函數。接著,在步驟1920中,可將程序、空中影像及/或抗蝕劑影像之各種特性(例如,臨界尺寸均一性(CDU)、聚焦深度(DOF)、曝光寬容度(EL)、光罩誤差增強因數(MEEF)、LCDU、產出率等等)呈現(例如,以3D標繪圖)至用於一或多個設計變數之每一值集合之最佳化之使用者。在選用步驟1930中,使用者基於其一或多個所要特性來選擇一或多個設計變數之值集合。流程可經由XML檔案或任何指令碼語言予以實施。

照明、圖案化器件及投影光學件可被交替地最佳化(被稱作交替

最佳化)或同時地最佳化(被稱作同時最佳化)。如本文中所使用之術語「同時的」、「同時地」、「聯合的」及「聯合地」意謂表示照明、圖案化器件、投影光學件之一或多個特性之一或多個設計變數及/或任何其他設計變數被允許同時改變。如本文中所使用之術語「交替的」及「交替地」意謂並非所有設計變數皆被允許同時改變。

在圖11中，同時地執行所有設計變數之最佳化。此流程可被稱為同時流程或共最佳化流程。替代地，交替地執行所有設計變數之最佳化，如圖12所說明。在此流程中，在每一步驟中，使一些設計變數固定，而最佳化其他設計變數以最佳化成本函數；接著，在下一步驟中，使不同變數集合固定，而最佳化其他變數集合以最小化或最大化成本函數。交替地執行此等步驟直至符合收斂或某一終止條件為止。如圖12之非限制性實例流程圖中所展示，首先，獲得設計佈局(步驟402)，接著，在步驟404中執行照明最佳化之步驟，其中最佳化(SO)照明之一或多個設計變數以最小化或最大化成本函數，而使其他設計變數固定。接著，在下一步驟406中，執行圖案化器件(例如，光罩)最佳化(MO)，其中最佳化圖案化器件之設計變數以最小化或最大化成本函數，而使其他設計變數固定。交替地執行此兩個步驟直至在步驟408中符合某一終止條件為止。可使用一或多個各種終止條件，諸如：成本函數之值變得等於臨限值，成本函數之值超越臨限值，成本函數之值達到預設誤差極限內，達到預設數目次反覆，等等。應注意，SO-MO交替最佳化用作替代流程之實例。替代流程可採取許多不同形式，諸如：SO-LO-MO交替最佳化，其中交替地且反覆地執行SO、LO (投影光學件最佳化)及MO；或可執行第一SMO一次，接著交替地且反覆地執行LO及MO；等等。另一替代方案為SO-PO-MO (照明最佳化、偏光最佳化及圖案化器件最佳化)。最後，在步驟410中獲得最佳化結果之輸出，且程序停止。

如之前所論述之圖案選擇演算法可與同時或交替最佳化整合。舉例而言，當採用交替最佳化時，首先可執行全晶片SO，識別一或多個「熱點」及/或「溫點」，接著執行MO。鑒於本發明，次最佳化之眾多排列及組合係可能的，以便達成所要最佳化結果。

圖13A展示一種例示性最佳化方法，其中最小化或最大化成本函數。在步驟S502中，獲得一或多個設計變數之初始值，其包括一或多個關聯調諧範圍(若存在)。在步驟S504中，設置多變數成本函數。在步驟S506中，在圍繞用於第一反覆步驟($i=0$)之一或多個設計變數之起點值的足夠小之鄰域內展開成本函數。在步驟S508中，將標準多變數最佳化技術應用於成本函數。應注意，最佳化問題可在S508中之最佳化程序期間或在最佳化程序中之後期應用約束，諸如一或多個調諧範圍。步驟S520指示：對於已被選擇以最佳化微影程序之所識別評估點，針對一或多個給定測試圖案(亦被稱為「量規」)進行每一反覆。在步驟S510中，預測微影回應。在步驟S512中，比較步驟S510之結果與步驟S522中獲得之所要或理想微影回應值。若在步驟S514中滿足終止條件，亦即，最佳化產生足夠接近於所要值之微影回應值，則在步驟S518中輸出設計變數之最終值。輸出步驟亦可包括輸出使用設計變數之最終值的一或多個其他函數，諸如輸出光瞳平面(或其他平面)處之波前像差調整映像、最佳化照明映像，及/或最佳化設計佈局等等。若不滿足終止條件，則在步驟S516中運用第 i 次反覆之結果來更新一或多個設計變數之值，且程序返回至步驟S506。下文詳細地闡述圖13A之程序。

在例示性最佳化程序中，不假定或近似設計變數 (z_1, z_2, \dots, z_N) 與 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 之間的關係，惟如下情形除外： $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 足夠平滑(例如，存在一階導數 $\frac{\partial f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)}{\partial z_n}$, ($n = 1, 2, \dots, N$))，其在微影投影裝置中大體上有效。可應用諸如高斯-牛頓演算法、雷文柏格-馬括特演算

法、布洛伊登-費萊雪-高德法伯-香農演算法、梯度下降演算法、模擬退火演算法、內在點演算法及遺傳演算法之演算法以找到 $(\tilde{z}_1, \tilde{z}_2, \dots, \tilde{z}_N)$ 。

此處，將高斯-牛頓演算法用作一實例。高斯-牛頓演算法為適用於一般非線性多變數最佳化問題之反覆方法。在設計變數 (z_1, z_2, \dots, z_N) 採取 $(z_{1i}, z_{2i}, \dots, z_{Ni})$ 之值的第 i 次反覆中，高斯-牛頓演算法線性化 $(z_{1i}, z_{2i}, \dots, z_{Ni})$ 附近之 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ ，且接著計算給出 $CF(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 之最小值的 $(z_{1i}, z_{2i}, \dots, z_{Ni})$ 附近之值 $(z_{1(i+1)}, z_{2(i+1)}, \dots, z_{N(i+1)})$ 。設計變數 (z_1, z_2, \dots, z_N) 在第 $(i+1)$ 次反覆中採取 $(z_{1(i+1)}, z_{2(i+1)}, \dots, z_{N(i+1)})$ 之值。此反覆繼續直至達到收斂(亦即， $CF(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 不再縮減)或預設數目次反覆為止。

具體而言，在第 i 次反覆中，在 $(z_{1i}, z_{2i}, \dots, z_{Ni})$ 附近，

$$f_p(z_1, z_2, \dots, z_N) \approx f_p(z_{1i}, z_{2i}, \dots, z_{Ni}) + \sum_{n=1}^N \left. \frac{\partial f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)}{\partial z_n} \right|_{z_1=z_{1i}, z_2=z_{2i}, \dots, z_N=z_{Ni}} (z_n = z_{ni}) \quad (\text{方程式3})$$

在方程式3之近似下，成本函數變為：

$$CF(z_1, z_2, \dots, z_N) = \sum_{p=1}^P w_p f_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N) = \sum_{p=1}^P w_p \left(f_p(z_{1i}, z_{2i}, \dots, z_{Ni}) + \sum_{n=1}^N \left. \frac{\partial f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)}{\partial z_n} \right|_{z_1=z_{1i}, z_2=z_{2i}, \dots, z_N=z_{Ni}} (z_n = z_{ni}) \right)^2 \quad (\text{方程式4})$$

其為設計變數 (z_1, z_2, \dots, z_N) 之二次函數。每一項為常數，惟設計變數 (z_1, z_2, \dots, z_N) 除外。

若設計變數 (z_1, z_2, \dots, z_N) 未在任何約束下，則可藉由求解 N 個線性方程式來導出 $(z_{1(i+1)}, z_{2(i+1)}, \dots, z_{N(i+1)})$ ：

$$\frac{\partial CF(z_1, z_2, \dots, z_N)}{\partial z_n} = 0, \quad \text{其中 } n = 1, 2, \dots, N。$$

若設計變數 (z_1, z_2, \dots, z_N) 在呈 J 個不等式(例如， (z_1, z_2, \dots, z_N) 之調諧範圍) $\sum_{n=1}^N A_{nj} z_n \leq B_j$ (其中 $j = 1, 2, \dots, J$) 及 k 個等式(例如，設計變數之

間的相互相依性) $\sum_{n=1}^N C_{nk} z_n \leq D_k$ (其中 $k = 1, 2, \dots, K$) 之形式的約束下，則最佳化程序變為經典二次規劃問題，其中 A_{nj} 、 B_j 、 C_{nk} 、 D_k 為常數。可針對每一反覆來強加額外約束。舉例而言，可引入「阻尼因數」 Δ_D 以限制 $(z_{1(i+1)}, z_{2(i+1)}, \dots, z_{N(i+1)})$ 與 $(z_{1i}, z_{2i}, \dots, z_{Ni})$ 之間的差，使得方程式3之近似成立。此等約束可被表達為 $z_{ni} - \Delta_D \leq z_n \leq z_{ni} + \Delta_D$ 。可使用(例如) Jorge Nocedal及 Stephen J. Wright之 Numerical Optimization (第二版) (Berlin New York: Vandenberghe. Cambridge University Press) 中所描述之方法來導出 $(z_{1(i+1)}, z_{2(i+1)}, \dots, z_{N(i+1)})$ 。

代替最小化 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 之 RMS，最佳化程序可將評估點當中之最大偏差(最差缺陷)之量值最小化至其預期值。在此途徑中，可替代地將成本函數表達為

$$CF(z_1, z_2, \dots, z_N) = \max_{1 \leq p \leq P} \frac{f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)}{CL_p} \quad (\text{方程式5})$$

其中 CL_p 為用於 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 之最大允許值。此成本函數表示評估點當中之最差缺陷。使用此成本函數之最佳化會最小化最差缺陷之量值。反覆貪心演算法(iterative greedy algorithm)可用於此最佳化。

可將方程式5之成本函數近似為：

$$CF(z_1, z_2, \dots, z_N) = \sum_{p=1}^P w_p \left(\frac{f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)}{CL_p} \right)^q \quad (\text{方程式6})$$

其中 q 為偶正整數，諸如至少4，或至少10。方程式6模仿方程式5之行為，同時允許藉由使用諸如最深下降方法、共軛梯度方法等等之方法來分析上執行且加速最佳化。

亦可將最小化最差缺陷大小與 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 之線性化組合。具體而言，如在方程式3中近似 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 。接著，將對最差缺陷大小之約束寫為不等式 $E_{Lp} \leq f_p(z_1, z_2, \dots, z_N) \leq E_{Up}$ ，其中 E_{Lp} 及 E_{Up} 為指定用於 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 之最小及最大允許偏差的兩個常數。在插入方程式3的情況下，將此等約束變換至下式(其中 $p=1, \dots, P$)：

$$\begin{aligned} & \sum_{n=1}^N \left. \frac{\partial f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)}{\partial z_n} \right|_{z_1=z_{1i}, z_2=z_{2i}, \dots, z_N=z_{Ni}} \\ & \leq E_{Up} + \sum_{n=1}^N \left. \frac{\partial f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)}{\partial z_n} \right|_{z_1=z_{1i}, z_2=z_{2i}, \dots, z_N=z_{Ni}} \\ & \quad - f_p(z_{1i}, z_{2i}, \dots, z_{Ni}) \end{aligned} \quad (\text{方程式 6'})$$

及

$$\begin{aligned} & - \sum_{n=1}^N \left. \frac{\partial f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)}{\partial z_n} \right|_{z_1=z_{1i}, z_2=z_{2i}, \dots, z_N=z_{Ni}} \\ & \leq -E_{Up} - \sum_{n=1}^N \left. \frac{\partial f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)}{\partial z_n} \right|_{z_1=z_{1i}, z_2=z_{2i}, \dots, z_N=z_{Ni}} \\ & \quad + f_p(z_{1i}, z_{2i}, \dots, z_{Ni}) \end{aligned} \quad (\text{方程式 6''})$$

由於方程式3僅在 (z_1, z_2, \dots, z_N) 附近大體上有效，故在此附近不能達成所要約束 $E_{Lp} \leq f_p(z_1, z_2, \dots, z_N) \leq E_{Up}$ （其可藉由該等不等式當中之任何衝突而判定）的狀況下，可放寬常數 E_{Lp} 及 E_{Up} 直至可達成該等約束為止。此最佳化程序最小化 (z_1, z_2, \dots, z_N) 附近之最差缺陷大小 i 。接著，每一步驟逐漸地縮減最差缺陷大小，且反覆地執行每一步驟直至符合某些終止條件為止。此情形將導致最差缺陷大小之最佳縮減。

用以最小化最差缺陷之另一方式係在每一反覆中調整權數 w_p 。舉例而言，在第 i 次反覆之後，若第 r 個評估點為最差缺陷，則可在第 $(i+1)$ 次反覆中增加 w_r ，使得向彼評估點之缺陷大小之縮減給出較高優先級。

另外，可藉由引入拉格朗日乘數(Lagrange multiplier)來修改方程式4及方程式5中之成本函數，以達成對缺陷大小之RMS之最佳化與對最差缺陷大小之最佳化之間的折衷，亦即，

$$CF(z_1, z_2, \dots, z_N) = (1 - \lambda) \sum_{p=1}^P w_p f_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N) + \lambda \max_{1 \leq p \leq P} \frac{f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)}{CL_p} \quad (\text{方程式 6''})$$

其中 λ 為指定對缺陷大小之RMS之最佳化與對最差缺陷大小之最佳化之間的取捨之預設常數。詳言之，若 $\lambda=0$ ，則此方程式變為方程式4，且僅最小化缺陷大小之RMS；而若 $\lambda=1$ ，則此方程式變為方程式5，且僅最小化最差缺陷大小；若 $0 < \lambda < 1$ ，則在最佳化中考量以上兩種情況。可使用多種方法來求解此最佳化。舉例而言，相似於先前所描述之方法，可調整每一反覆中之加權。替代地，相似於自不等式最小化最差缺陷大小，方程式6'及6''之不等式可被視為在二次規劃問題之求解期間的設計變數之約束。接著，可遞增地放寬對最差缺陷大小之界限，或對最差缺陷大小之界限遞增地增加用於最差缺陷大小之權數、計算用於每一可達成最差缺陷大小之成本函數值，且選擇最小化總成本函數之設計變數值作為用於下一步驟之初始點。藉由反覆地進行此操作，可達成此新成本函數之最小化。

最佳化微影投影裝置可擴展程序窗。較大程序窗在程序設計及晶片設計方面提供較多靈活性。程序窗可被定義為使抗蝕劑影像在抗蝕劑影像之設計目標之某一極限內的焦點及劑量值集合。應注意，此處所論述之所有方法亦可延伸至可藉由除了曝光劑量及散焦以外之不同或額外基參數而建立的廣義程序窗定義。此等基參數可包括但不限於諸如NA、均方偏差、像差、偏光之光學設定，或抗蝕劑層之光學常數。舉例而言，如早先所描述，若程序窗(PW)亦包含不同光罩偏置，則最佳化包括MEEF之最小化，其被定義為基板EPE與誘發性光罩邊緣偏置之間的比率。對焦點及劑量值所定義之程序窗在本發明中僅用作一實例。下文描述根據一實施例的最大化程序窗之方法。

在第一步驟中，自程序窗中之已知條件 (f_0, ε_0) 開始，其中 f_0 為標

稱焦點且 ε_0 為標稱劑量，最小化下文在附近 $(f_0 \pm \Delta f, \varepsilon_0 \pm \varepsilon)$ 之成本函數中之一者：

$$CF(z_1, z_2, \dots, z_N, f_0, \varepsilon_0) = \max_{(f, \varepsilon) = (f_0 \pm \Delta f, \varepsilon_0 \pm \varepsilon)} \max_p |f_p(z_1, z_2, \dots, z_N, f, \varepsilon)|$$

(方程式 7)

或

$$CF(z_1, z_2, \dots, z_N, f_0, \varepsilon_0) = \sum_{(f, \varepsilon) = (f_0 \pm \Delta f, \varepsilon_0 \pm \varepsilon)} \sum_p w_p f_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N, f, \varepsilon)$$

(方程式 7')

或

$$CF(z_1, z_2, \dots, z_N, f_0, \varepsilon_0) = (1 - \lambda) \sum_{(f, \varepsilon) = (f_0 \pm \Delta f, \varepsilon_0 \pm \varepsilon)} \sum_p w_p f_p^2(z_1, z_2, \dots, z_N, f, \varepsilon) + \lambda \max_{(f, \varepsilon) = (f_0 \pm \Delta f, \varepsilon_0 \pm \varepsilon)} \max_p |f_p(z_1, z_2, \dots, z_N, f, \varepsilon)|$$

(方程式 7'')

若允許標稱焦點 f_0 及標稱劑量 ε_0 移位，則可將其與設計變數 (z_1, z_2, \dots, z_N) 聯合地最佳化。在下一步驟中，若可找到 $(z_1, z_2, \dots, z_N, f, \varepsilon)$ 之值集合使得成本函數在預設極限內，則將 $(f_0 \pm \Delta f, \varepsilon_0 \pm \varepsilon)$ 接受為程序窗之部分。

若不允許焦點及劑量移位，則在焦點及劑量固定於標稱焦點 f_0 及標稱劑量 ε_0 的情況下最佳化設計變數 (z_1, z_2, \dots, z_N) 。在一替代實施例中，若可找到 (z_1, z_2, \dots, z_N) 之值集合使得成本函數在預設極限內，則將 $(f_0 \pm \Delta f, \varepsilon_0 \pm \varepsilon)$ 接受為程序窗之部分。

本發明中早先所描述之方法可用以最小化方程式 7、7' 或 7'' 之各別成本函數。若設計變數表示投影光學件之一或多個特性，諸如任尼克係數 (Zernike coefficient)，則最小化方程式 7、7' 或 7'' 之成本函數會基於投影光學件最佳化 (亦即，LO) 而導致程序窗最大化。若設計變數表示除了投影光學件之特性以外的照明及圖案化器件之一或多個特性，則最小化方程式 7、7' 或 7'' 之成本函數會基於 SMLO 而導致程序窗最大化，如圖 11 所說明。若設計變數表示源及圖案化器件之一或多個

特性，則最小化方程式7、7'或7''之成本函數會基於SMO而導致程序窗最大化。方程式7、7'或7''之成本函數亦可包括諸如本文中所描述之至少一個 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ ，其為諸如LWR、2D特徵之局域CD變化及/或產出率之一或多個推測變化的函數。

圖14展示同時SMLO程序可如何使用高斯-牛頓演算法以用於最佳化之一個特定實例。在步驟S702中，識別一或多個設計變數之起始值。亦可識別用於每一變數之調諧範圍。在步驟S704中，使用一或多個設計變數來定義成本函數。在步驟S706中，圍繞用於設計佈局中之所有評估點之起始值展開成本函數。在選用步驟S710中，執行全晶片模擬以涵蓋全晶片設計佈局中之所有關鍵圖案。在步驟S714中獲得所要微影回應度量(諸如CD或EPE)，且在步驟S712中比較所要微影回應度量與彼等量之預測值。在步驟S716中，判定程序窗。步驟S718、S720及S722相似於如關於圖13A所描述之對應步驟S514、S516及S518。如之前所提及，最終輸出可為(例如)光瞳平面中之波前像差映像，其經最佳化以產生所要成像效能。最終輸出可為(例如)最佳化照明映像及/或最佳化設計佈局。

圖13B展示用以最佳化成本函數之例示性方法，其中設計變數 (z_1, z_2, \dots, z_N) 包括可僅採取離散值之設計變數。

該方法藉由界定照明之像素群組及圖案化器件之圖案化器件圖案塊而開始(步驟802)。通常，像素群組或圖案化器件圖案塊亦可被稱作微影程序組件之劃分部(division)。在一種例示性途徑中，將照明劃分成117個像素群組，且針對圖案化器件來界定94個圖案化器件圖案塊(實質上如上文所描述)，從而引起總共211個劃分部。

在步驟804中，選擇微影模型作為用於微影模擬之基礎。微影模擬產生用於一或多個微影度量之計算中的結果，或回應。將特定微影度量定義為待最佳化之效能度量(步驟806)。在步驟808中，設置用於

照明及圖案化器件之初始(預最佳化)條件。初始條件包括用於照明之像素群組及圖案化器件之圖案化器件圖案塊的初始狀態，使得可參考初始照明形狀及初始圖案化器件圖案。初始條件亦可包括光罩偏置、NA，及/或焦點斜坡範圍。儘管步驟802、804、806及808被描繪為循序步驟，但應瞭解，在其他實施例中，可以其他序列執行此等步驟。

在步驟810中，對像素群組及圖案化器件圖案塊順位。可使像素群組及圖案化器件圖案塊在順位中交錯。可使用各種順位方式，包括：循序地(例如，自像素群組1至像素群組117及自圖案化器件圖案塊1至圖案化器件圖案塊94)、隨機地、根據像素群組及圖案化器件圖案塊之實體部位(例如，將較接近於照明之中心之像素群組順位得較高)，及/或根據像素群組或圖案化器件圖案塊之變更如何影響效能度量。

一旦對像素群組及圖案化器件圖案塊順位，就調整照明及圖案化器件以改良效能度量(步驟812)。在步驟812中，按順位之次序分析像素群組及圖案化器件圖案塊中之每一者，以判定像素群組或圖案化器件圖案塊之變更是否將引起效能度量改良。若判定效能度量將被改良，則相應地變更像素群組或圖案化器件圖案塊，且所得的經改良效能度量及經修改照明形狀或經修改圖案化器件圖案形成基線以供比較以用於隨後分析較低順位之像素群組及圖案化器件圖案塊。換言之，保持改良效能度量之變更。隨著進行及保持對像素群組及圖案化器件圖案塊之狀態之變更，初始照明形狀及初始圖案化器件圖案相應地改變，使得經修改照明形狀及經修改圖案化器件圖案由步驟812中之最佳化程序引起。

在其他途徑中，亦在812之最佳化程序內執行像素群組及/或圖案化器件圖案塊之圖案化器件多邊形形狀調整及成對輪詢。

在一實施例中，交錯式同時最佳化工序可包括變更照明之像素

群組，且若發現效能度量之改良，則逐步升高及/或降低劑量或強度以尋找進一步改良。在一另外實施例中，可藉由圖案化器件圖案之偏置改變來替換劑量或強度之逐步升高及/或降低以尋找同時最佳化工序之進一步改良。

在步驟814中，進行關於效能度量是否已收斂之判定。舉例而言，若在步驟810及812之最後幾次反覆中已見證效能度量之很小或無改良，則效能度量可被認為已收斂。若效能度量尚未收斂，則在下一反覆中重複步驟810及812，其中將來自當前反覆之經修改照明形狀及經修改圖案化器件用作下一反覆之初始照明形狀及初始圖案化器件(步驟816)。

上文所描述之最佳化方法可用以增加微影投影裝置之產出率。舉例而言，成本函數可包括為曝光時間之函數的 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 。在一實施例中，此成本函數之最佳化受到推測變化之量度或其他度量約束或影響。具體而言，用以增加微影程序之產出率的電腦實施方法可包含最佳化為微影程序之一或多個推測變化之函數及基板之曝光時間之函數的成本函數，以便縮減或最小化曝光時間。

在一個實施例中，成本函數包括為一或多個推測變化之函數的至少一個 $f_p(z_1, z_2, \dots, z_N)$ 。一或多個推測變化可包括LWR及/或2D特徵之局域CD變化。在一個實施例中，一或多個推測變化包括空中影像或抗蝕劑影像之一或多個特性之一或多個推測變化。舉例而言，此推測變化可包括線邊緣粗糙度(LER)、線寬粗糙度(LWR)及/或局域臨界尺寸均一性(LCDU)。在成本函數中包括一或多個推測變化會允許找到最小化一或多個推測變化的一或多個設計變數之值，藉此縮減歸因於推測變化之缺陷風險。

圖15A展示根據一實施例的用於基於特性之推測變化(例如，LER)或基於為推測變化之函數或影響推測變化的變數(例如，

bl_ILS、ILS或NILS)來識別空中影像或抗蝕劑影像之熱點的方法之流程圖。在選用步驟2510中，獲得為用於空中影像或抗蝕劑影像之特性(例如，邊緣部位)之推測變化(例如，LER)之函數或影響推測變化的變數(例如，bl_ILS、ILS或NILS)之值。在步驟2520中，獲得(例如，自變數之值)特性之推測變化(例如，LER)之值。在步驟2530中，獲得特性之範圍。範圍可歸因於任何合適限制。舉例而言，當推測變化為LER時，範圍可由設計佈局之圖案之幾何形狀規定。舉例而言，LER之最大值可不超過自邊緣至其相鄰邊緣之間隙之寬度。在步驟2540中，比較推測變化之值與範圍。若推測變化超過範圍，則在步驟2550中將特性識別為熱點。可針對被識別為熱點之彼特性進行進一步處理，諸如用以縮減推測變化之最佳化。

圖15B展示根據一實施例的用於基於空中影像或抗蝕劑影像之特性(例如，邊緣部位)之推測變化(例如，LER)或基於為推測變化之函數或影響推測變化的變數(例如，bl_ILS、ILS或NILS)來識別空中影像或抗蝕劑影像之熱點的方法之流程圖。在步驟2610中，獲得特性之範圍。在步驟2620中，基於特性之範圍來獲得推測變化(例如，LER)之範圍或變數(例如，bl_ILS、ILS或NILS)之範圍。在步驟2630中，獲得推測變化之值或變數之值。在步驟2640中，比較推測變化之值或變數之值與其各別範圍。若推測變化之值或變數之值超過其各別範圍，則在步驟2650中將特性識別為熱點。可針對被識別為熱點之彼特性進行進一步處理，諸如用以縮減推測變化之最佳化。

圖16展示根據一實施例的用於縮減空中影像或抗蝕劑影像之一或多個特性(例如，邊緣部位)之推測變化(例如，LER)的方法之流程圖。在步驟2710中，藉由將一或多個特性識別為來自設計佈局之部分之熱點來獲得該一或多個特性，例如，使用圖15A或圖15B之方法。在步驟2720中，縮減一或多個特性之推測變化，例如，藉由使用至少

表示推測變化或變數(例如，bl_ILS、ILS或NILS)之成本函數，該變數為推測變化之函數或影響推測變化。在步驟2730中，重新識別來自設計佈局之部分之熱點。在步驟2740中，判定是否識別出熱點。若識別出熱點，則繼續步驟2750；若未識別出熱點，則方法結束。在步驟2750中，改變最佳化之一或多個參數(例如， δ 及/或使用者選擇之偏移)，且方法重新反覆至步驟2720，且運用經改變之一或多個參數來執行最佳化。在一替代方案中，一或多個參數可為設計佈局之部分，且可消除步驟2740及2750。

圖17為說明可輔助實施本文中所揭示之最佳化方法及流程之電腦系統100的方塊圖。電腦系統100包括用於傳達資訊之匯流排102或其他通信機構，及與匯流排102耦接以用於處理資訊之一處理器104(或多個處理器104及105)。電腦系統100亦包括耦接至匯流排102以用於儲存待由處理器104執行之資訊及指令之主記憶體106，諸如隨機存取記憶體(RAM)或其他動態儲存器件。主記憶體106亦可用於在待由處理器104執行之指令之執行期間儲存暫時變數或其他中間資訊。電腦系統100進一步包括耦接至匯流排102以用於儲存用於處理器104之靜態資訊及指令之唯讀記憶體(ROM) 108或其他靜態儲存器件。提供諸如磁碟或光碟之儲存器件110且將儲存器件110耦接至匯流排102以用於儲存資訊及指令。

電腦系統100可經由匯流排102而耦接至用於向電腦使用者顯示資訊之顯示器112，諸如陰極射線管(CRT)或平板顯示器或觸控面板顯示器。包括文數字按鍵及其他按鍵之輸入器件114耦接至匯流排102以用於將資訊及命令選擇傳達至處理器104。另一類型之使用者輸入器件為用於將方向資訊及命令選擇傳達至處理器104且用於控制顯示器112上之游標移動之游標控制件116，諸如滑鼠、軌跡球或游標方向按鍵。此輸入器件通常具有在兩個軸線(第一軸線(例如，x)及第二軸線

(例如，y))上之兩個自由度，其允許該器件指定在一平面中之位置。亦可將觸控面板(螢幕)顯示器用作輸入器件。

根據一個實施例，可由電腦系統100回應於處理器104執行主記憶體106中含有之一或多個指令之一或多個序列而執行最佳化程序之部分。可將此等指令自另一電腦可讀媒體(諸如儲存器件110)讀取至主記憶體106中。主記憶體106中含有之指令序列之執行致使處理器104執行本文中所描述之程序步驟。呈多處理配置之一或多個處理器亦可用以執行主記憶體106中含有之指令序列。在一替代實施例中，可代替或結合軟體指令而使用硬連線電路系統。因此，本文中之描述並不限於硬體電路系統及軟體之任何特定組合。

本文中所使用之術語「電腦可讀媒體」係指參與將指令提供至處理器104以供執行之任何媒體。此媒體可採取許多形式，包括但不限於非揮發性媒體、揮發性媒體及傳輸媒體。非揮發性媒體包括(例如)光碟或磁碟，諸如儲存器件110。揮發性媒體包括動態記憶體，諸如主記憶體106。傳輸媒體包括同軸纜線、銅線及光纖，其包括包含匯流排102之電線。傳輸媒體亦可採取聲波或光波之形式，諸如在射頻(RF)及紅外線(IR)資料通信期間產生之聲波或光波。舉例而言，常見形式之電腦可讀媒體包括軟碟、可撓性碟、硬碟、磁帶、任何其他磁性媒體、CD-ROM、DVD、任何其他光學媒體、打孔卡、紙帶、具有孔圖案之任何其他實體媒體、RAM、PROM及EPROM、FLASH-EPROM、任何其他記憶體晶片或卡匣、如下文中所描述之載波，或可供電腦讀取之任何其他媒體。

各種形式之電腦可讀媒體可涉及到將一或多個指令之一或多個序列攜載至處理器104以供執行。舉例而言，最初可將指令承載於遠端電腦之磁碟上。遠端電腦可將指令載入至其動態記憶體中，且使用數據機經由電話線而發送指令。在電腦系統100本端之數據機可接收

電話線上之資料，且使用紅外線傳輸器以將資料轉換成紅外線信號。耦接至匯流排102之紅外線偵測器可接收紅外線信號中攜載之資料且將該資料置放於匯流排102上。匯流排102將資料攜載至主記憶體106，處理器104自主記憶體106擷取及執行指令。由主記憶體106接收之指令可視情況在由處理器104執行之前或之後儲存於儲存器件110上。

電腦系統100亦可包括耦接至匯流排102之通信介面118。通信介面118提供對網路鏈路120之雙向資料通信耦接，網路鏈路120連接至區域網路122。舉例而言，通信介面118可為整合式服務數位網路(ISDN)卡或數據機以提供至對應類型之電話線的資料通信連接。作為另一實例，通信介面118可為區域網路(LAN)卡以提供至相容LAN之資料通信連接。亦可實施無線鏈路。在任何此類實施中，通信介面118發送及接收攜載表示各種類型之資訊之數位資料串流的電信號、電磁信號或光學信號。

網路鏈路120通常經由一或多個網路而向其他資料器件提供資料通信。舉例而言，網路鏈路120可經由區域網路122而向主機電腦124或向由網際網路服務提供者(ISP) 126操作之資料設備提供連接。ISP 126又經由全球封包資料通信網路(現在通常被稱作「網際網路」) 128而提供資料通信服務。區域網路122及網際網路128兩者皆使用攜載數位資料串流之電信號、電磁信號或光學信號。經由各種網路之信號及在網路鏈路120上且經由通信介面118之信號(該等信號將數位資料攜載至電腦系統100及自電腦系統100攜載數位資料)為輸送資訊的例示性形式之載波。

電腦系統100可經由網路、網路鏈路120及通信介面118而發送訊息且接收資料(包括程式碼)。在網際網路實例中，伺服器130可能經由網際網路128、ISP 126、區域網路122及通信介面118而傳輸用於應

用程式之經請求程式碼。一個此類經下載應用程式可提供(例如)實施例之照明最佳化。所接收程式碼可在其被接收時由處理器104執行，及/或儲存於儲存器件110或其他非揮發性儲存體中以供稍後執行。以此方式，電腦系統100可獲得呈載波之形式之應用程式碼。

圖18示意性地描繪例示性微影投影裝置，其照明可利用本文中所述之方法予以最佳化。該裝置包含：

- 照明系統IL，其用以調節輻射光束B。在此特定狀況下，該照明系統亦包含輻射源SO；

- 第一物件台(例如，圖案化器件台) MT，其具備用以固持圖案化器件MA (例如，光罩)之圖案化器件固持器，且連接至用以相對於項目PS來準確地定位該圖案化器件之第一定位器；

- 第二物件台(基板台) WT，其具備用以固持基板W (例如，抗蝕劑塗佈矽晶圓)之基板固持器，且連接至用以相對於項目PS來準確地定位該基板之第二定位器；

- 投影系統(「透鏡」) PS (例如，折射、反射或反射折射光學系統)，其用以將圖案化器件MA之經輻照部分成像至基板W之目標部分C (例如，包含一或多個晶粒)上。

如本文中所描繪，裝置屬於透射類型(亦即，具有透射圖案化器件)。然而，一般而言，其亦可屬於(例如)反射類型(具有反射圖案化器件)。裝置可將不同種類之圖案化器件用於典型光罩；實例包括可程式化鏡面陣列或LCD矩陣。

源SO (例如，水銀燈或準分子雷射、雷射產生電漿(LPP) EUV源)產生輻射光束。舉例而言，此光束係直接地或在已橫穿諸如光束擴展器Ex之調節構件之後饋送至照明系統(照明器) IL中。照明器IL可包含調整構件AD以用於設定光束中之強度分佈之外部徑向範圍及/或內部徑向範圍(通常分別被稱作 σ 外部及 σ 內部)。另外，照明器IL通常將包

含各種其他組件，諸如積光器IN及聚光器CO。以此方式，照射於圖案化器件MA上之光束B在其橫截面中具有所要均一性及強度分佈。

關於圖18應注意，源SO可在微影投影裝置之外殼內(此常常為源SO為(例如)水銀燈時之狀況)，但其亦可在微影投影裝置遠端，其所產生之輻射光束被引導至該裝置中(例如，憑藉合適導向鏡面)；此後一情境常常為源SO為準分子雷射(例如，基於KrF、ArF或F₂雷射作用)時之狀況。

光束PB隨後截取被固持於圖案化器件台MT上之圖案化器件MA。在已橫穿圖案化器件MA的情況下，光束B傳遞通過透鏡PL，透鏡PL將光束B聚焦至基板W之目標部分C上。憑藉第二定位構件(及干涉量測構件IF)，可準確地移動基板台WT，例如，以便使不同目標部分C定位於光束PB之路徑中。相似地，第一定位構件可用以(例如)在自圖案化器件庫機械地擷取圖案化器件MA之後或在掃描期間相對於光束B之路徑來準確地定位圖案化器件MA。一般而言，將憑藉未在圖18中被明確地描繪之長衝程模組(粗略定位)及短衝程模組(精細定位)來實現物件台MT、WT之移動。然而，在步進器(相對於步進掃描工具)之狀況下，圖案化器件台MT可僅僅連接至短衝程致動器，或可固定。

所描繪工具可用於兩種不同模式中：

- 在步進模式中，使圖案化器件台MT保持基本上靜止，且將整個圖案化器件影像一次性(亦即，單次「閃光」)投影至目標部分C上。接著使基板台WT在x及/或y方向上移位，使得不同目標部分C可由光束PB輻照；

- 在掃描模式中，基本上相同情境適用，惟在單次「閃光」中不曝光給定目標部分C除外。取而代之，圖案化器件台MT可在給定方向(所謂「掃描方向」，例如，y方向)上以速率v移動，使得致使投影光

束B遍及圖案化器件影像進行掃描；同時發生地，基板台WT以速率 $V = Mv$ 在相同或相對方向上同時地移動，其中M為透鏡PL之放大率(通常， $M = 1/4$ 或 $1/5$)。以此方式，可在不必損害解析度的情況下曝光相對大目標部分C。

圖19示意性地描繪另一例示性微影投影裝置1000，其照明可利用本文中所描述之方法予以最佳化。

微影投影裝置1000包含：

- 源收集器模組SO；
- 照明系統(照明器) IL，其經組態以調節輻射光束B (例如，EUV輻射)；
- 支撐結構(例如，圖案化器件台) MT，其經建構以支撐圖案化器件(例如，光罩或比例光罩) MA，且連接至經組態以準確地定位該圖案化器件之第一定位器PM；
- 基板台(例如，晶圓台) WT，其經建構以固持基板(例如，抗蝕劑塗佈晶圓) W，且連接至經組態以準確地定位該基板之第二定位器PW；及
- 投影系統(例如，反射投影系統) PS，其經組態以將由圖案化器件MA賦予至輻射光束B之圖案投影至基板W之目標部分C (例如，包含一或多個晶粒)上。

如此處所描繪，裝置1000屬於反射類型(例如，使用反射圖案化器件)。應注意，因為大多數材料在EUV波長範圍內具吸收性，所以圖案化器件可具有包含(例如)鉬與矽之多堆疊的多層反射器。在一個實例中，多堆疊反射器具有鉬與矽之40個層對，其中每一層之厚度為四分之一波長。可運用X射線微影來產生甚至更小的波長。由於大多數材料在EUV及x射線波長下具吸收性，故圖案化器件構形(topography)上之經圖案化吸收材料薄片段(例如，多層反射器之頂部

上之TaN吸收器)界定特徵將印刷(正型抗蝕劑)或不印刷(負型抗蝕劑)之處。

參看圖19，照明器IL自源收集器模組SO接收極紫外線輻射光束。用以產生EUV輻射之方法包括但未必限於運用在EUV範圍內之一或多種發射譜線將具有至少一種元素(例如，氫、鋰或錫)之材料轉換成電漿狀態。在一種此類方法(常常被稱為雷射產生電漿(「LPP」))中，可藉由運用雷射光束來輻照燃料(諸如具有譜線發射元素之材料小滴、串流或叢集)而產生電漿。源收集器模組SO可為包括雷射(圖19中未繪示)之EUV輻射系統之部件，該雷射用於提供激發燃料之雷射光束。所得電漿發射輸出輻射，例如，EUV輻射，該輻射係使用安置於源收集器模組中之輻射收集器予以收集。舉例而言，當使用CO₂雷射以提供用於燃料激發之雷射光束時，雷射與源收集器模組可為分離實體。

在此等狀況下，不認為雷射形成微影裝置之部件，且輻射光束係憑藉包含(例如)合適導向鏡面及/或光束擴展器之光束遞送系統而自雷射傳遞至源收集器模組。在其他狀況下，舉例而言，當源為放電產生電漿EUV產生器(常常被稱為DPP源)時，源可為源收集器模組之整體部件。

照明器IL可包含用於調整輻射光束之角強度分佈之調整器。通常，可調整照明器之光瞳平面中之強度分佈的至少外部徑向範圍及/或內部徑向範圍(通常分別被稱作 σ 外部及 σ 內部)。另外，照明器IL可包含各種其他組件，諸如琢面化場鏡面器件及琢面化光瞳鏡面器件。照明器可用以調節輻射光束，以在其橫截面中具有所要均一性及強度分佈。

輻射光束B入射於被固持於支撐結構(例如，圖案化器件台) MT上之圖案化器件(例如，光罩) MA上，且係由該圖案化器件圖案化。

在自圖案化器件(例如，光罩) MA反射之後，輻射光束B傳遞通過投影系統PS，投影系統PS將該光束聚焦至基板W之目標部分C上。憑藉第二定位器PW及位置感測器PS2 (例如，干涉量測器件、線性編碼器或電容式感測器)，可準確地移動基板台WT，例如，以便使不同目標部分C定位於輻射光束B之路徑中。相似地，第一定位器PM及另一位置感測器PS1可用以相對於輻射光束B之路徑來準確地定位圖案化器件(例如，光罩) MA。可使用圖案化器件對準標記M1、M2及基板對準標記P1、P2來對準圖案化器件(例如，光罩) MA及基板W。

所描繪裝置1000可用於以下模式中之至少一者中：

1.在步進模式中，在將被賦予至輻射光束之整個圖案一次性地投影至目標部分C上時，使支撐結構(例如，圖案化器件台) MT及基板台WT保持基本上靜止(亦即，單次靜態曝光)。接著，使基板台WT在X及/或Y方向上移位，使得可曝光不同目標部分C。

2.在掃描模式中，在將被賦予至輻射光束之圖案投影至目標部分C上時，同步地掃描支撐結構(例如，圖案化器件台) MT及基板台WT (亦即，單次動態曝光)。可藉由投影系統PS之放大率(縮小率)及影像反轉特性來判定基板台WT相對於支撐結構(例如，圖案化器件台) MT之速度及方向。

3.在另一模式中，在將被賦予至輻射光束之圖案投影至目標部分C上時，使支撐結構(例如，圖案化器件台) MT保持基本上靜止，從而固持可程式化圖案化器件，且移動或掃描基板台WT。在此模式中，通常使用脈衝式輻射源，且在基板台WT之每一移動之後或在一掃描期間之順次輻射脈衝之間根據需要而更新可程式化圖案化器件。此操作模式可易於應用於利用可程式化圖案化器件(諸如上文所提及之類型的可程式化鏡面陣列)之無光罩微影。

圖20更詳細地展示裝置1000，其包括源收集器模組SO、照明系

統IL及投影系統PS。源收集器模組SO經建構及配置使得可將真空環境維持於源收集器模組SO之圍封結構220中。可藉由放電產生電漿源來形成EUV輻射發射電漿210。可藉由氣體或蒸汽(例如，Xe氣體、Li蒸汽或Sn蒸汽)來產生EUV輻射，其中產生極熱電漿210以發射在電磁光譜之EUV範圍內之輻射。舉例而言，藉由引起至少部分離子化電漿之放電來產生極熱電漿210。為了有效率地產生輻射，可需要為(例如) 10帕斯卡之分壓之Xe、Li、Sn蒸汽或任何其他合適氣體或蒸汽。在一實施例中，提供經激發錫(Sn)電漿以產生EUV輻射。

由熱電漿210發射之輻射係經由定位於源腔室211中之開口中或後方的選用氣體障壁或污染物截留器230 (在一些狀況下亦被稱作污染物障壁或箔片截留器)而自源腔室211傳遞至收集器腔室212中。污染物截留器230可包括通道結構。污染截留器230亦可包括氣體障壁，或氣體障壁與通道結構之組合。如在此項技術中所知，本文中進一步所指示之污染物截留器或污染物障壁230至少包括通道結構。

收集器腔室212可包括可為所謂掠入射收集器之輻射收集器CO。輻射收集器CO具有上游輻射收集器側251及下游輻射收集器側252。橫穿收集器CO之輻射可自光柵光譜濾光器240反射以沿著由點虛線「O」指示之光軸而聚焦於虛擬源點IF中。虛擬源點IF通常被稱作中間焦點，且源收集器模組經配置使得中間焦點IF位於圍封結構220中之開口221處或附近。虛擬源點IF為輻射發射電漿210之影像。

隨後，輻射橫穿照明系統IL，照明系統IL可包括琢面化場鏡面器件22及琢面化光瞳鏡面器件24，琢面化場鏡面器件22及琢面化光瞳鏡面器件24經配置以提供在圖案化器件MA處的輻射光束21之所要角分佈，以及在圖案化器件MA處的輻射強度之所要均一性。在由支撐結構MT固持之圖案化器件MA處的輻射光束21之反射後，就形成經圖案化光束26，且由投影系統PS將經圖案化光束26經由反射元件28、30而

成像至由基板台WT固持之基板W上。

比所展示器件更多的器件通常可存在於照明光學件單元IL及投影系統PS中。取決於微影裝置之類型，可視情況存在光柵光譜濾光器240。另外，可存在比諸圖所展示之鏡面更多的鏡面，例如，在投影系統PS中可存在比圖20所展示之反射元件多1至6個的額外反射元件。

如圖20所說明之收集器光學件CO被描繪為具有掠入射反射器253、254及255之巢套式收集器，僅僅作為收集器(或收集器鏡面)之實例。掠入射反射器253、254及255經安置成圍繞光軸O軸向地對稱，且此類型之收集器光學件CO可結合常常被稱為DPP源之放電產生電漿源而使用。

替代地，源收集器模組SO可為如圖21所展示之LPP輻射系統之部件。雷射LA經配置以將雷射能量沈積至諸如氙(Xe)、錫(Sn)或鋰(Li)之燃料中，從而產生具有數十電子伏特之電子溫度之高度離子化電漿210。在此等離子之去激發及再結合期間產生之高能輻射係自電漿發射、由近正入射收集器光學件CO收集，且聚焦至圍封結構220中之開口221上。

美國專利申請公開案第US 2013-0179847號之全文係特此以引用之方式併入。

本文中所揭示之概念可模擬或數學上模型化用於使子波長特徵成像之任何通用成像系統，且可尤其有用於能夠產生愈來愈短之波長之新興成像技術。已經在使用中之新興技術包括能夠藉由使用ArF雷射來產生193奈米波長且甚至能夠藉由使用氟雷射來產生157奈米波長之極紫外線(EUV)、DUV微影。此外，EUV微影能夠藉由使用同步加速器或藉由運用高能電子來撞擊材料(固體或電漿)來產生在20奈米至5奈米之範圍內之波長，以便產生在此範圍內之光子。

雖然本文中所揭示之概念可用於在諸如矽晶圓之基板上之成

像，但應理解，所揭示概念可用於任何類型之微影成像系統，例如，用於在除了矽晶圓以外之基板上之成像的微影成像系統。

以上描述意欲為說明性而非限制性的。因此，對於熟習此項技術者而言將顯而易見，可在不脫離下文所闡明之申請專利範圍之範疇的情況下如所描述而進行修改。

【符號說明】

10A	微影投影裝置
12A	輻射源
14A	光學件/圖案化器件
16Aa	光學件
16Ab	光學件
16Ac	透射光學件
20A	可調整濾光器或孔徑
21	輻射光束
22	琢面化場鏡面器件
22A	基板平面
24	琢面化光瞳鏡面器件
26	經圖案化光束
28	反射元件
30	反射元件
31	源模型
32	投影光學件模型
35	設計佈局模型
36	空中影像
37	抗蝕劑模型
38	抗蝕劑影像

100	電腦系統
102	匯流排
104	處理器
105	處理器
106	主記憶體
108	唯讀記憶體(ROM)
110	儲存器件
112	顯示器
114	輸入器件
116	游標控制件
118	通信介面
120	網路鏈路
122	區域網路
124	主機電腦
126	網際網路服務提供者(ISP)
128	全球封包資料通信網路/網際網路
130	伺服器
210	輻射發射電漿/熱電漿/高度離子化電漿
211	源腔室
212	收集器腔室
220	圍封結構
221	開口
230	氣體障壁/污染物截留器/污染截留器/污染物障壁
240	光柵光譜濾光器
251	上游輻射收集器側
252	下游輻射收集器側

253	掠入射反射器
254	掠入射反射器
255	掠入射反射器
300A	照明
300B	投影光學件
300C	設計佈局
302	步驟
304	步驟
306	步驟
402	步驟
404	步驟
406	步驟
408	步驟
410	步驟
802	步驟
804	步驟
806	步驟
808	步驟
810	步驟
812	步驟
814	步驟
816	步驟
903	邊緣
903A	抗蝕劑影像
903B	抗蝕劑影像
903C	抗蝕劑影像

904A	部位
904B	部位
904C	部位
910	矩形特徵
910A	抗蝕劑影像
910B	抗蝕劑影像
910C	抗蝕劑影像
911	寬度
911A	寬度
911B	寬度
911C	寬度
980	差
981	實線
982	點線
983	相鄰特徵
990	帶
995	曲線
1000	微影投影裝置
1301	步驟
1302	步驟
1303	步驟
1400	線邊緣粗糙度(LER)
1401	長渠溝
1402	長線
1403	短線
1404	短渠溝

- 1405 短線端
- 1406 短渠溝端
- 1410 曲線
- 1500 局域臨界尺寸均一性(LCDU)
- 1501 值集合
- 1502 空中影像或抗蝕劑影像
- 1503 特性之值
- 1504 分佈
- 1505 推測變化之值/渠溝
- 1506 關係
- 1510 擬合
- 1610 步驟
- 1620 步驟
- 1630 步驟
- 1640 步驟
- 1650 步驟
- 1800 非暫時性電腦可讀媒體
- 1811 跡線
- 1812 跡線
- 1821 跡線
- 1822 跡線
- 1831 跡線
- 1832 跡線
- 1910 步驟
- 1920 步驟
- 1930 步驟

2510	步驟
2520	步驟
2530	步驟
2540	步驟
2550	步驟
2610	步驟
2620	步驟
2630	步驟
2640	步驟
2650	步驟
2710	步驟
2720	步驟
2730	步驟
2740	步驟
2750	步驟
2911	移位量
2912	移位量
AD	調整構件
B	輻射光束
C	目標部分
CO	聚光器/輻射收集器/收集器光學件
IF	干涉量測構件/虛擬源點/中間焦點
IL	照明器/照明器/照明光學件單元
IN	積光器
LA	雷射
M1	圖案化器件對準標記

M2	圖案化器件對準標記
MA	圖案化器件
MT	第一物件台/圖案化器件台/支撐結構
O	光軸
P1	基板對準標記
P2	基板對準標記
PB	光束
PL	透鏡
PM	第一定位器
PS	投影系統
PS1	位置感測器
PS2	位置感測器
PW	第二定位器
S502	步驟
S504	步驟
S506	步驟
S508	步驟
S510	步驟
S512	步驟
S514	步驟
S516	步驟
S518	步驟
S520	步驟
S522	步驟
S702	步驟
S704	步驟

S706	步驟
S710	步驟
S712	步驟
S714	步驟
S716	步驟
S718	步驟
S720	步驟
S722	步驟
SO	源收集器模組/輻射源
W	基板
WT	第二物件台/基板台

申請專利範圍

1. 一種用以改良使用一微影裝置將一設計佈局之一部分成像至一基板上之一微影程序的電腦實施方法，該方法包含：

計算一多變數成本函數(multi-variable cost function)，該多變數成本函數為一空中影像(aerial image)或一抗蝕劑(resist)影像之一特性(characteristic)之一推測變化(stochastic variation)的一函數，或為一變數(variable)之一函數，該變數為該推測變化之一函數或影響該推測變化，該推測變化為複數個設計變數之一函數，該複數個設計變數表示該微影程序之一或多個特性；及

藉由調整該等設計變數中之一或多者直至滿足某一終止條件(termination condition)為止來重新組態該微影程序之該等特性中之一或多者，

其中該設計變數為模糊影像對數斜率(bl_ILS)、影像對數斜率(ILS)或正規化(normalized)影像對數斜率(NILS)。

2. 如請求項1之方法，其中該推測變化包含線邊緣粗糙度、線寬粗糙度、局域臨界尺寸均一性，或選自前述各者之任何組合。
3. 如請求項1或2之方法，其中該成本函數為以下微影度量中之一或多者之一函數：邊緣置放誤差、臨界尺寸、抗蝕劑輪廓距離、最差缺陷大小，及/或最佳焦點移位。
4. 如請求項1或2之方法，其中該成本函數包含為一劑量改變之一函數的一第一項。
5. 如請求項4之方法，其中該成本函數包含為一邊緣置放誤差之一函數的一第二項。
6. 如請求項5之方法，其中與該邊緣置放誤差之一絕對值不大於一偏移時的該第二項之一權數相比，在該邊緣置放誤差之該絕對

值大於該偏移時的該權數之一值具有一較大值。

7. 如請求項1或2之方法，其中該等設計變數包含選自模糊影像對數斜率(ILS)、模糊影像強度、影像強度、全域偏置、光罩錨定偏置及/或劑量之一或多者。
8. 如請求項1或2之方法，其中該設計佈局之該部分包含選自以下各者之一或多者：一整個設計佈局、一剪輯、已知為具有一關鍵特徵的一設計佈局之一區段、一熱點或一溫點已被識別的該設計佈局之一區段，及/或一關鍵特徵已被識別的該設計佈局之一區段。
9. 如請求項1或2之方法，其中該終止條件包含選自以下各者之一或多者：該成本函數之最小化；該成本函數之最大化；達到某一數目次反覆；達到等於或超出某一臨限值的該成本函數之一值；達到某一計算時間；達到在一可接受誤差極限內的該成本函數之一值；及/或最小化該微影程序中之一曝光時間。
10. 如請求項1或2之方法，其中該等設計變數中之一或多者表示由該微影裝置進行之照明之一或多個特性，及/或該等設計變數中之一或多者表示該設計佈局之一或多個特性，及/或該等設計變數中之一或多者表示該微影裝置之投影光學件之一或多個特性，及/或該等設計變數中之一或多者表示該基板之一抗蝕劑之一或多個特性，及/或該等設計變數中之一或多者表示該空中影像或該抗蝕劑影像之一或多個特性。
11. 如請求項1或2之方法，其中該重新組態包含規定該等設計變數中之至少一者之一範圍之一約束。
12. 如請求項1或2之方法，其中該成本函數係藉由選自由高斯-牛頓演算法、雷文柏格-馬括特演算法、布洛伊登-費萊雪-高德法伯-香農演算法、梯度下降演算法、模擬退火演算法、內在點演算

- 法及遺傳演算法組成之一群組的一方法予以最小化或最大化。
13. 如請求項1或2之方法，其中該推測變化係由以下各者造成：該基板之一抗蝕劑中的光子散粒雜訊、光子產生次級電子、光子產生酸；該基板之一抗蝕劑中的光子可活化或電子可活化粒子之分佈；該基板之一抗蝕劑中的光子可活化或電子可活化粒子之密度；或其一組合。
 14. 如請求項1或2之方法，其中該空中影像及/或該抗蝕劑影像為一模擬影像。
 15. 一種用以改良使用一微影裝置將一設計佈局之一部分成像至一基板上之一微影程序的電腦實施方法，該方法包含：

計算一多變數成本函數，該多變數成本函數為一變數之一函數，該變數為一推測變化之一函數或影響該推測變化，該推測變化為複數個設計變數之一函數，該複數個設計變數表示該微影程序之一或多個特性；及

藉由調整該等設計變數中之一或多者直至滿足某一終止條件為止來重新組態該微影程序之該等特性中之一或多者，

其中該設計變數為模糊影像對數斜率(bl_ILS)、影像對數斜率(ILS)或正規化影像對數斜率(NILS)。
 16. 如請求項15之方法，其中該推測變化包含線邊緣粗糙度、線寬粗糙度、局域臨界尺寸均一性，或選自前述各者之任何組合。
 17. 如請求項15或16之方法，其中該成本函數為以下微影度量中之一或多者之一函數：邊緣置放誤差、臨界尺寸、抗蝕劑輪廓距離、最差缺陷大小，及/或最佳焦點移位。
 18. 如請求項15或16之方法，其中該成本函數包含為一劑量改變之一函數的一第一項。
 19. 如請求項15或16之方法，其中該等設計變數包含選自模糊影像

- 對數斜率(ILS)、模糊影像強度、影像強度、全域偏置、光罩錨定偏置及/或劑量之一或多者。
20. 如請求項15或16之方法，其中該設計佈局之該部分包含選自以下各者之一或多者：一整個設計佈局、一剪輯、已知為具有一關鍵特徵的一設計佈局之一區段、一熱點或一溫點已被識別的該設計佈局之一區段，及/或一關鍵特徵已被識別的該設計佈局之一區段。
 21. 如請求項15或16之方法，其中該終止條件包含選自以下各者之一或多者：該成本函數之最小化；該成本函數之最大化；達到某一數目次反覆；達到等於或超出某一臨限值的該成本函數之一值；達到某一計算時間；達到在一可接受誤差極限內的該成本函數之一值；及/或最小化該微影程序中之一曝光時間。
 22. 如請求項15或16之方法，其中該等設計變數中之一或多者表示由該微影裝置進行之照明之一或多個特性，及/或該等設計變數中之一或多者表示該設計佈局之一或多個特性，及/或該等設計變數中之一或多者表示該微影裝置之投影光學件之一或多個特性，及/或該等設計變數中之一或多者表示該基板之一抗蝕劑之一或多個特性，及/或該等設計變數中之一或多者表示一空中影像或一抗蝕劑影像之一或多個特性。
 23. 如請求項15或16之方法，其中該重新組態包含規定該等設計變數中之至少一者之一範圍之一約束。
 24. 如請求項15或16之方法，其中該成本函數係藉由選自由高斯-牛頓演算法、雷文柏格-馬括特演算法、布洛伊登-費萊雪-高德法伯-香農演算法、梯度下降演算法、模擬退火演算法、內在點演算法及遺傳演算法組成之一群組之一方法予以最小化或最大化。

25. 如請求項15或16之方法，其中該推測變化係由以下各者造成：
該基板之一抗蝕劑中的光子散粒雜訊、光子產生次級電子、光子產生酸；該基板之一抗蝕劑中的光子可活化或電子可活化粒子之分佈；該基板之一抗蝕劑中的光子可活化或電子可活化粒子之密度；或其一組合。
26. 如請求項15或16之方法，其中該空中影像及/或該抗蝕劑影像為一模擬影像。
27. 一種用於識別一熱點(hot spot)之方法，其包含：
獲得一空中影像或一抗蝕劑影像之一特性之一推測變化之一值；
獲得該特性之一範圍；
獲得一變數之一值，其中該變數為模糊影像對數斜率(bl_ILS)、影像對數斜率(ILS)或正規化影像對數斜率(NILS)；
比較該推測變化之該所獲得值與該特性之該範圍；及
若該推測變化之該所獲得值超過該範圍，則將該特性識別為一熱點以供進一步處理。
28. 如請求項27之方法，該變數為該推測變化之一函數或影響該推測變化。
29. 如請求項27或28之方法，其中該推測變化之該所獲得值係自該變數之該所獲得值獲得。
30. 如請求項27或28之方法，其中該推測變化包含線邊緣粗糙度、線寬粗糙度、局域臨界尺寸均一性，或選自前述各者之任何組合。
31. 如請求項27或28之方法，其進一步包含使用一成本函數來最佳化設計變數。
32. 一種用於識別一熱點之方法，其包含：

獲得一空中影像或一抗蝕劑影像之一特性之一範圍；

基於該特性之該範圍來獲得一推測變化之一範圍或一變數之一範圍，該變數為該推測變化之一函數或影響該推測變化，其中該變數為模糊影像對數斜率(bl_ILS)、影像對數斜率(ILS)或正規化影像對數斜率(NILS)；

針對該特性來獲得該推測變化之一值或該變數之一值；

比較該推測變化之該所獲得值與該推測變化之該範圍，或比較該變數之該所獲得值與該變數之該範圍；及

若該推測變化之該所獲得值超過該推測變化之該範圍或若該變數之該所獲得值超過該變數之該範圍，則將該特性識別為一熱點以供進一步處理。

33. 如請求項32之方法，其中該推測變化之該所獲得值係自該變數之該所獲得值獲得。
34. 如請求項32或33之方法，其中該推測變化包含線邊緣粗糙度、線寬粗糙度、局域臨界尺寸均一性，或選自前述各者之任何組合。
35. 如請求項32或33之方法，其進一步包含使用一成本函數來最佳化設計變數。
36. 一種縮減(reducing)一空中影像或抗蝕劑影像之一特性之一推測變化的方法，該方法包含：
 - 自一設計佈局之一部分獲得被識別為一熱點之該特性；及
 - 藉由最佳化該設計佈局之一或多個部分來縮減該推測變化，
 - 其中最佳化該設計佈局之該一或多個部分使用至少表示該推測變化或一變數之一成本函數，且其中該變數為模糊影像對數斜率(bl_ILS)、影像對數斜率(ILS)或正規化影像對數斜率(NILS)。

37. 如請求項36之方法，其進一步包含自該設計佈局之該部分重新識別一熱點。
38. 如請求項37之方法，其進一步包含：若識別出一熱點，則改變用於該最佳化之一參數。
39. 如請求項36至38中任一項之方法，該變數為該推測變化之一函數或影響該推測變化。
40. 如請求項36至38中任一項之方法，其中該推測變化包含線邊緣粗糙度、線寬粗糙度、局域臨界尺寸均一性，或選自前述各者之任何組合。
41. 一種電腦程式產品，其包含經記錄有指令之一電腦可讀媒體，該等指令在由一電腦執行時實施如請求項1至40中任一項之方法。
42. 一種非暫時性電腦可讀媒體，其在複數個條件下及在設計變數之複數個值下具有一推測變化或一變數之值，該變數為該推測變化之一函數或影響該推測變化，該設計變數為模糊影像對數斜率 (bl_ILS)、影像對數斜率 (ILS) 或正規化影像對數斜率 (NILS)。