



(21)申請案號：100126925

(22)申請日：中華民國 100 (2011) 年 07 月 28 日

(51)Int. Cl. : **G03F7/20 (2006.01)** **G02B5/08 (2006.01)**

(30)優先權：2010/07/30 美國 61/369,142

(71)申請人：卡爾蔡司 S M T 有限公司 (德國) CARL ZEISS SMT GMBH (DE)

德國

A S M L 荷蘭公司 (荷蘭) ASML NETHERLANDS B. V. (NL)

荷蘭

(72)發明人：拜爾 諾曼 BAER, NORMAN (DE)；羅凌 伍吉希 LOERING, ULRICH (DE)；納特 奧利弗 NATT, OLIVER (DE)；威提希 蓋洛 WITTICH, GERO (DE)；勞弗提莫 LAUFER, TIMO (DE)；庫茲 彼德 KUERZ, PETER (DE)；林巴赫 奎多 LIMBACH, GUIDO (DE)；漢巴赫 史帝芬 HEMBACHER, STEFAN (DE)；瓦特霍格 WALTER, HOLGER (DE)；關彥彬 KWAN, YIM-BUN-PATRICK (GB)；荷夫 馬克斯 HAUF, MARKUS (DE)；斯帝寇 法蘭茲 荷塞夫 STICKEL, FRANZ-JOSEF (DE)；凡 沙特 珍 VAN SCHOOT, JAN (NL)

(74)代理人：林嘉興

(56)參考文獻：

EP 1372009B1

EP 1569036A2

US 2004/0165161A1

審查人員：呂燦

申請專利範圍項數：32 項 圖式數：13 共 117 頁

(54)名稱

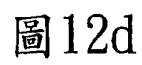
超紫外線曝光裝置

EUV EXPOSURE APPARATUS

(57)摘要

一種鏡面包含一本體及一反射表面，該本體包含具有在一零交叉溫度 T_{0k} 下為零之一溫度相依熱膨脹係數之一材料。另外，該本體之表面之至少一部分包含用於該本體之電阻性加熱之一線柵，且該鏡面適應於一 EUV 微影投影曝光系統之一投影透鏡，以在該投影透鏡曝光於 EUV 光之一曝光功率時將一主光罩上之一物場投影至一基板上之一像場上。

A mirror comprising a body and a reflective surface, the body comprising a material with a temperature dependent coefficient of thermal expansion which is zero at a zero cross temperature T_{0k} . Further, at least a part of the surface of the body comprises a wire grid for electrically resistive heating of the body and the mirror is adapted for a projection lens of an EUV-lithographic projection exposure system, for projecting an object field on a reticle onto an image field on a substrate if the projection lens is exposed with an exposure power of EUV light.

MS_k . . . 反射表面

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種在超紫外線(EUV)微影投影曝光系統中用於反射在小於50 nm之波長範圍中之光的反射光學元件。另外，本發明係關於一種用於EUV微影投影曝光系統之EUV投影透鏡，且係關於一種用以組態EUV投影透鏡之方法。

【先前技術】

為了用光學微影技術來縮減比如半導體電路(例如，積體電路、類比電路、數位電路或記憶體電路、薄膜磁頭)之微結構化器件的大小，必須進一步改良光學微影投影曝光系統之光學解析度極限。歸因於繞射，第一階近似中之解析度極限與微影投影曝光系統之投影透鏡的數值孔徑成反比，在投影透鏡的情況下藉由投影射束將結構自光罩投影至基板上，以(例如)藉由用投影射束之至少部分來曝光光敏抗蝕劑(其覆蓋基板)而在基板上形成微結構化器件。為此，一集中點係增加投影透鏡之數值孔徑。另一集中點係縮減用於投影程序之波長，此係因為光學解析度極限亦與此波長成比例。為此，光學微影系統之歷史開發係使得用於投影程序中之光的波長自可見光縮減至紫外光且現在縮減至極深紫外光(Very Deep Ultra Violet light)(VUV光，比如，193 nm，其係(例如)藉由進階ArF準分子雷射產生)。現在，VUV微影廣泛地用於半導體電路之大規模生產中。現今，高積體電路之大規模生產大多數係在微影投

影曝光系統上用193 nm之所提及波長的投影光而進行，而將光罩(或結構化物件)上之結構投影至基板上之投影系統的數值孔徑NA遠大於1.0，甚至大於1.3。此等高數值孔徑僅可藉由使用浸沒系統達成。此等系統之原理已經描述於(例如)DD 221563 A1或US 2006092533 A1中。

為了繼續縮減微結構化器件之大小，有必要進一步縮減投影光之波長。因為在極深紫外線波長範圍中幾乎所有光學材料皆變得不透明，所以對於低於約157 nm之波長，不存在適於光學透鏡之材料。在將甚至更短之波長用於投影光的情況下，投影透鏡僅可與比如鏡面之反射光學元件或繞射光學元件一起工作。在最近幾年期間，已作出巨大努力來開發光學微影投影曝光系統，其用於小於50 nm之投影程序波長。與在10 nm與14 nm之間的投影波長一起工作之系統描述於(例如)EP 1533832 A1或US 20040179192 A1中。取決於可用於此等短波長之投影光的光源，用於投影光之波長可甚至為5 nm或更小。在小於50 nm或甚至更短之此等短波長下，光學微影投影系統之投影透鏡僅包含比如鏡面之反射光學元件及/或比如反射繞射結構之繞射結構。在小於約50 nm之波長下工作的投影系統被稱作EUV(超紫外線(Extreme Ultra Violet))微影投影曝光系統。

圖1中示意性地展示簡化EUV微影投影曝光系統100。該系統包含EUV光源1，EUV光源1產生在超紫外線或EUV光譜區中(尤其是在小於50 nm之波長範圍中，較佳地在5 nm與15 nm之間的範圍中)具有顯著能量密度之EUV光。將放

電產生或雷射產生電漿光源用作EUV光源，其使用(例如)產生超紫外光之氬、錫或鋰電漿。此等光源在約 4π 立體角下輻照非偏振光。其他光源產生超紫外光之空間有向程度更高且偏振程度更高之射束，比如(例如)，同步加速器輻射源。取決於EUV光源1，尤其是若使用EUV電漿光源，則可使用收集器鏡面2以收集光源1之EUV光，以增加EUV輻射之能量密度或輻照度且形成照明射束3。照明射束3經由照明系統10而照明結構化物件M。結構化物件M為(例如)反射光罩，其包含反射及非反射或至少微小反射區以在反射光罩上形成至少一結構。或者或另外，結構化物件包含複數個鏡面或由複數個鏡面組成，複數個鏡面在至少一維度上大致並列地配置以形成比如鏡面陣列之鏡面配置。有利地，鏡面陣列之鏡面可圍繞至少一軸線調整以調整輻照於各別鏡面上之照明射束3的入射角。

應理解，術語「反射」、「微小反射」及「非反射」係與照明射束3之EUV光的反射率有關。歸因於EUV光之極短波長，若EUV光之入射角小於約 45° ，則通常塗佈反射表面。塗層較佳地包含具有預定層厚度之多層預定層材料。此等鏡面通常用於小於或遠小於 45° 下至約 0° 之入射角。對於此等鏡面，歸因於在該多層之個別層之各種材料邊界處部分地反射之反射EUV光的相長干涉，可達成大於60%之反射率。此等多層塗佈反射鏡面或表面之另外優點為其如下屬性：用作光譜濾光器，以使(例如)EUV微影投影系統之照明射束及/或投影射束更單色。在EUV微影投影曝

光系統中，塗佈鏡面有時亦被指明為正入射鏡面。

對於大於約 45° 之入射角，尤其是對於大得多之入射角(比如，約 70° 及甚至更大之角度)，反射表面包含比如鈎之金屬或金屬層或反射表面由包含(例如)鈎之金屬或金屬層組成便足夠。在此等高入射角下，反射率可增加直至60%及更大，而無需如上文所提及之多層。通常，反射率隨著入射角增加而增加，此係此等鏡面為何亦被稱作掠入射鏡面之原因。EUV微影投影曝光系統通常使用電漿光源。在此狀況下，如(例如)WO 2002/065482 A2或US 2004/0130809 A1中所描述，收集器鏡面2可為掠入射鏡面。

結構化物件M將照明射束3之部分反射至形成投影射束4之光路中。取決於光罩M上之結構，結構化物件M在照明射束3於結構化物件M上反射之後使照明射束3結構化。此投影射束4攜載結構化物件之結構的資訊且輻照至投影透鏡20中，使得結構化物件M之結構的至少兩個繞射階通過投影透鏡20且在基板W上形成結構化物件M之結構的一種類之影像。包含比如矽之半導體材料的基板W(例如，晶圓)配置於亦被稱作晶圓載物台之基板載物台WS上。

除了關於結構化物件M之結構的資訊以外，投影射束亦包含關於如下照明條件之資訊：在結構化物件M之物點OP中關於角、偏振及強度(或每單位面積之輻射功率)如何照明結構化物件M，及此等參數遍及結構化物件M之受照明表面如何分佈。照明種類係藉由術語「設定」表達。此意

謂結構化物件M上之物點OP被照明之預定義角及/或偏振及/或強度分佈，及此等分佈如何取決於結構化物件M上之空間位置。該設定亦影響藉由投影透鏡20進行之投影程序的光學解析度。一般而言，若該設定適應於結構化物件M上之結構的形狀，則光學解析度可增加。使用適應於結構化物件之照明之設定的進階照明技術描述於(例如)Wong, Alfred Kwok-Kit之「Resolution Enhancement Techniques in Optical Lithography」(ISBN 0-8194-3995-9)中。可在照明系統10(見圖1)的情況下調整照明種類(設定)，照明系統10包含複數個鏡面12、13、14、15、16。

在圖1中，作為一實例，投影透鏡20示意性地展示四個鏡面21、22、23及24作為反射光學元件以在晶圓W上形成結構化物件M之結構的一種類之影像。此等EUV投影透鏡20通常包含4至8個鏡面。然而，亦可使用僅具有兩個鏡面之投影透鏡。此等鏡面係以關於表面外形(或關於其幾何形式)及表面粗糙度之最高精確度予以製造。自所要規格之每一偏差皆引起基板或晶圓W上之影像品質的降級。通常，該規格係使得要求自表面外形(表面之形狀的所需或指定尺寸)之偏差小於所使用之投影波長的十分之一。取決於所使用之波長，鏡面21、22、23及24之表面外形必須係以甚至好於1 nm之精確度予以製造，對於一些鏡面，精確度要求甚至為5至20以上之因數，終止於遠小於一個原子層之精確度範圍，此意謂好於0.1 nm。為了用EUV微影投影技術以使得基板上之影像包含下至約10 nm之橫向尺

寸之結構或甚至具有較小橫向尺寸之結構的方式將結構自光罩投影至基板，投影透鏡20之光學像差必須小於1 nm，甚至小於0.1 nm或小於50 pm(皮米)之RMS值。此意謂實際波前自理想波前之偏差的均方根(RMS)值小於所提及值。關於表面形狀(表面外形或幾何形式)之此極高精確度必須遍及大於10 cm之鏡面尺寸得以保持。在關於表面外形之此高要求的情況下，現代EUV投影透鏡包含直徑為30 cm或甚至更大之鏡面。此極高機械精確度對於藉由用根據預定設定良好地組態之照明射束來照明結構化物件M上之受照明物點OP而由物點OP在基板W上形成像點IP係必要的。另外，為了在投影透鏡20的情況下用投影射束4之至少部分將受照明物點OP投影至基板W上，藉由照明射束3及結構化物件M之繞射屬性產生投影射束4。在基板W上形成影像之一個必要條件為：來自物點OP之繞射波前干擾基板或晶圓W上之像點IP。為了取得良好影像品質，干擾性波前必須具有遠小於投影射束光之一個波長的相對相移。歸因於各種照明設定(關於照明射束3可如何照明結構化物件M)，通過結構化物件M上之一個物點OP之光的光路可在投影透鏡20內按如下方式變化：投影射束4之光束藉由投影透鏡20之鏡面21、22、23及24以具有不同大小之不同表面區域進行反射。此變化取決於照明設定及在投影透鏡20內鏡面21、22、23、24之位置。為了確保在所有照明設定下達成影像品質，有必要以所提及之高機械精確度達成上述表面外形。

除了投影透鏡20中之鏡面21、22、23、24之表面外形的高機械精確度以外，此等鏡面21、22、23、24相對於彼此、相對於結構化物件M且相對於基板W之位置及定向亦必須在相同準確度範圍中。此意謂亦必須在奈米範圍或甚至更小之範圍中調整此等物件(鏡面21、22、23、24、結構化物件M及基板W)之位置及定向。另外，需要一種度量衡以允許製造此等精確鏡面表面、組裝EUV微影投影系統之投影透鏡、將已組裝投影透鏡整合至投影系統中，且允許在該系統之操作期間對該系統進行任何原位監視及控制。

為了達成上述機械精確度，一個另外問題為藉由鏡面21、22、23、24對投影射束4之吸收。可在高達30%之範圍中的此吸收加熱鏡面。取決於所吸收之熱，每一鏡面可歸因於鏡面之熱膨脹而變形。當吸收某一量之投影射束4時，用以在投影步驟期間縮減此等熱效應之一方法係使用溫度控制系統以保持如上文所提及之極高機械精確度資料，尤其是對於鏡面之表面外形。另一或額外方法係使用具有比如5 ppb/K(或更小)之此小熱膨脹係數(CTE)的低熱膨脹材料作為鏡面材料或作為鏡面之支撐結構，以在溫度(例如)歸因於投影射束4之部分吸收而改變時縮減鏡面之變形。此方法及具有各別小CTE之適當材料之選擇以及鏡面溫度之控制描述於(例如)US 7,295,284 B2中。

比如圖1所示之EUV微影投影曝光系統通常係在真空條件下操作。投影透鏡20及/或照明系統10係在減壓或真空

下操作。通常，照明系統及投影透鏡中之壓力條件不同。減壓或真空條件顯著地縮減關於鏡面之變形及其主動或被動位置控制之上述問題的技術解決方案。尤其，用於控制EUV微影投影曝光系統內部之組件之溫度的溫度控制系統經常限於基本上不基於熱對流原理之某些技術解決方案。

【發明內容】

本發明係有關於一種改良型EUV投影透鏡，其用以進一步縮減任何溫度變化對此投影透鏡內部之反射光學元件或鏡面之變形及/或位置變化的影響。

根據本發明之一EUV微影投影曝光系統之一投影透鏡包含鏡面及用以支撐或懸掛該等鏡面之一支撐結構。在一鏡面附近，該支撐結構處於一參考溫度下。較佳地，該參考溫度對於接近於該等鏡面之所有支撐結構部分相同，且若該等鏡面不經受比如EUV光之任何輻射，則其亦處於此參考溫度下。另外，該投影透鏡包含一加熱器及用以控制至少一可加熱鏡面之溫度的溫度控制系統。在不使該加熱器加熱之情況下，若該投影透鏡曝光於用以將一物場投影至一像場上的該EUV光之曝光功率，則該等鏡面自該參考溫度變暖達一平均溫度。更精確言之，在此曝光期間，在該鏡面上形成一溫度分佈，該溫度分佈不同於該參考溫度之恆定溫度。此溫度分佈之特徵(例如)為該平均溫度或為一最大溫度。另外，在本發明之該投影透鏡中，該至少一可加熱鏡面包含一本體，該本體包含具有在一溫度 T_{0k} (被稱作零交叉溫度)下為零之一溫度相依熱膨脹係數的一材

料。該零交叉溫度經選擇成使得其高於該參考溫度。根據本發明，在由該EUV光之該曝光功率造成的該溫度分佈之該形成之前，將該可加熱鏡面加熱及控制至選自一經判定溫度群組之一溫度。此情形具有如下優點：該可加熱鏡面之變暖時間(若該鏡面曝光於該EUV光之該曝光功率)顯著地縮減。另外，該等經判定溫度經選擇成使得在該變暖之後該鏡面之該平均溫度接近於或處於該零交叉溫度。此意謂：在一穩態條件下，該至少一可加熱鏡面具有處於或接近於該零交叉溫度之一溫度。較佳地，該投影透鏡之一個以上鏡面係可加熱的。

本發明之一另外投影透鏡(被稱作第一投影透鏡)包含具有鏡面本體之至少兩個鏡面，其中每一本體包含具有在各別零交叉溫度 T_{0m} 、 T_{0n} 下為零之一溫度相依熱膨脹係數的一材料。此等零交叉溫度 T_{0m} 、 T_{0n} 之間的差之絕對值大於6 K，且該透鏡經設計成曝光於具有在小於50 nm之一波長範圍中之一波長之EUV光的大於8 W之一曝光功率。關於各別零交叉溫度廣泛地不同之材料的選擇有利地提供如下可能性：製造針對較高曝光功率之投影透鏡，而無使該等鏡面之熱誘發性像差增加的缺點。此情形提供製造具有最小像差及高曝光功率之EUV投影透鏡的可能性。

在根據本發明之一另外投影透鏡(被稱作第二投影透鏡)中，根據亦為本發明之部分的一規則來選擇該等鏡面本體或基板之材料。至少一材料係以使得其零交叉溫度高於該鏡面在操作下可取得之最大溫度值的方式予以選擇。在一

額外加熱器的情況下，使該鏡面變暖至該零交叉溫度或接近於該零交叉溫度，此情形引起最小熱像差。該第二投影透鏡之優點為：該透鏡關於該選定曝光功率、該零交叉溫度之任何製造容差、任何選定照明設定及任何光罩圖案極敏感。

在根據本發明之一另外投影透鏡(被稱作第三投影透鏡)中，對於至少兩個鏡面，選擇用於該等鏡面本體之一材料。此材料具有在至少兩個零交叉溫度 T^1_{0mn} 及 T^2_{0mn} 下為零之一溫度相依熱膨脹係數。該投影透鏡經設計成使得若該投影透鏡經受該EUV曝光功率(此情形為在大規模生產中之投影程序所必要)，則該兩個鏡面中之一者係在該第一零交叉溫度 T^1_{0mn} 下操作或接近於該第一零交叉溫度 T^1_{0mn} 而操作，且另一鏡面係在該第二零交叉溫度 T^2_{0mn} 下操作或接近於該零交叉溫度 T^2_{0mn} 而操作。該第三投影透鏡之優點為：該透鏡需要較少不同基板材料用於其鏡面。

另外，本發明係關於一種組態一EUV投影透鏡之方法。尤其，該方法集中於選擇適於該等鏡面本體之材料，使得該透鏡之該熱像差可最小化。

本發明之另外態樣係提供各種加熱構件或調溫構件，可用該等加熱構件或調溫構件來加熱或冷卻一EUV投影透鏡中之鏡面。此等構件亦包含具有比如塗層或形狀之特性特徵之鏡面本體，該等特徵在該投影透鏡中各別鏡面之操作期間改良該各別鏡面之溫度控制。

一般而言，該EUV投影透鏡之上述鏡面亦將包含比如反

射繞射結構之任何反射元件，此係因為本發明之教示不限於鏡面。

參看以下諸圖，本發明之另外特徵及優點以及另外改良將自例示性實施例之以下詳細描述變得顯而易見，在該等圖中，相似參考字符指明相同或類似部分。然而，藉由例示性實施例對本發明之以下描述僅僅係說明性的且決不意欲限制本發明及其應用。如此描述所示，不同實施例之特徵可經交換及/或組合以取得本發明之額外實施例。

【實施方式】

為了縮減投影透鏡20(見圖1，如上文所描述)內部之鏡面或反射光學元件的變形或位置變化，且為了達成在0.1 nm或甚至更好之範圍中的表面外形準確度及位置準確度，必須使任何熱膨脹最小化。此意謂關於鏡面之表面形狀的實際表面資料及其實際位置資料必須在相對於鏡面之表面之形狀之所需或指定尺寸且相對於其所需或指定位置的指定範圍內。在投影透鏡中之此等光學元件的情況下，可產生下至約10 nm之橫向尺寸之影像結構或甚至具有更小橫向尺寸之結構。另外，對於此等光學元件(鏡面)或對於投影透鏡，光學像差小於1 nm，甚至小於0.1 nm或小於50 pm(皮米)之RMS值。此意謂實際波前自理想波前之偏差的均方根(RMS)值小於所提及值。為了使引起熱誘發性光學像差之縮減的光學元件之熱膨脹最小化，投影透鏡之複數個反射光學元件 M_i 中至少一鏡面或反射光學元件 k 的本體 MB_k 係由一材料製成或包含一材料，該材料具有在溫度 T_{0k}

下為零之溫度相依熱膨脹係數(CTE)。此溫度 T_{0k} 被稱作零交叉溫度。圖2a及圖2b中展示此等材料之實例。在EUV微影投影曝光系統中此等材料之應用(例如)描述於WO 2004/015477 A1中。取決於微影投影曝光系統100之操作溫度或此系統之反射光學元件之操作溫度，存在具有至少一零交叉溫度 T_0 之不同可用材料。因為反射光學元件之常見操作溫度係在約 0°C 直至約 100°C 之範圍中(較佳地在約 10°C 至約 60°C 之範圍中，更佳地在約 20°C 至約 40°C 之範圍中)，所以可用材料之數目極其有限。

根據圖2a，超級鍛鋼(Superinvar)(Fe-Ni-Co之合金)或ULE[®](Corning Inc.之註冊商標)為合適材料，或根據圖2b，可選擇由Zerodur[®](Schott AG之註冊商標)類型製成之材料，其係由玻璃陶瓷製成。ULE[®]為氧化鈦矽酸鹽玻璃，其為 SiO_2 與 TiO_2 之玻璃質混合物。在第一階近似中，在各別零交叉溫度附近的ULE[®]及Zerodur[®]之CTE值可藉由方程式 $\text{CTE}(T)=a_1(T-T_0)$ 近似，見(例如)圖2a及圖2b。對於ULE[®]，常數或斜率 a_1 為正。此意謂：若材料(由ULE[®]製成)之溫度 T 低於 T_0 ，則材料隨著溫度增加而收縮，且若其溫度 T 高於 T_0 ，則材料膨脹。對於Zerodur[®]，常數或斜率 a_1 在室溫之範圍中為負，如圖2b所示。此意謂：若溫度 T 低於 T_0 ，則材料隨著溫度增加而膨脹，且若溫度高於 T_0 ，則材料收縮。在較高溫度下，存在第二零交叉溫度 T^2_0 ，其中正常數或斜率 a_2 係在近似 $\text{CTE}(T)=a_2(T-T^2_0)$ 中。此意謂材料關於熱收縮及熱膨脹表現為類似於ULE[®]。在圍繞

零交叉溫度之某一溫度範圍中，ULE[®]及Zerodur[®]具有在下至零之ppb/K(10^{-9} /K)範圍中之CTE值。此意謂：若溫度改變達一個克耳文(Kelvin)(1 K)，則由具有約1 ppb/K之CTE值之材料製成的(例如)約100 mm厚度之本體膨脹或收縮約0.1 nm。對於超級鍛鋼，圍繞零交叉溫度之溫度範圍必須小得多以達成1 ppb/K之有效CTE值。此情形引起關於溫度控制系統之額外努力，此係超級鍛鋼為何比ULE[®]及/或Zerodur[®]更不適於用作EUV微影中(尤其是EUV微影曝光系統100之投影透鏡20中)之反射光學元件之基板材料的一態樣。

一般而言，熱變化或溫度變化影響光學成像系統之像差或影像缺陷。然而，改變達(例如)空間溫度分佈之溫度偏移 ΔT 的總體溫度改變或均勻溫度改變(其使溫度自 $T(x,y,z)$ 改變至 $T(x,y,z)+\Delta T$ (x 、 y 及 z 指明空間座標))僅具有對用於VUV微影中之折射透鏡元件的小影響。此係因為透鏡元件中之總體折射能力改變及折射透鏡之表面外形之改變歸因於折射材料之幾乎恆定的熱膨脹係數(CTE)而為可忽略的。

在EUV微影投影系統(其中如(例如)圖2a及圖2b所示，比如鏡面之反射光學元件係由包含強烈地取決於溫度 T 之熱膨脹係數 $CTE(T)$ 的材料製成)中，甚至如所提及之均勻溫度改變仍具有對光學系統之像差值的強烈影響。基於本發明人之分析，關於圖3a及圖3b更詳細地示意性地解釋此情形。

圖 3a 示意性地展示比如具有本體 MB_k 及反射表面 MS_k 之鏡面 M_k 之反射光學元件的側視圖。鏡面 M_k 具有空間溫度分佈 $T(x,y,z)$ 。若鏡面本體 MB_k 包含具有零交叉溫度之材料，則溫度分佈 $T(x,y,z)$ 通常不同於零交叉溫度。若溫度分佈改變達恆定值 ΔT ，則在(例如)溫度升高至較接近於零交叉溫度時，在(例如) Zerodur[®] 用於斜率 a_2 (在近似 $CTE(T)=a_2 (T-T_0^2)$ 中)為負的溫度型態中的情況下，鏡面將膨脹成具有本體 MB_k^* 之鏡面 M_k^* 。然而，不管膨脹如何，在第一近似中，表面 MS_k 之表面外形皆不改變其形狀，但經膨脹鏡面 M_k^* 之表面 MS_k^* 改變其位置。其(例如)在 z 方向上移位達如圖所示之值 Δz 。反射表面之此位置改變可容易地藉由受熱鏡面 M_k^* 之平移移動校正。在此狀況下，影像缺陷或光學像差幾乎未改變。

圖 3b 示意性地展示具有溫度分佈 $T(x,y,z)=T_{Ref}$ (其被稱作參考溫度)之鏡面 M_k 的情形。另外，作為一實例，鏡面沿著鏡面本體 MB_k 之 x 維度在自 x_1 至 x_2 之表面區域中局部地受熱，如藉由加至參考溫度 T_{Ref} 之溫度剖面或溫度分佈 $\Delta T(x)$ (具有最大溫度 ΔT_{max}) 所示。在此狀況下，參考溫度 T_{Ref} 意謂：在此溫度下，鏡面具有參考形狀，其反射表面 MS_k 亦具有參考表面外形。歸因於熱膨脹之任何偏差皆係與此等參考形狀及表面外形有關。另外假定：區間 $[x_1, x_2]$ 相比於在 x 方向上鏡面本體之尺寸較小。若鏡面本體自參考溫度 T_{Ref} 變熱達溫度剖面 $\Delta T(x)$ ，且若其係由具有在溫度 T_0 下為零之溫度相依熱膨脹係數的材料(比如圖 2a 及圖

2b所示之 Zerodur[®]或 ULE[®])製成，且作為一實例，若鏡面本體之最大溫度(被給定為 $T_{\text{Ref}} + \Delta T_{\text{max}}$)歸因於加熱而低於零交叉溫度 T_0 且高於參考溫度 T_{Ref} ，則在座標 x_1 與 x_2 之間的鏡面之反射表面相比於在參考溫度下之表面將收縮。在(例如)使用 ULE[®]時為此狀況。在圖 3b 中，表面外形之改變係藉由 MS_k^* 示意性地展示， MS_k^* 可與在參考溫度 T_{Ref} 下之參考表面外形 MS_k 進行比較。L1 及 L2 指明在參考溫度 $T(x,y,z)=T_{\text{Ref}}$ 下本體之座標，其引起在 x 方向上本體之長度 $L_0(T_{\text{Ref}})=(L_2-L_1)$ 。為了更詳細地解釋此變形，參看圖 3c。

圖 3c 示意性地展示以 ppb(十億分點，意謂呈 10^{-9} 之值)為單位的具有長度 L_0 之本體 MB_k (比如，結合圖 3b 所提及之本體)隨溫度而變的長度之相對改變 $\Delta L/L_0$ 。選擇 $T_{\text{Ref}}=22^\circ\text{C}$ 作為參考溫度。此意謂長度 L_0 為在 22°C 下之長度。作為一實例，將零交叉溫度 T_{0k} 設定為 25°C ，其比參考溫度高 3 K。曲線 301 示意性地展示針對 ULE[®] 之相對長度改變，且曲線 302 示意性地展示針對 Zerodur[®] 材料之情形，該材料經選擇成亦具有在約 25°C 下之零交叉溫度 T_0 且具有用於 CTE 近似 $\text{CTE}(T)=a_1 * (T-T_0)$ 之負斜率 a_1 。若(例如)鏡面本體 MB_k 係由 ULE[®] 製成且該鏡面本體之溫度經選擇成在溫度區間 T_{Ref} 與 $(2T_{0k}-T_{\text{Ref}})$ 內，則該鏡面本體將相對於在參考溫度下之鏡面本體收縮。在鏡面本體係由 Zerodur[®] 製成之狀況(見曲線 302)下，則該鏡面本體將相對於在參考溫度下之本體膨脹(如可自圖 3c 看出)。若鏡面表面具有類似於圖 3b 所示之溫度剖面的溫度剖面，則(在第一近似中)在 L1 與 x_1 之間

的鏡面表面區不會歸因於熱膨脹而改變。在 x_2 與 L_2 之間的區亦不會改變，此係因為彼處之溫度處於參考溫度或接近於參考溫度。在 x_1 與 x_2 之間的區中，鏡面本體將膨脹或收縮，此係因為溫度不同於參考溫度。在此區中發生膨脹或是收縮取決於材料且取決於絕對溫度剖面 $\Delta T(x) + T_{Ref}$ 及零交叉溫度 T_{0k} 相對於彼此之位置。溫度剖面之平均溫度 ΔT_{av} 被給定為 $\Delta T_{av} = (\int \Delta T(x) dx \big|_{x_1}^{x_2}) / (x_2 - x_1)$ ，其中積分極限為 x_1 及 x_2 。若絕對溫度剖面 $\Delta T(x) + T_{Ref}$ 大致等於零交叉溫度 T_{0k} ，則不存在區間 $[x_1, x_2]$ 之膨脹或收縮。然而，在此區間內，若存在溫度剖面 $\Delta T(x)$ 之局部溫度變化，則仍存在可能在低於此區間之規模上的表面變形(圖 3b 中未圖示)。在 $T_{av} + T_{Ref} = T_{0k}$ 之狀況下，表面外形變形最小化，且在區間 $[x_1, x_2]$ 之規模上，其可被忽視。在此狀況下，像差或影像缺陷最小化。在其他狀況下，若平均溫度不為零交叉溫度，且若鏡面本體 MB_k 在區間 $[x_1, x_2]$ 內收縮，則反射表面之表面外形改變(如圖 3b 示意性地所示)，其被指明為 MS_k^* 。在膨脹之狀況下，反射表面改變至 MS_k^{**} ，此情形亦引起表面外形改變。在兩種狀況下，像差及成像缺陷皆將增加。在圖 3b 中，作為一實例，絕對平均溫度低於零交叉溫度，但在參考溫度 T_{Ref} 及藉由 $2T_0 - T_{Ref}$ 給出之溫度內，從而對於圖 3a 之鏡面本體 MB_k 引起針對 ULE° 之表面變形 MS_k^* 及針對 $Zerodur^{\circ}$ 之表面變形 MS_k^{**} 。應提及，若鏡面均勻地加熱至約溫度 $T = (2T_0 - T_{Ref})$ ，則鏡面具有與在參考溫度 T_{Ref} 下之尺寸及表面外形相同的尺寸及表面外形，此

情形不引起由加熱造成之額外像差或影像誤差。在熱膨脹對像差之影響的上述簡化解釋中，存在比如空間溫度剖面之各種簡化，此係假定僅在x方向上存在溫度變化且其他維度保持於參考溫度 T_{Ref} 下，且鏡面本體係由在零交叉溫度中不具有變化(此意謂零交叉溫度在鏡面之x、y及z方向上不變化)之材料製成。對於實務設計，為了最佳化反射表面及其他鏡面參數(比如，零交叉溫度或在給定熱負荷下操作之鏡面之操作溫度)，更複雜之模擬計算或有限元計算係必要的。根據本發明，鏡面之操作溫度及零交叉溫度應經選擇成使得不同於鏡面或反射光學元件之參考溫度 $T_{Ref}(x,y,z)$ 的絕對溫度剖面 $\Delta T(x,y,z)+T_{Ref}$ 應圍繞零交叉溫度 T_0 對稱。對於一個維度(例如，在x方向上)，此意謂為 $\Delta T_{av}+T_{Ref}=(\int \Delta T(x) dx \big|_{x_1}^{x_2})/(x_2-x_1)+T_{Ref}=T_0$ 。

若溫度剖面 ΔT 在一個以上維度上變化，例如，若 $\Delta T=\Delta T(x,y,z)$ ，則在每一維度上進行積分以取得平均溫度，此意謂 $T_{av}=(\iiint \Delta T(x,y,z) dx dy dz \big|_{x_1}^{x_2} \big|_{y_1}^{y_2} \big|_{z_1}^{z_2})/(x_2-x_1)/(y_2-y_1)/(z_2-z_1)$ ，其中 y_1 、 y_2 及 z_1 、 z_2 為在y及z方向上之各別鏡面邊緣。或者，分離地計算針對每一維度之平均溫度。在此狀況下，可進行零交叉溫度至一個別平均溫度或至兩個個別平均溫度之最佳化，該等平均溫度係與針對像差最相關之維度有關。

另外，根據本發明，對於具有零交叉溫度的EUV投影透鏡之每一鏡面，零交叉溫度之最佳化可適應於預期絕對平均溫度 $\Delta T_{av}+T_{Ref}=T_0$ 。或者，藉由(例如)在至少一維度上

用加熱構件來均勻地加熱鏡面本體而使預期絕對平均溫度均勻地升高至鏡面材料之零交叉溫度。因為最後方法提供更多靈活性(其將在下文予以論述)，所以此方法係較佳的。

圖3d至圖3f展示如用於投影透鏡20(圖1)中之EUV鏡面的更現實之溫度分佈。在圖3d中，自頂部展示具有尺寸之鏡面 M_k 。對於此鏡面之溫度分佈以及各別像差的模擬，使用具有6個鏡面($k=1$ 至6)之EUV投影透鏡，如圖6所示。圖3d至圖3f中展示針對鏡面24(見圖6)或 M_4 之結果，鏡面24或 M_4 為在主光罩之後的第四鏡面，其係在投影射束之方向上予以計數。下文展示及解釋具有6個鏡面之EUV透鏡。在圖3d中，用灰色陰影圖案來展示溫度分佈。溫度自鏡面周邊自 22°C (其為參考溫度 T_{Ref})增加直至在中間黑點中之約 $T_{\text{Ref}} + \Delta T_{\text{max}}(x) = 24^{\circ}\text{C}$ 。圖3e展示與參考溫度之溫度差作為以溫度最大值 ΔT_{max} 為轉折點的鏡面沿著 x 方向之溫度剖面 $\Delta T(x)$ 。圖3f展示與參考溫度之溫度差作為以最大溫度 ΔT_{max} 為轉折點的鏡面沿著 y 方向之溫度剖面 $\Delta T(y)$ 。鏡面之不均勻溫度剖面引起如上文所解釋的鏡面表面之變形。此等變形引起造成影像誤差或缺陷之像差。圖3g中展示此情形，圖3g中給出鏡面 M_4 之任尼克係數(Zernike-coefficient)的值。此等係數為產生像點IP(見圖1)之影像平面中理想球面波前之偏差的數量或量測值。

為了取得任尼克係數，在一系列任尼克函數中展開一波前。一理想球面波僅僅具有第一任尼克係數，且所有其他

係數皆為零。因此，高於2之任尼克係數之值為各種成像誤差之量測值，且此等係數愈大，則光學成像系統之光學像差愈大。

在圖3g中，對於每一任尼克係數，給出兩個值。左邊之值(條)為在不具有鏡面之額外加熱之情況下的值。藉由右邊之條給出的右邊之值為在具有鏡面之額外均勻加熱之情況下的值。現在更詳細地解釋此情形。在此實例中，鏡面 M_4 具有由零交叉溫度為 25°C 之ULE[®]製成的鏡面本體。參考溫度為 $T_{\text{Ref}}=22^{\circ}\text{C}$ 。此意謂：在不具有EUV光之情況下，鏡面之溫度處於 22°C 。較佳地，在此溫度下，像差最小化。若接通EUV光以將物點OP投影至像點IP，則鏡面變熱且發生像差，如藉由圖3g中各別左邊之條所示。若鏡面 M_4 在接通EUV光之前另外均勻地加熱達 2°C 而處於 24°C ，則在接通EUV光之後的像差引起顯著地低於左邊之條的右邊之條。此意謂EUV透鏡之像差可藉由至少一透鏡鏡面之均勻加熱而顯著地縮減。

圖3h至圖3l展示如用於投影透鏡20(圖1)中之EUV鏡面的另外現實之溫度分佈。在圖3h中，類似於圖3d來展示圖6之EUV投影透鏡之鏡面 M_6 。對於此鏡面之溫度分佈以及各別像差的模擬，使用具有6個鏡面之EUV投影透鏡，如針對圖3d至圖3g且如圖6所示。圖3h至圖3l中展示針對鏡面26(見圖6)或 M_6 之結果，鏡面26或 M_6 意謂在主光罩之後的第六鏡面，其係在投影射束之方向上予以計數。溫度自鏡面周邊自 22°C (其為參考溫度 T_{Ref})增加直至在左邊及右邊

之黑點中間的約 1.2°C 。圖3i展示以溫度最大值為轉折點的沿著鏡面之x方向之溫度剖面，其中給出與參考溫度之溫度差 $\Delta T(x)=T(x)-T_{\text{Ref}}$ 。圖3k展示以在x方向上之最大值之間的最小溫度為轉折點的在y方向上與參考溫度之溫度差 $\Delta T(y)=T(y)-T_{\text{Ref}}$ 。鏡面之不均勻溫度剖面再次引起鏡面之變形。圖3l中給出此鏡面之任尼克係數的值。左邊之值(條)再次為在不具有鏡面之額外加熱之情況下的值。右邊之值為在具有鏡面之額外加熱之情況下的值。鏡面 M_6 亦具有由零交叉溫度為 25°C 之ULE[®]製成的鏡面本體。參考溫度亦為 $T_{\text{Ref}}=22^{\circ}\text{C}$ 。此再次意謂：在不具有EUV光之情況下，鏡面之溫度處於 22°C 。較佳地，在此溫度下，像差最小化。若接通EUV光以(例如)將物點OP投影至像點IP，則鏡面變熱且發生像差，如藉由圖3l中各別左邊之條所示。若鏡面 M_6 在接通EUV光之前自參考溫度 T_{Ref} 另外均勻地變熱達 3.8°C 而處於 25.8°C ，則在接通EUV光之後的像差引起顯著地低於左邊之條的右邊之條。此再次意謂EUV透鏡之像差可藉由投影透鏡之至少一透鏡鏡面之均勻加熱而顯著地縮減。

參看圖4，給出具有鏡面安裝之鏡面及參考溫度 T_{Ref} 之涵義的更詳細描述。如上文參看圖1或圖6所描述之投影透鏡20包含鏡面21、22、23、24(25、26)，或一般而言，包含複數個反射光學元件 M_i ，每一反射光學元件包含一本體 MB_i 及一反射表面 MS_i ，以在投影透鏡20曝光於具有在小於50 nm之波長範圍中之波長之EUV光之曝光功率時，將

主光罩上或結構化物件M上之物場之至少一物點OP投影至基板或晶圓W上之像場中的像點IP。較佳地，使用約13 nm之波長。EUV光在主光罩M藉由EUV微影投影曝光系統100之照明系統10的照明之後自主光罩M反射。另外，投影透鏡20包含用於被動地或主動地支撐反射光學元件 M_i (例如，鏡面21、22、23、24)之支撐結構。支撐結構或支撐結構之至少一部分的溫度處於參考溫度 T_{Ref} 。圖4中更詳細地展示此情形，圖4示意性地展示用於鏡面421之鏡面安裝總成400，鏡面421表示來自複數個反射光學元件 M_i 之一個反射光學元件 M_k ，該複數個反射光學元件用於EUV微影投影曝光系統100(圖1)中，且如(例如)WO 2005/026801 A2中所描述。鏡面421包含鏡面本體 MB_k ，其係由Zerodur[®]或ULE[®]製成，或由包含(例如)材料Zerodur[®]或ULE[®]中之一者的材料製成，或由具有至少一零交叉溫度之材料製成。鏡面421亦包含反射表面450，其中可選多層預定層材料具有預定層厚度以改良EUV光之投影射束4(圖1)的反射率。鏡面本體 MB_k 係藉由支撐元件480支撐。作為一實例，鏡面421係藉由三個安裝或鏈接點451、452、453支撐或懸掛。在此等安裝點中每一者處，鏡面本體 MB_k 係用雙腳架結構461、462、463而與鏈接元件471、472、473連接以達成運動安裝台，該運動安裝台固持鏡面421，使得幾乎無寄生力及/或力矩自支撐元件480轉移至鏡面。通常但未必，此等雙腳架結構中至少一者可包含一致動器件。支撐元件480固定於投影透鏡20之外殼結構481處。外

殼結構有時亦被稱作投影光學盒或POB。根據本發明，較佳地選擇以下元件中之一者作為具有經界定或經控制之參考溫度 T_{Ref} 的支撐結構：鏈接點451、452、453；鏈接元件471、472、473；雙腳架結構461、462、463；支撐元件480；或外殼結構481。選定支撐結構尤其亦取決於用於EUV微影曝光系統中之溫度控制系統。為此，在圖4中，所有此等元件皆係用 T_{Ref} 指明，此未必意謂所有此等元件皆在投影系統100之操作期間具有相同溫度。

根據本發明，參考溫度 T_{Ref} 為在以下兩種操作模式中支撐反射光學元件421之選定支撐元件之溫度：EUV微影曝光系統之一操作模式，其中切斷EUV光；或一操作模式，其中EUV光之功率小於曝光功率之約10%，該曝光功率在EUV微影曝光系統之大規模生產操作模式中通常用於將主光罩上之物場投影至基板上之像場上。此參考溫度 T_{Ref} 通常經選擇成接近於供操作投影透鏡20之清潔室之室溫，此意謂參考溫度係在約20°C至24°C之範圍中，較佳地為22°C。在大多數EUV微影投影曝光系統中，額外溫度控制系統控制參考溫度 T_{Ref} ，使得此溫度在投影透鏡20之操作期間亦恆定。通常，此溫度為外殼結構481及/或支撐元件480(圖4)之溫度，其為(例如)22°C，如在圖3中所選擇。根據本發明，較佳地，該等溫度經選擇成使得零交叉溫度 T_{0k} 高於參考溫度。此情形具有如下優點：鏡面或反射光學元件不必冷卻至低於參考溫度 T_{Ref} 之溫度以在零交叉溫度附近操作鏡面。避免EUV投影透鏡中之鏡面之冷卻為一

優點，此係因為透鏡係在真空中操作，在真空中，鏡面之冷卻在技術上困難或昂貴。

另外，根據本發明，如圖5所示，投影透鏡20包含用以加熱至少一光學元件 M_k 之加熱器300，且投影透鏡20包含用以將至少一光學元件 M_k 之溫度控制至溫度 T_k 的溫度控制系統200，在圖5中，相似參考符號指明與圖4中相同或類似的部分。在可加熱光學元件 M_k 上，當投影透鏡曝光於曝光功率時，且在加熱器300未被啟動或加熱時，形成相對於參考溫度之空間溫度分佈 $\Delta T(x,y,z)=(T(x,y,z)-T_{Ref})$ 。此分佈具有如上文所界定之平均溫度 ΔT_{av} 。

至少一受熱光學元件 M_k 可以與圖4所示之方式相同的方式連接至支撐結構。另外，至少一受熱反射光學元件 M_k 之鏡面本體 MB_k 包含具有在溫度 T_{0k} (此溫度亦被稱作零交叉溫度)下為零之溫度相依熱膨脹係數的材料，溫度 T_{0k} 高於參考溫度 T_{Ref} 。歸因於 $T_{Ref}=22^{\circ}\text{C}$ 之較佳參考溫度，較佳零交叉溫度 T_{0k} 在 22°C 與約 70°C 之間。如已提及，此等材料為(例如)Zerodur[®]或ULE[®]。至少一溫度受控或可加熱光學元件 M_k 之溫度 T_k 與零交叉溫度 T_{0k} 及與參考溫度 T_{Ref} 之關係係使得 T_k 係選自由以下各者組成之群組： $T_k=T_{0k}-\Delta T_{av}$ ； $T_k=2*T_{0k}-T_{Ref}-\Delta T_{av}$ ； $T_k=T_{Ref}+3*(T_{0k}-T_{Ref})/2-\Delta T_{av}$ ； $T_k=T_{0k}-\Delta T_{max}$ ； $T_k=2*T_{0k}-T_{Ref}-\Delta T_{max}$ ； $T_k=T_{Ref}+3*(T_{0k}-T_{Ref})/2-\Delta T_{max}$ 。此溫度 T_k 較佳地係在光學元件 M_k 上形成溫度分佈 $\Delta T(x,y,z)$ 之前達成，而溫度分佈起因於當光學元件在投影系統之操作模式期間經受EUV光時之加熱。此情形具有如

下優點：反射元件 M_k 如此接近於零交叉溫度以致於藉由鏡面或反射元件 M_k 吸收之投影射束之EUV光將使反射元件 M_k 變熱至約零交叉溫度。本發明之優點為：可相當自由地選擇零交叉溫度，此係因為加熱器300之應用允許鏡面可在投影程序期間於有利之零交叉溫度下操作。作為一替代例，若 ΔT_{av} 小(比如，約1 K)，則 T_k 亦可為零交叉溫度 T_0 。

此意謂溫度 T_k 藉由溫度控制系統200用加熱器300而控制至此溫度(見圖5)。較佳地，加熱器將鏡面 M_k 均勻地加熱至此恆定溫度值。溫度 T_k 為在EUV光之功率切斷的EUV微影曝光系統之操作模式中鏡面 M_k 之操作溫度。在將EUV光之功率切換至在微影曝光系統之大規模生產操作模式中通常用於將主光罩上之物場投影至基板上之像場上的曝光功率的情況下，則反射光學元件或鏡面 M_k 之溫度增加達平均溫度 ΔT_{av} 以達到或接近於零交叉溫度 T_0 。如所提及，較佳地，在接通EUV光之前，已經將溫度 T_k 控制至其值。在一較佳實施例中，加熱器經控制成使得鏡面 M_k 所經受之熱能恆定。此意謂：若(例如)鏡面吸收某其他能量(例如，某EUV光)，則加熱器縮減其加熱功率，使得至鏡面上之熱能的總輸入在時間方面恆定。此情形引起鏡面之平均溫度在時間方面亦恆定或幾乎恆定。下文將給出 T_k 之各種較佳值的更詳細描述。

可在反射表面 MS_k 處或在鏡面本體 MB_k 處控制溫度 T_k 。對於大多數實務狀況，溫度 T_{0k} (零交叉溫度)、鏡面 M_k (或一般而言，反射光學元件)之操作溫度 T_k 及支撐結構之參

考溫度 T_{Ref} 以及平均溫度 ΔT_{av} 之間的上述給定關係引起反射光學元件 M_k 之極小長度變化或表面外形變化，且像差或影像誤差顯著地縮減，如圖 3g 及圖 3l 所示，其中溫度 T_k 經控制至約 $T_k = T_{0k} - \Delta T_{av}$ 及 $T_k = T_{Ref} + 3 * (T_{0k} - T_{Ref}) / 2 - \Delta T_{av}$ 。

方程式 $T_k = T_{Ref} + 3 * (T_{0k} - T_{Ref}) / 2 - \Delta T_{av}$ 亦考慮在鏡面之厚度或 z 方向上亦存在溫度分佈，而非僅在鏡面之表面上存在溫度分佈。若假定在反射表面之側上存在溫度 T_k (例如，在鏡面之周邊處)，且若在鏡面之背面處歸因於 (例如) 亦處於參考溫度 T_{Ref} 之支撐結構之任何熱傳導而存在此溫度，則藉由 $T_k = 2 * T_{0k} - T_{Ref} - \Delta T_{av}$ 給出 T_k 之良好溫度。然而，溫度控制系統之準確度或溫度 T_k 可被控制之準確度亦將影響像差或成像誤差。若反射光學元件 M_k 之本體 MB_k 之溫度的準確度歸因於溫度控制及其他系統變化而在 ± 1 K 內，則長度之相對改變通常小於約 10 ppb，如可藉由圖 3c 中之參考數字 303 示意性地看出。然而，此情形假定操作溫度可經選擇成在約 $T_{Ref} + (T_{0k} - T_{Ref}) / 2$ 與 $T_{Ref} + 3 * (T_{0k} - T_{Ref}) / 2$ 之間。如可自圖 3c 看出，若操作溫度過於接近於參考溫度 T_{Ref} ，或一般而言，過於遠離於零交叉溫度 T_{0k} ，則長度之相對改變遠大於 10 ppb，如藉由參考數字 304 及 305 所示。在此等狀況下，存在歸因於本體 MB_k 之變形之鏡面變形的顯著風險，從而引起系統之光學效能的惡化。為此，操作溫度 $T_k = T_{0k} - \Delta T_{av}$ 及 $T_k = T_{Ref} + 3 * (T_{0k} - T_{Ref}) / 2 - \Delta T_{av}$ 係較佳的，尤其是在其處於區間 $[(T_{Ref} + T_0) / 2 ; T_{Ref} + 3 * (T_{0k} - T_{Ref}) / 2]$ 內時。

另外，有利的是選擇一材料，使得用於鏡面本體 MB_k 之

材料的零交叉溫度高於根據用於投影透鏡之設計之任何設計計算或模擬的零交叉溫度。在此等計算中，可考慮外界溫度之任何波動、針對透鏡設計之設計假定之變化、EUV光源以及主光罩反射之變化，此情形引起當設計EUV投影透鏡時鏡面 M_k 之最大或平均溫度的計算。若零交叉溫度經選擇成比計算值高若干克耳文，則EUV透鏡可在所有條件下於接近於零交叉溫度之較佳溫度下操作，在零交叉溫度下，像差最小化。鏡面之此操作溫度可藉由用加熱器300及控制器200進行之均勻且受控的加熱達成。對於加熱器300，可使用各種實施例。實例為經形成為金屬板且經配置成接近於鏡面(較佳地接近於鏡面之背面)之加熱元件。此等板被電加熱。或者或另外，電加熱元件直接地接觸鏡面本體。另外替代或額外加熱器包含供照明鏡面或反射元件之紅外線源。

另外，溫度控制系統200可包含在一個或若干位置處直接地量測鏡面溫度 T_k 之感測器。在本發明之另外實施例中，藉由溫度控制系統控制的至少一光學元件 M_k 之溫度 T_k 可為光學元件 M_k 之反射表面 MS_k (圖5)的溫度 T_{MSk} 或光學元件 M_k 之本體 MB_k 的溫度 T_{MBk} 。或者， T_k 可為藉由本體 MB_k 之溫度 T_{MBk} 及/或反射表面 MS_k 之溫度之函數給出的溫度。另外，反射表面之溫度 T_{MSk} 可為平均表面溫度。此求平均可(例如)藉由用紅外線相機或藉由空間解析高溫計來量測表面溫度而進行。又，本體之溫度 T_{MBk} 可為在本體 MB_k 處之複數個空間位置處所量測之複數個溫度的平均溫度。較

佳地，供量測鏡面本體之溫度的空間位置或空間位置之子集經配置成接近於反射表面。藉由控制器200，可自反射表面及/或本體之溫度的量測計算溫度值或控制參數。作為一另外替代例，如上文所提及，控制系統之溫度 T_k 係選自本體 MB_k 或反射表面 MS_k 之空間溫度分佈。取決於光學元件 M_k 之溫度是否在一個或若干位置處予以量測且溫度控制系統是否包含用於溫度信號之一或多個輸入通道，選擇所提及之溫度控制選項中之一者。作為一替代例或另外，可判定光學像差，且溫度控制器200控制鏡面溫度，使得像差變成最小值。對於溫度控制或像差之控制，未必必須明確地判定溫度 T_k 。又，可使用以模型為基礎之控制器以控制鏡面之溫度或轉移至鏡面的加熱器之熱量。該模型可考慮比如透鏡所曝光之EUV光之功率、供照明主光罩之照明設定、主光罩上之結構及透鏡之光學像差的參數。

在一另外實施例中，受照明主光罩之EUV光包含根據照明設定之角、偏振及強度之空間分佈。此情形通常引起相對於參考溫度 T_{Ref} 之空間溫度分佈 $\Delta T(x,y,z)=(T(x,y,z)-T_{Ref})$ 。此溫度分佈通常具有平均溫度 ΔT_{kav} 及最大溫度 $\Delta T_{kmax}=(T_{Ref}+\Delta T_{kmax})$ 。應提及，當投影透鏡曝光於曝光功率而不使加熱器加熱時，此溫度分佈形成於可加熱光學元件 M_k 之反射表面 MS_k 上。

作為溫度 T_k 之上述選擇的替代例，在判定溫度分佈之後，將溫度 T_k 選擇為 $T_k=(T_{0k}+T_{Ref}+\Delta T_{kmax})/2$ 。取決於 ΔT_{kmax} ，此選擇具有如下優點：在零交叉溫度高於最大溫

度 $T_{k\max}=T_{\text{Ref}}+\Delta T_{k\max}$ 之狀況下，受熱光學元件經加熱成接近於零交叉溫度。如上文所提及，在接通投影射束4之EUV光之功率之前， T_k 可為光學元件 M_k 之本體 MB_k 的溫度 T_{MBk} 、藉由本體 MB_k 之溫度 T_{MBk} 之函數給出的溫度，及反射表面 MS_k 之溫度 T_{MSk} ，或選自本體 MB_k 或反射表面 MS_k 之空間溫度分佈的溫度。

在根據本發明之投影透鏡之另外實施例中，在投影透鏡經受EUV光之曝光功率之前的時間，藉由用第一加熱功率使加熱器加熱而將光學元件 M_k 之溫度 T_k 控制至其值。此情形具有如下優點：在曝光於EUV光下之前光學元件之操作溫度 T_k 極接近於在曝光期間之操作溫度。此情形引起像差誤差隨曝光時間而變之改變可顯著地縮減，且投影系統在穩態工作條件下快得多，在穩態工作條件下，成像品質將幾乎不改變。較佳地，在曝光期間(在使投影透鏡經受EUV光之曝光功率的時間期間)，加熱器之加熱功率小於第一加熱功率。此情形係為了防止光學元件 M_k 之變暖。

在根據本發明之投影透鏡之另外實施例中，使用用於將第二光學元件 M_{2k} 加熱至溫度 T_{2k} 之第二加熱器，其中第二光學元件 M_{2k} 之本體 MB_{2k} 亦包含具有在高於參考溫度之溫度 T_{02k} 下為零之溫度相依熱膨脹係數的材料。在第二光學元件上，當投影透鏡曝光於曝光功率而不使第二加熱器加熱時，形成相對於參考溫度 T_{Ref} 之第二空間溫度分佈 $\Delta T_2(x,y,z)=(T_2(x,y,z)-T_{\text{Ref}})$ ，其具有平均溫度 ΔT_{2av} 及最大溫度 $\Delta T_{2\max}$ 。類似於上述實施例，亦結合圖3c，根據與上

文針對第一受熱鏡面 M_k 之操作溫度 T_k 所描述之關係相同的關係來選擇第二光學元件 M_{2k} 之溫度 T_{2k} 。此意謂第二光學元件 M_{2k} 之操作溫度 T_{2k} 較佳地係選自由以下各者組成之群組：

$$T_{2k}=T_{02k}-\Delta T_{2av} ; T_{2k}=2*T_{02k}-T_{Ref}-\Delta T_{2av} ; T_{2k}=T_{Ref}+3*(T_{02k}-T_{Ref})/2-\Delta T_{2av} ; T_{2k}=T_{02k}-\Delta T_{2max} ; T_{2k}=2*T_{02k}-T_{Ref}-\Delta T_{2max} ; T_{2k}=T_{Ref}+3*(T_{02k}-T_{Ref})/2-\Delta T_{2max}。$$

接著，在接通投影射束4之EUV光之功率之前，光學元件或鏡面 M_{2k} 為或較佳地加熱至此溫度 T_{2k} 。在此實施例中，本體 MB_{2k} 之材料可與第一光學元件之本體 MB_k 的材料相同或不同。在相同材料之第一狀況下，較佳地，可選擇相比於第一反射元件 M_k 具有不同零交叉溫度之材料，使得CTE(T)函數(見(例如)圖2b)在各別零交叉溫度下具有斜率之不同代數正負號。此情形要求材料包含至少兩個零交叉溫度 T_0 及 T_{02} ，如圖2b中針對Zerodur[®]材料所示。用於不同材料之實例為針對一光學元件使用ULE[®]且針對另一光學元件使用Zerodur[®]。又，在此狀況下，較佳地，在各別零交叉溫度下斜率之代數正負號不同。此情形有利地可用作縮減像差之另外措施，如(例如)WO 2005/040924 A1中所描述。

圖6展示EUV投影透鏡之額外示意性配置，該EUV投影透鏡包含6個鏡面作為反射光學元件 M_1 至 M_6 ，該等鏡面分別係用參考數字21、22、23、24、25及26指明。在圖6中，相似參考數字指明與圖1中相同或類似的部分。另外，對該等鏡面編號，此係因為其配置於自主光罩M至晶圓W的投影射束4之下游方向上。若如(例如)圖1或圖6所示

之此EUV投影透鏡20曝光於EUV光以將物點OP投影至晶圓W上之像點IP，則個別鏡面變暖。較佳地，在接通EUV光之前，此等鏡面處於(例如)22°C之參考溫度 T_{Ref} 。圖7展示在圖6之投影透鏡20曝光於在主光罩M之後具有16 W之功率的投影射束4時此透鏡之6個鏡面之變暖的實例。為了產生此功率，大於1 kW之光源功率對於光源1(見圖1)係必要的。所示圖解為一模擬計算，其中主光罩係用偶極照明設定予以照明，該偶極照明設定給出與圖3h所示之溫度分佈類似的在最後鏡面 M_6 上之溫度分佈。可在該鏡面上看到偶極，此係因為此鏡面配置於投影透鏡20之光瞳平面附近或配置於投影透鏡20之光瞳平面處。

在圖7中，對於6個鏡面中每一者，平均溫度 ΔT_{av} (其為各別下部曲線)經展示為隨時間而變。平均溫度係如上文所界定而計算。又，對於每一鏡面，溫度分佈 $\Delta T(x,y,z)$ 之最大溫度 ΔT_{max} 經展示為隨時間而變，其係藉由每一鏡面之各別上部曲線表示。可看出，鏡面 M_5 、 M_3 及 M_2 之熱負荷係使得此等鏡面分別變暖約4.5 K、4.0 K及3.5 K。 M_1 變暖約2 K，且 M_4 、 M_6 變暖約0.5 K。另外，可看出，鏡面需要約150分鐘或更長之時間來達到幾乎恆定之穩態溫度。在此時間期間，反射表面之有效位置及此等表面之表面外形將改變，如關於圖3a至圖3c所解釋。此情形引起如上文所描述之光學像差，此係因為平均溫度相對於各別零交叉溫度在時間方面改變。然而，可針對穩態條件來最佳化透鏡20。此意謂鏡面之零交叉溫度經選擇成使得其為穩態溫

度或幾乎為穩態溫度，此意謂：對於第 i 鏡面($i=1$ 至 6)， $T_{0i}=(T_{av\ i}+T_{Ref})$ 。在此狀況下，如結合圖3a至圖3c所描述，像差最小化。若鏡面係在約 22°C 之溫度下(或一般而言，處於或接近於參考溫度)關於其表面外形予以製作，則此表面外形保持幾乎相同，即使鏡面均勻地加熱至此選定零交叉溫度亦如此，如結合圖3a所解釋。另外，若鏡面歸因於投影射束4之所吸收功率而具有空間溫度分佈 $T(x,y,z)$ ，則藉由此吸收產生之像差亦最小化，如圖3b及圖3c所解釋。實務上，零交叉溫度之所建議最佳化(藉由材料選擇)具有以下缺點：

1. 穩態溫度取決於光源之功率、受照明主光罩及供照明主光罩之所使用照明設定。
2. 具有指定零交叉溫度之鏡面材料的製造極其昂貴。另外，存在製造容差，使得指定零交叉溫度僅可藉由自較大材料集合選出所需材料而達成，其具有製造容差。此將極度昂貴。在US 2003/0125184 A1中，描述生產具有某些預定義零交叉溫度之Zerodur[®]的困難。另外，亦展示關於零交叉溫度之判定的困難。
3. 在約最初2個至3個小時內之變暖階段期間將存在不可接受之像差，在該階段中，EUV透鏡不能用於微結構化物件之大規模生產。

可在圖8中看到上述缺點對像差之影響。圖8展示呈任尼克係數Z5之形式的像差。對於Z5，針對圖6所示之透鏡之6個鏡面中每一者給出Z5之RMS(均方根)值。Z5經展示為在

投影透鏡之每一鏡面處於如圖7所描述之穩態下時隨零交叉溫度而變。用於每一鏡面之條展示在零交叉溫度經選擇成較高或較低時像差如何增加。計算係對於自 18°C (最左邊之條)至 34°C (最右邊之條)之零交叉溫度以 1 K 之步進而進行。對於 M_2 (其具有約 25.5°C ($T_{av\ 2}=3.5\text{ K}$ ，其中 $T_{Ref}=22^{\circ}\text{C}$)之穩態溫度)，各種零交叉溫度之像差值係(例如)藉由具有各別零交叉溫度資料之所示箭頭展示。根據圖8，最佳零交叉溫度應在 26°C 與 27°C 之間，此情形處於應在穩態溫度(25.5°C)對應於零交叉溫度時達成最低像差的良好協議。圖8清楚地展示出：若鏡面之穩態溫度在約 $\pm 1\text{ K}$ 內不匹配於零交叉溫度，則像差將增加。因為穩態溫度 $T_{Ref}+\Delta T_{av}$ 取決於EUV光源之功率、所使用照明設定、所使用主光罩及一些其他態樣，所以看似不可能建構一EUV透鏡，使得在所有所提及之工作條件下，可使像差為最小值，此係因為若選擇鏡面材料，則零交叉溫度固定。

又，在圖8中，可看到關於零交叉溫度 T_{0k} 之製造容差的影響。若(例如)對於鏡面 M_2 ， 27°C 之零交叉溫度將使像差最小化，且若所生產之材料具有零交叉溫度 $T_{02}=29^{\circ}\text{C}$ ，則此情形將使像差幾乎加倍。對於鏡面 M_1 ，自最佳零交叉溫度的 2 K 之偏差將引起甚至更高之像差，如用箭頭81及82所示。

圖9展示隨在主光罩M之後於投影期間EUV透鏡20所經受之EUV光功率P而變的最佳化零交叉溫度。計算係針對產生最大像差之設定而進行。可看出，針對所有鏡面之最

佳化零交叉溫度 T_{0i} 以良好近似隨著功率 P 而線性地增加。計算係一直進行至 16 W，且關於圖 7 及圖 8 之計算，選擇 ULE[®] 作為所有 6 個鏡面之鏡面材料。另外，可看出，若所製造之透鏡 20 應關於光學像差而最佳化，則一個 EUV 透鏡內之零交叉溫度的變化亦隨著功率而增加。此意謂：必須使用不同材料來生產鏡面，該等材料具有寬泛變化之不同零交叉溫度。此情形使製造亦極其昂貴。另外，本發明人第一次認識到，對於較高曝光功率，若 EUV 透鏡經最佳化至 EUV 光功率及像差，則在投影透鏡內之零交叉溫度必須相差大於 6 K，甚至大於 8 K。為此，較佳地，在本發明之投影透鏡之上述實施例的另外實施例中，可加熱光學元件及第二可加熱光學元件之零交叉溫度 T_{0k} 、 T_{02k} 之間的差之絕對值經選擇成使得其大於 6 K，被表達為 $\text{abs}(T_{0k}-T_{02k}) > 6$ K。在此投影透鏡的情況下，有利地，甚至在較高 EUV 光功率下，仍可縮減光學像差(由歸因於光學元件處 EUV 光之吸收的熱效應造成)。在上述本發明之投影透鏡的另外實施例中，至少一可加熱光學元件 M_k 之零交叉溫度 T_{0k} 高於最高參考溫度 T_{Ref} 及基於各別空間溫度分佈 $\Delta T(x,y,z)$ 之平均或最大溫度 $\Delta T_{\text{av}}+T_{\text{Ref}}$ 或 $\Delta T_{\text{max}}+T_{\text{Ref}}$ 的最大值，被表達為 $T_{0k} > \max(T_{\text{Ref}}, \Delta T_{\text{av}}+T_{\text{Ref}})$ 或 $T_{0k} > \max(T_{\text{Ref}}, \Delta T_{\text{max}}+T_{\text{Ref}})$ 。此情形具有如下優點：在加熱器 300 的情況下，至少一可加熱光學元件可獨立於在投影程序期間所使用之 EUV 光功率(及參考溫度)而變熱至零交叉溫度。對於投影透鏡 20 之所有操作條件，此光學像差可最小化。上文所描述的本發明

之實施例之教示獨立於鏡面之數目。其可適用於(例如)如圖1所示的具有4個鏡面21、22、23及24之投影透鏡20，或適用於如圖6所示的包含6個鏡面21、22、23、24、25及26之投影透鏡20。

另外，為了尤其在至少一鏡面或光學元件 M_k 藉由加熱器300加熱之投影透鏡20中使光學像差最小化，有利的是將至少一受熱光學元件 M_k 連接至用於其平移移動之致動器。此情形允許使鏡面 M_k 移位以補償鏡面 M_k 之均勻加熱，如結合圖3a所描述。另外，用於加熱鏡面或光學元件 M_k 之加熱器300有利地包含選自由IR發光二極體、泊耳帖(Peltier)元件、光纖、光導棒及IR雷射組成之群組的加熱元件，如將在下文關於圖13之描述更詳細地所描述。另外，此等加熱元件視情況在一個維度上或在兩個維度上配置於預定義空間座標處，從而形成柵格結構。有利地，在加熱元件發射或導引IR輻射之實施例中，此等實施例包含用以組態IR輻射之光學配置，該光學配置包含選自由準直儀、聚焦透鏡、可調整透鏡、鏡面及繞射光學元件組成之群組的配置元件，其中該等配置元件可圍繞至少一軸線傾斜。圖13中展示此等光學配置之實例。

另外，在上述投影透鏡之替代實施例中，至少一光學元件 M_k 包含在鏡面本體 MB_k 中或上之修改。該修改係選自由凹座、盲孔、經界定表面粗糙度、繞射結構、球面突起、球面凹座及表面曲率組成之群組。該修改(其在下文結合圖13予以更詳細地描述)有利地用以導引(例如)IR輻射以局

部地加熱光學元件。

歸因於上述發現(即，對於較高曝光功率，一投影透鏡內之鏡面的零交叉溫度必須相差6 K或6 K以上)，本發明亦係關於一種另外投影透鏡，在下文中被稱作第一投影透鏡，其經設計成曝光於具有在小於50 nm之波長範圍中之波長(較佳地具有13 nm之波長)之EUV光的大於8 W之曝光功率。圖7、圖8及圖9之計算係用13 nm且針對具有6個鏡面之透鏡20(如圖6所示)而進行。通常，此透鏡包含比如鏡面之至少兩個反射光學元件 M_i 。每一鏡面或反射光學元件包含一本體 MB_i 及一反射表面 MS_i ，以在投影透鏡曝光於EUV光之曝光功率時將主光罩上之物場投影至基板上之像場上。此光在主光罩藉由EUV微影投影曝光系統之照明系統照明之後自主光罩反射。另外，至少兩個反射光學元件之本體 MB_m 、 MB_n 包含具有在各別零交叉溫度 T_{0m} 、 T_{0n} 下為零之溫度相依熱膨脹係數的材料，其中此第一投影透鏡中之零交叉溫度 T_{0m} 、 T_{0n} 之間的差之絕對值大於6 K，被表達為 $\text{abs}(T_{0m}-T_{0n}) > 6 \text{ K}$ 。此(例如)為在透鏡經受8 W或8 W以上之曝光功率時鏡面 M_5 及鏡面 M_4 或 M_6 之狀況，如可自圖8看出。

作為此第一投影透鏡之另外第二實施例，該透鏡可包含四個或六個反射光學元件 M_i 或鏡面(如(例如)圖1及圖6所示)，且較佳地，該投影透鏡經設計成曝光於大於10 W之曝光功率。在此狀況下，零交叉溫度 T_{0m} 、 T_{0n} 之間的差之絕對值大於8 K，被表達為 $\text{abs}(T_{0m}-T_{0n}) > 8 \text{ K}$ 。對於圖6之6

鏡面透鏡20，圖9清楚地展示鏡面 M_5 及 M_4 或 M_6 之此情形。若曝光功率高於10 W，則此等鏡面之零交叉溫度相差大於8 K。

在第三實施例中，第一投影透鏡及其先前實施例可包含用於被動地或主動地支撐反射光學元件 M_i 之支撐結構，如結合圖4及圖5所描述。支撐結構之至少一部分之溫度處於參考溫度 T_{Ref} ，該參考溫度經(例如)選擇為22°C。另外，根據第一透鏡之一實施例的透鏡包含用於加熱鏡面本體 MB_n 、 MB_m 中至少一者之加熱器300，鏡面本體 MB_n 、 MB_m 包含具有不同零交叉溫度之材料。溫度控制系統200將至少一受熱鏡面本體 MB_n 、 MB_m 之溫度控制至溫度 T_k 。較佳地，加熱器300經製造成使得本體可被均勻地加熱。此意謂本體 MB_n 、 MB_m 在該本體之至少一維度上被均勻地加熱。下文將在此描述中描述各種類型之加熱器300。

在第一透鏡之另外第四實施例(及其先前實施例)中，彼處，在不操作剛才所提及之加熱器300之情況下，本體 MB_n 、 MB_m 之反射表面 MS_m 及 MS_n 曝光於EUV光會引起相對於參考溫度 T_{Ref} 的本體 MB_n 、 MB_m 之溫度分佈 $\Delta T_n(x,y,z)=(T_n(x,y,z)-T_{Ref})$ 、 $\Delta T_m(x,y,z)=(T_m(x,y,z)-T_{Ref})$ ，其具有各別平均及最大溫度 ΔT_{nav} 、 ΔT_{mav} 以及 ΔT_{nmax} 及 ΔT_{mmax} 。反射表面 MS_m 及 MS_n 所曝光之EUV光藉由受照明主光罩反射，且包含根據照明設定之角、偏振及強度參數之空間分佈。在此實施例中，至少一零交叉溫度 T_{0m} 、 T_{0n} 經選擇成高於最高參考溫度 T_{Ref} 及基於各別空間溫度分佈

$\Delta T_m(x,y,z)$ 、 $\Delta T_n(x,y,z)$ 之各別平均或最大溫度 $\Delta T_{mav}+T_{ref}$ 或 $\Delta T_{mmax}+T_{ref}$ 、 $\Delta T_{nav}+T_{ref}$ 或 $\Delta T_{nmax}+T_{ref}$ 的最大值，被表達為
 $T_{0m} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mav}+T_{ref})$ 、 $T_{0m} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax}+T_{ref})$ 或
 $T_{0n} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nav}+T_{Ref})$ 、 $T_{0n} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax}+T_{ref})$ 。

通常，參考溫度恆定且經選擇為支撐元件480或外殼結構481(見圖4及圖5)之溫度。通常，鏡面之背面亦具有此溫度，即使透鏡經受EUV光之曝光功率亦如此。零交叉溫度之此選擇的優點為：在使用加熱器300的情況下，可藉由加熱而總是使各別鏡面達到零交叉溫度。此係因為：通常，在不應用加熱器300之情況下，鏡面僅加熱至如關於圖7解釋之平均溫度。若零交叉溫度適應於此溫度，則光學像差變得最小，如結合圖3a及圖3b所描述。然而，若零交叉溫度經選擇成高於絕對平均溫度 $T_{Ref}+\Delta T_{mav}$ 或 $T_{Ref}+\Delta T_{nav}$ ，則藉由用額外加熱器300來加熱鏡面，可將鏡面加熱至或接近於選定零交叉溫度以使像差最小化。

在第一投影透鏡之另外第五實施例(及其先前實施例)中，亦考量零交叉溫度之製造容差。此意謂：若根據本發明之第一投影透鏡之材料(其包含具有零交叉溫度 T_{0m} 、 T_{0n} 之材料)歸因於製造程序而關於零交叉溫度之其實際值變化，從而引起製造容差 ΔT_{0m} 、 ΔT_{0n} ，則各別真實值在溫度區間 $T_{0m} \pm \Delta T_{0m}$ 及 $T_{0n} \pm \Delta T_{0n}$ 內。在此狀況下，有利地，至少一零交叉溫度 T_{0m} 、 T_{0n} 經選擇成高於最高參考溫度 T_{Ref} 及基於各別空間溫度分佈 $\Delta T_m(x,y,z)$ 、 $\Delta T_n(x,y,z)$ 之各別絕對平均或最大溫度 $\Delta T_{mav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{mmax}+T_{Ref}$ 、 $\Delta T_{nav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{nmax}+T_{Ref}$

的最大值，但另外，此等值增加達各別製造容差 ΔT_{0m} 、 ΔT_{0n} 之絕對值，被表達為 $T_{0m} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mav} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0m}|$ 、 $T_{0m} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0m}|$ 或 $T_{0n} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nav} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0n}|$ 、 $T_{0n} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0n}|$ 。關於零交叉材料之此材料選擇具有如下很大優點：可放寬關於零交叉溫度之規格，此係因為加熱器300保證具有選定零交叉溫度之各別可加熱反射光學元件可藉由額外加熱而加熱至或接近於零交叉溫度，且此像差可最小化。較佳地但未必，進行加熱，使得鏡面被均勻地加熱。關於材料選擇之此簡化引起巨大成本節省。若針對零交叉溫度之選擇而選擇最大溫度 ΔT_{nmax} 及 ΔT_{mmax} 而非平均溫度 ΔT_{nav} 、 ΔT_{mav} ，則在選擇程序中，系統更強健，例如，關於曝光功率至較高值之改變。

在第一透鏡之另外第六較佳實施例(及其先前實施例)中，受熱鏡面本體或受熱鏡面本體 MB_n 、 MB_m 之溫度經控制至溫度 T_k 之值，其在以各別零交叉溫度 T_{0m} 、 T_{0n} 為中心的 ± 5 K之區間內，較佳為 ± 2 K之區間內，以使任何熱誘發性光學像差最小化。

上文所提及之第3項缺點(即，若零交叉溫度經最佳化至如(例如)圖7所示之穩態，則在變暖階段中不能使用系統)可藉由本發明之第一EUV透鏡的第三至第六實施例解決，此係歸因於加熱器300之使用。為了亦解決此缺點，在根據第三至第六實施例中之一者的第一透鏡之第七實施例中，在投影透鏡20曝光於EUV光之曝光功率之前的時間加

熱該投影透鏡。彼處，反射光學元件 M_n 、 M_m 之至少一受熱本體 MB_n 、 MB_m 之溫度 T_k 藉由用第一加熱功率使加熱器300加熱而被控制至其值。較佳地，溫度 T_k 係選自第一投影透鏡之上述第三至第六實施例之值。取決於零交叉溫度之值及EUV透鏡所經受之曝光之功率，在第一透鏡之第八實施例中，加熱器之加熱功率經選擇成在投影透鏡20曝光於EUV光之曝光功率之時間期間低於如第七實施例中所提及之第一加熱功率。在第一透鏡之較佳第九實施例中，溫度控制系統200控制溫度 T_k ，使得加熱器300之加熱功率(其加熱反射光學元件 M_n 、 M_m 之至少一本體 MB_n 、 MB_m)及藉由至少一受熱本體 MB_n 、 MB_m 吸收之EUV光之曝光功率在時間方面恆定或幾乎恆定。有利地，此情形將引起鏡面本體之最小溫度波動，且此熱誘發性光學像差亦最小化。

第一透鏡及其各種實施例基本上將關於其零交叉溫度顯著地不同之材料用於反射光學元件或鏡面。應提及，本發明之第一透鏡及其各種實施例不限於如圖4及圖6所描述的具有呈鏡面之形式之4或6個反射光學元件的EUV投影透鏡。假定：若EUV曝光之EUV功率亦增加，則微影投影曝光裝置之EUV投影透鏡之鏡面的數目增加至6個以上。EUV光功率將取決於將在未來可用之EUV光源。通常，鏡面之數目可根據要求而變化，且結合第一投影透鏡之教示的原理可適用於每一鏡面或每一反射光學元件，尤其是在用於EUV微影投影曝光裝置中時。

另外，為了尤其在至少一鏡面或光學元件 M_k 藉由加熱器

300加熱的根據本發明之第一透鏡之投影透鏡20中使光學像差最小化，有利的是將至少一受熱光學元件 M_k 連接至用於其平移移動之致動器。此情形允許使鏡面 M_k 移位以補償鏡面 M_k 之均勻加熱，如結合圖3a所描述。另外，用於加熱鏡面或光學元件 M_k 之加熱器300有利地包含選自由IR發光二極體、泊耳帖元件、光纖、光導棒及IR雷射組成之群組的加熱元件，如將在下文關於圖13之描述更詳細地所描述。另外，此等加熱元件視情況在一個維度上或在兩個維度上配置於預定義空間座標處，從而形成柵格結構。有利地，在加熱元件發射或導引IR輻射之實施例中，此等實施例包含用以組態IR輻射之光學配置，該光學配置包含選自由準直儀、聚焦透鏡、可調整透鏡、鏡面及繞射光學元件組成之群組的配置元件，其中該等配置元件可圍繞至少一軸線傾斜。圖13中展示此等光學配置之實例。

另外，在上述第一投影透鏡之替代實施例中，至少一光學元件 M_k 包含在鏡面本體 MB_k 中或上之修改。該修改係選自由凹座、盲孔、經界定表面粗糙度、繞射結構、球面突起、球面凹座及表面曲率組成之群組。該修改(其在下文結合圖13予以更詳細地描述)有利地用以導引(例如)IR輻射以局部地加熱光學元件。

第一透鏡之替代實施例為下文所描述的用於EUV微影曝光系統之第二投影透鏡。本發明人認識到，加熱器300之使用將具有對透鏡設計(尤其是對鏡面材料之材料選擇要求)之顯著影響。

根據本發明之第二投影透鏡20之第一實施例包含如圖1及圖6所示的比如鏡面之至少兩個反射光學元件 M_i ，其被指明為21、22、23、24、25及26。每一此類元件包含一本體 MB_i 及一反射表面 MS_i ，以在投影透鏡20曝光於具有在小於50 nm之波長範圍中之波長的EUV光之曝光功率時將主光罩上之物場OP投影至基板上之像場IP上。較佳地，使用13 nm之波長。EUV光在主光罩藉由EUV微影投影曝光系統之照明系統照明之後自主光罩反射。透鏡20之至少兩個反射光學元件之本體 MB_m 、 MB_n 包含具有如(例如)圖2a及圖2b所示在各別零交叉溫度 T_{0m} 、 T_{0n} 下為零之溫度相依熱膨脹係數的材料。作為一實例，此等材料為Zerodur[®]或ULE[®]，但亦為超級鍛鋼。另外，第二透鏡包含用於被動地或主動地支撐反射光學元件 M_i 之支撐結構。此支撐結構結合圖4及圖5予以詳細地描述。支撐結構之至少一部分之溫度處於參考溫度 T_{Ref} ，例如，處於22°C，如在圖3及圖6之實施例中。此溫度接近於清潔室之溫度。通常，亦在此參考溫度下關於EUV投影透鏡之鏡面或反射光學元件的表面及表面外形指定該等鏡面或反射光學元件。另外，第二投影透鏡包含用於加熱具有零交叉溫度之反射光學元件之本體 MB_n 、 MB_m 中至少一者的加熱器300。又，第二透鏡包含用於將至少一受熱本體 MB_n 、 MB_m 之溫度控制至溫度 T_{km} 、 T_{kn} 的溫度控制系統200。另外，若在第二透鏡中未用加熱器來加熱本體 MB_n 、 MB_m ，則反射表面 MS_m 及 MS_n 曝光於EUV光(其藉由受照明主光罩反射)會引起相對於參

考溫度 T_{Ref} 的本體 MB_n 、 MB_m 之溫度分佈 $\Delta T_n(x,y,z)=(T_n(x,y,z)-T_{Ref})$ 、 $\Delta T_m(x,y,z)=(T_m(x,y,z)-T_{Ref})$ ，其具有各別平均及最大溫度 ΔT_{nav} 、 ΔT_{mav} 以及 ΔT_{nmax} 及 ΔT_{mmax} 。EUV光通常包含藉由照明設定界定之強度、角及偏振參數之經判定空間分佈。

另外，在第二透鏡中，至少一零交叉溫度 T_{0m} 、 T_{0n} 經選擇成高於最高參考溫度 T_{Ref} 及基於各別空間溫度分佈 $\Delta T_m(x,y,z)$ 、 $\Delta T_n(x,y,z)$ 之各別絕對平均或最大溫度 $\Delta T_{mav}+T_{ref}$ 或 $\Delta T_{mmax}+T_{Ref}$ 、 $\Delta T_{nav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{nmax}+T_{Ref}$ 的最大值，被表達為 $T_{0m}>\max(T_{Ref},\Delta T_{mav}+T_{ref})$ 、 $T_{0m}>\max(T_{Ref},\Delta T_{mmax}+T_{Ref})$ 或 $T_{0n}>\max(T_{Ref},\Delta T_{nav}+T_{Ref})$ 、 $T_{0n}>\max(T_{Ref},\Delta T_{nmax}+T_{Ref})$ 。若在選擇程序中考慮絕對最大溫度而非絕對平均溫度，則系統更強健，例如，關於曝光功率至較高值之改變。根據本發明之第二投影透鏡基於鏡面在藉由投影射束照明時可達成之平均或最大溫度來選擇用於鏡面或反射光學元件之材料。歸因於加熱器之應用，可獨立於投影透鏡是用投影射束之低或是高 EUV 光功率進行操作而達到零交叉溫度。較佳地，針對投影透鏡可經受之最大功率來判定可加熱鏡面本體上之最大或平均溫度。對於根據本發明之第二投影透鏡之實施例，對於參考溫度，相同情況可適用，如結合第一投影透鏡以及結合圖 4 及圖 5 之描述所描述。

為了考慮零交叉溫度之製造容差，第二投影透鏡之第二實施例考慮到，具有零交叉溫度 T_{0m} 、 T_{0n} 之材料可歸因於

製造而關於零交叉溫度之值變化。通常，此情形引起製造容差 ΔT_{0m} 、 ΔT_{0n} ，使得零交叉溫度之各別實際值在區間 $T_{0m} \pm \Delta T_{0m}$ 及 $T_{0n} \pm \Delta T_{0n}$ 內。若如此，則有利的是在第二透鏡中選擇至少一零交叉溫度 T_{0m} 、 T_{0n} ，該至少一零交叉溫度高於最高參考溫度 T_{Ref} 及基於各別空間溫度分佈 $\Delta T_m(x,y,z)$ 、 $\Delta T_n(x,y,z)$ 之各別平均或最大溫度的最大值，其增加達參考溫度，從而引起 $\Delta T_{mav} + T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{mmax} + T_{Ref}$ 、 $\Delta T_{nav} + T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{nmax} + T_{Ref}$ 。此最大值進一步增加達各別製造容差 ΔT_{0m} 、 ΔT_{0n} 之絕對值，被表達為 $T_{0m} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mav} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0m}|$ 、 $T_{0m} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0m}|$ 或 $T_{0n} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nav} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0n}|$ 、 $T_{0n} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0n}|$ 。類似於第二透鏡之第一實施例中的情況，代替絕對最大溫度，絕對平均溫度亦可足夠，但在此狀況下，第二透鏡相對於可起因於較高曝光功率的鏡面之溫度升高將較不強健。

在第二投影透鏡之第三實施例中，零交叉溫度 T_{0m} 、 T_{0n} 之間的差之絕對值大於 6 K，被表達為 $\text{abs}(T_{0m} - T_{0n}) > 6 \text{ K}$ 。較佳地，在此狀況下，第二投影透鏡經設計成曝光於具有在小於 50 nm 之波長範圍中之波長之 EUV 光的大於 8 W 之曝光功率。如已經結合本發明之第一投影透鏡之描述所描述，一些優點亦有效。較佳地，波長在選自由 [12 nm, 14 nm]、[12.5 nm, 13.5 nm]、[5 nm, 15 nm]、[15 nm, 25 nm] 及 [25 nm, 50 nm] 組成之群組的波長區間中。亦可針對本說明書中所描述之 EUV 微影投影曝光系統之透鏡的其他實

施例進行波長之此選擇。

在第二投影透鏡之第四實施例中，使用至少四個或六個反射光學元件 M_i 。另外，投影透鏡經設計成曝光於具有在小於50 nm之波長範圍中之波長之EUV光的大於10 W之曝光功率。在EUV光之較高功率之情況下，通常，鏡面之數目亦增加。對於16 W之功率，通常使用6個鏡面，如圖6所示。在此實施例中，零交叉溫度 T_{0m} 、 T_{0n} 之間的差之絕對值大於8 K，被表達為 $\text{abs}(T_{0m}-T_{0n})>8\text{ K}$ 。

根據本發明之第二透鏡之第五實施例將至少一受熱本體 MB_n 、 MB_m 之溫度 T_k 控制於以各別零交叉溫度 T_{0m} 、 T_{0n} 為中心的 $\pm 5\text{ K}$ 之區間內，較佳為 $\pm 2\text{ K}$ 之區間內，以使任何熱誘發性光學像差最小化。

在第二投影透鏡之第六實施例中，在投影透鏡經受EUV光之曝光功率之前的時間，藉由用第一加熱功率使加熱器300加熱而將至少一受熱本體 MB_n 、 MB_m 之溫度 T_k 控制至其值。此類似於第一投影透鏡之第七實施例且縮減EUV投影系統之變暖階段。另外，在第二投影透鏡之第七實施例中，當投影透鏡曝光於EUV光之曝光功率時，第六實施例之加熱功率小於第一加熱功率。在第二投影透鏡之更先進之第八實施例中，溫度控制系統200控制溫度 T_k ，使得加熱器300之加熱功率(其加熱至少一本體 MB_n 、 MB_m)及藉由至少一受熱本體吸收之EUV光之曝光功率在時間方面恆定。此類似於第一投影透鏡之各別實施例。在此上下文中(且亦針對本文中所描述之其他透鏡實施例)，在時間方面

恆定意謂鏡面所經受之熱量的總功率(例如，任何加熱器之加熱功率及比如EUV光之所吸收光之總和)僅在選自由[0%, 20%]、[0%, 10%]、[0%, 5%]及[0%, 2%]組成之群組的總功率之區間內變化。此為在EUV源在時間方面連續地提供EUV光(比如同步加速器輻射源)時的狀況。對於比如電漿EUV光源之脈衝式EUV源，藉由在脈衝之數目上所求之平均值來判定如上文所提及之總功率。脈衝之數目經選擇成使得其在選自由[1, 5]、[1, 10]、[1, 20]、[1, 50]及[1, 100]個脈衝組成之區間之群組的區間內。

在第二投影透鏡之第九實施例中，具有各別零交叉溫度 T_{0m} 、 T_{0n} 之本體 MB_n 及 MB_m 係由相同材料製成。另外，在第二透鏡之第十實施例中，透鏡包含呈鏡面之形式的4或6個反射光學元件。如已提及，第二透鏡之鏡面之數目亦可根據要求而變化，且結合第一及第二投影透鏡之教示的原理可適用於每一鏡面或每一反射光學元件，尤其是在用於EUV微影投影曝光裝置中時。

另外，為了尤其在至少一鏡面或光學元件 M_k 藉由加熱器300加熱的根據本發明之第二透鏡之投影透鏡20中使光學像差最小化，有利的是將至少一受熱光學元件 M_k 連接至用於其平移移動之致動器。此情形允許使鏡面 M_k 移位以補償鏡面 M_k 之均勻加熱，如結合圖3a所描述。另外，用於加熱鏡面或光學元件 M_k 之加熱器300有利地包含選自由IR發光二極體、泊耳帖元件、光纖、光導棒及IR雷射組成之群組的加熱元件，如將在下文關於圖13之描述更詳細地所描

述。另外，此等加熱元件視情況在一個維度上或在兩個維度上配置於預定義空間座標處，從而形成柵格結構。有利地，在加熱元件發射或導引IR輻射之實施例中，此等實施例包含用以組態IR輻射之光學配置，該光學配置包含選自由準直儀、聚焦透鏡、可調整透鏡、鏡面及繞射光學元件組成之群組的配置元件，其中該等配置元件可圍繞至少一軸線傾斜。圖13中展示此等光學配置之實例。

另外，在上述第二投影透鏡之替代實施例中，至少一光學元件 M_k 包含在鏡面本體 MB_k 中或上之修改。該修改係選自由凹座、盲孔、經界定表面粗糙度、繞射結構、球面突起、球面凹座及表面曲率組成之群組。該修改(其在下文結合圖13予以更詳細地描述)有利地用以導引(例如)IR輻射以局部地加熱光學元件。

在下文中，將第三投影透鏡描述為本發明之部分。此第三投影透鏡使用來自圖9之知識，其展示出：若透鏡經設計成使得光學像差縮減至最小值，則不同鏡面之零交叉溫度隨著EUV光之功率增加而變得更不同，對於圖6之透鏡，作為一實例，若透鏡經受約16 W之EUV光，則鏡面 M_4 及 M_6 應具有比參考溫度高至少約1 K之零交叉溫度。對比而言，鏡面 M_5 應具有約34°C或甚至更高之零交叉溫度 T_{05} ，其比22°C之參考溫度高約12 K或12 K以上。根據本發明之第一及第二投影透鏡之實施例，較佳的是具有高於圖9所示之零交叉溫度的零交叉溫度。在此等狀況下，此等實施例之加熱器可將鏡面(例如)均勻地加熱至各別零交

又溫度以使光學像差最小化。因此，若EUV光功率仍將增加(此情形總是被渴望)，則零交叉溫度之差亦將增加且變得大於11 K，如對於具有圖9之值的圖6所示之透鏡。可能地，此差將甚至加倍，尤其是在較高EUV光功率用於未來透鏡中時，使得最冷鏡面與最熱鏡面之差將為約20 K，或甚至為20 K以上。在此等狀況下，有利地，可使用比如Zerodur[®]之玻璃陶瓷，使得對於最冷鏡面及最熱鏡面，使用相同材料。該兩個鏡面中之較冷鏡面係在第一零交叉溫度 T^1_0 下或接近於第一零交叉溫度 T^1_0 予以使用或操作。較熱鏡面係在高於第一零交叉溫度之第二零交叉溫度 T^2_0 下或接近於高於第一零交叉溫度之第二零交叉溫度 T^2_0 予以使用或操作。此意謂(例如)鏡面 M_m 及鏡面 M_n 係由具有兩個所提及之零交叉溫度(被指明為 T^1_{0mn} 及 T^2_{0mn})之相同材料製成。如US 2003/0125184 A1中所示，存在具有在約0°C至約100°C之溫度範圍中之兩個零交叉溫度的玻璃陶瓷材料，其具有約20 K的零交叉溫度之差 $T^2_0 - T^1_0$ 。針對兩個鏡面僅使用一種材料亦將會縮減投影透鏡之成本。

歸因於上述優點，根據本發明之第三投影透鏡再次包含至少兩個反射光學元件 M_i ，每一反射光學元件具有一本體 MB_i 及一反射表面 MS_i ，以在投影透鏡曝光於具有在小於50 nm之波長範圍中之波長的EUV光之曝光功率時將主光罩上之物場投影至基板上之像場上。如上文所描述，EUV光在主光罩藉由EUV微影投影曝光系統之照明系統照明時自主光罩反射。至少兩個反射光學元件之本體 MB_m 、 MB_n

包含具有在至少兩個零交叉溫度 T_{0mn}^1 及 T_{0mn}^2 下為零之溫度相依熱膨脹係數的材料。第三透鏡另外包含用於被動地或主動地支撐反射光學元件 M_i 之支撐結構，而支撐結構之至少一部分之溫度處於參考溫度 T_{Ref} ，如上文結合(例如)圖4、圖5及圖3所描述。另外，第三透鏡包含用於獨立地加熱或冷卻兩個反射光學元件之至少兩個本體 MB_n 、 MB_m 的至少兩個調溫構件，較佳地為加熱器。另外，第三投影透鏡包含用於將至少兩個受熱或冷卻本體 MB_n 、 MB_m 之溫度獨立地控制至各別溫度 T_{kn} 及 T_{km} 的溫度控制系統。作為一選項，兩個零交叉溫度 T_{0mn}^1 及 T_{0mn}^2 中至少一者高於參考溫度 T_{Ref} ，此係因為參考溫度通常在 22°C 之範圍中。此可選實施例簡化材料選擇以取得具有兩個零交叉溫度之合適材料。另外，在透鏡曝光於EUV光之曝光功率期間，本體 MB_n 之溫度 T_{kn} 較佳地在以第一零交叉溫度 T_{0mn}^1 為中心的 $\pm 5\text{ K}$ 之區間內，較佳為 $\pm 2\text{ K}$ 之區間內，且本體 MB_m 之溫度 T_{km} 較佳地在以第二零交叉溫度 T_{0mn}^2 為中心的 $\pm 5\text{ K}$ 之區間內，較佳為 $\pm 2\text{ K}$ 之區間內。在第三透鏡之另外實施例中，反射光學元件之本體之溫度 T_{kn} 及 T_{km} 經控制成儘可能地接近於各別零交叉溫度 T_{0mn}^1 及 T_{0mn}^2 。

此處應提及，一般而言，可針對每一鏡面個別地設定參考溫度 T_{Ref} 。此亦取決於固持鏡面之所使用支撐結構。在現今之系統中，參考溫度對於所有鏡面皆相同。然而，此在未來可能改變。為此，根據本發明，參考溫度 T_{Ref} 之涵義係使得應總是理解有關鏡面或反射光學元件之參考溫

度。

另外，根據本發明之第三投影透鏡亦可具有用於冷卻具有最低零交叉溫度 T^1_{0nm} 之鏡面的冷卻器，及用於加熱具有最高零交叉溫度 T^2_{0mn} 之鏡面的加熱器。此情形具有如下優點：最低零交叉溫度未必必須高於 22°C 之參考溫度。藉由應用冷卻器，可使用一種材料，在該材料中， T^1_{0nm} 處於約 15°C ，其用於(例如)鏡面 M_4 或 M_6 (若參看圖 6)，且在該材料中， T^2_{0mn} 處於約 35°C ，其用於(例如)鏡面 M_3 或 M_5 。鏡面之此選擇基本上起因於圖 9。此材料(例如)揭示於 US 2003/0125184 A1 中。當然，若材料可以使得兩個零交叉溫度皆在約 22°C 至約 40°C 之溫度範圍中(意謂高於各別鏡面或光學元件之參考溫度 T_{Ref}) 的方式予以製造，則第三透鏡之較佳實施例為：用加熱器來加熱兩個鏡面 M_m 及 M_n 。

在第三透鏡之第二實施例中，在不用加熱器進行加熱之情況下，本體 MB_n 、 MB_m 之溫度引起相對於參考溫度 T_{Ref} 的本體 MB_n 、 MB_m 之溫度分佈 $\Delta T_n(x,y,z)=(T_n(x,y,z)-T_{\text{Ref}})$ 、 $\Delta T_m(x,y,z)=(T_m(x,y,z)-T_{\text{Ref}})$ ，其具有各別平均及最大溫度 ΔT_{nav} 、 ΔT_{mav} 以及 ΔT_{nmax} 及 ΔT_{mmax} 。此係由反射表面 MS_m 及 MS_n 曝光於 EUV 光造成，該 EUV 光藉由受照明主光罩反射且包含根據照明設定之角、偏振及強度參數之空間分佈。另外，兩個零交叉溫度 T^1_{0mn} 及 T^2_{0mn} 中至少一者高於最高參考溫度 T_{Ref} 及基於各別空間溫度分佈 $\Delta T_m(x,y,z)$ 、 $\Delta T_n(x,y,z)$ 之各別絕對平均或最大溫度 $\Delta T_{mav}+T_{\text{Ref}}$ 或 $\Delta T_{mmax}+T_{\text{Ref}}$ 、 $\Delta T_{nav}+T_{\text{Ref}}$ 或 $\Delta T_{nmax}+T_{\text{Ref}}$ 的最大值，被表達

為 $T^1_{0mn} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mav} + T_{Ref})$ 、 $T^1_{0mn} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax} + T_{Ref})$ 或 $T^2_{0mn} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nav} + T_{Ref})$ 、 $T^2_{0mn} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax} + T_{Ref})$ 。以此方式選擇零交叉溫度具有與已經結合本發明之第一及第二透鏡所描述之優點類似的優點。

在第三投影透鏡之第三實施例中包含一種材料，在該材料中，零交叉溫度 T^1_{0mn} 及 T^2_{0mn} 歸因於製造而關於其實際值變化，此情形引起製造容差 ΔT^1_{0mn} 、 ΔT^2_{0mn} ，使得各別實際值在區間 $T^1_{0mn} \pm \Delta T^1_{0mn}$ 及 $T^2_{0mn} \pm \Delta T^2_{0mn}$ 內。歸因於此容差，有利地，至少一零交叉溫度 T^1_{0mn} 及 T^2_{0mn} 高於最高參考溫度 T_{Ref} 及基於各別空間溫度分佈 $\Delta T_m(x,y,z)$ 、 $\Delta T_n(x,y,z)$ 之各別絕對平均或最大溫度 $\Delta T_{mav} + T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{mmax} + T_{Ref}$ 、 $\Delta T_{nav} + T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{nmax} + T_{Ref}$ 的最大值，其另外增加達各別製造容差 ΔT^1_{0mn} 、 ΔT^2_{0mn} 之絕對值，被表達為 $T^1_{0mn} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mav} + T_{Ref}) + |\Delta T^1_{0mn}|$ 或 $T^1_{0mn} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{mmax} + T_{Ref}) + |\Delta T^1_{0mn}|$ 或 $T^2_{0mn} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nav} + T_{Ref}) + |\Delta T^2_{0mn}|$ 或 $T^2_{0mn} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{nmax} + T_{Ref}) + |\Delta T^2_{0mn}|$ 。

如上文在第二投影透鏡之描述中已提及，亦對於第三投影透鏡，作為一替代例，零交叉溫度之選擇可藉由 $T_{0n} > \max(T_{Ref}, T_{avn} + T_{ref})$ 或 $T_{0m} > \max(T_{Ref}, T_{avm} + T_{ref})$ 而進行，藉以， T_{avm} 及 T_{avn} 為鏡面 M_m 及 M_n 之各別平均溫度，如上文(例如)結合圖7或圖3所描述。然而，若在選擇程序中考慮最大溫度而非平均溫度，則第三透鏡亦更強健，例如，關於曝光功率至較高值之改變。類似於根據本發明之透鏡之先前實施例，代替絕對最大溫度，絕對平均溫度亦可足

夠，但在此狀況下，第三透鏡相對於可起因於較高曝光功率的鏡面之溫度升高將較不強健。

與本發明之第一及第二投影透鏡類似，在第四實施例中，第三投影透鏡亦經控制成使得在投影透鏡經受EUV光之曝光功率之前的時間，藉由用第一加熱功率使加熱器加熱而將至少一受熱本體 MB_n 、 MB_m 之溫度 T_{kn} 或 T_{km} 控制至其值。在第五實施例中，該控制係使得在第三投影透鏡曝光於EUV光之曝光功率之時間期間，具有初始第一加熱功率之加熱器的加熱功率小於第一加熱功率。替代第三投影透鏡之第四及第五實施例，在第三透鏡之第六實施例中，溫度控制系統控制溫度 T_{km} 及 T_{kn} 中至少一者，使得各別加熱器之加熱功率及藉由至少一溫度受控本體 MB_m 或 MB_n 吸收之EUV光之曝光功率在時間方面恆定。第三透鏡之第四至第六實施例之優點已經結合第一及第二投影透鏡而提及。

在本發明之第三投影透鏡之第七實施例中，該透鏡經設計成曝光於具有在小於50 nm之波長範圍中之波長之EUV光的大於8 W之曝光功率。尤其，圖9展示出：對於透鏡所曝光之較高EUV光功率，第三實施例可使用現今可用之適當材料，如已提及。

在第三投影透鏡之第八實施例中，零交叉溫度 T^1_{0mn} 、 T^2_{0mn} 之間的差之絕對值經選擇成大於6 K，被表達為 $\text{abs}(T^1_{0mn}-T^2_{0mn})>6\text{ K}$ 。在此狀況下，投影透鏡經設計成曝光於具有在小於50 nm之波長範圍中之波長之EUV光的大

於8 W之曝光功率。圖9展示此透鏡之實例。另外，在第三投影透鏡之第九實施例中，4或6個反射光學元件為鏡面。或者或另外，如上文所描述，第三投影透鏡之實施例可經操作成使得(例如)在投影透鏡經受EUV光之曝光功率之前的時間，藉由用具有第一冷卻功率之各別調溫構件進行冷卻而將溫度受控本體 MB_n 、 MB_m 中至少一者控制至其值。另外，可在投影透鏡經受EUV曝光之時間藉由調溫構件增加第一冷卻功率。冷卻功率描述每次自溫度受控本體至調溫構件之熱轉移。再次，第三投影透鏡之鏡面的數目可根據要求而變化。用於第三投影透鏡中之原理可適用於每一鏡面或每一反射光學元件，尤其是在用於EUV微影投影曝光裝置中時。

另外，為了尤其在至少一鏡面或光學元件 M_k 藉由加熱器300或調溫構件加熱或冷卻的根據本發明之第三透鏡之投影透鏡20中使光學像差最小化，有利的是將至少一受熱及/或冷卻光學元件 M_k 連接至用於其平移移動之致動器。此情形允許使鏡面 M_k 移位以補償鏡面 M_k 之均勻加熱或冷卻，如結合圖3a所描述。另外，調溫構件(例如，用於加熱鏡面或光學元件 M_k 之加熱器300)有利地包含選自由IR發光二極體、泊耳帖元件、光纖、光導棒及IR雷射組成之群組的加熱元件，如將在下文關於圖13之描述更詳細地所描述。另外，此等加熱元件視情況在一個維度上或在兩個維度上配置於預定義空間座標處，從而形成柵格結構。有利地，在加熱元件發射或導引IR輻射之實施例中，此等實施例包

含用以組態IR輻射之光學配置，該光學配置包含選自由準直儀、聚焦透鏡、可調整透鏡、鏡面及繞射光學元件組成之群組的配置元件，其中該等配置元件可圍繞至少一軸線傾斜。圖13中展示此等光學配置之實例。

另外，在上述第三投影透鏡之替代實施例中，至少一光學元件 M_k 包含在鏡面本體 MB_k 中或上之修改。該修改係選自由凹座、盲孔、經界定表面粗糙度、繞射結構、球面突起、球面凹座及表面曲率組成之群組。該修改(其在下文結合圖13予以更詳細地描述)有利地用以導引(例如)IR輻射以局部地加熱光學元件。

另外，本發明亦係關於一種用以組態EUV微影投影曝光系統之投影透鏡的方法。以下方法係基於本發明之先前實施例的教示。組態方法包含以下步驟：

- 在第一步驟中，判定EUV投影透鏡之反射光學元件 M_i 之數目。一些要求為：投影透鏡將在主光罩上給定大小之物場投影至基板上給定大小之像場上。對於投影，使用具有小於50 nm之波長的EUV投影光束。投影要求為(例如)具有預定品質之預定空間解析度。
- 在第二步驟中，基於物場及像場之幾何資料以及預定空間解析度來判定每一反射光學元件 M_i 之表面外形及表面形狀。
- 在第三步驟中，選擇用於具有形狀及大小之每一反射光學元件 M_i 的基板材料，其中藉由考慮熱膨脹來選擇該材料。

- 在第四步驟中，自具有在零交叉溫度 T_{0m} 下為零之溫度相依熱膨脹係數的材料群組選擇至少一基板材料。此材料較佳地用於具有高熱負荷之鏡面。
- 在第五步驟中，判定每一反射光學元件 M_i 之最大熱負荷，其係在 EUV 投影曝光系統之各種條件(比如，EUV 光功率、主光罩之透射或反射、各種照明設定，及主光罩上之各種圖案結構)下將物場投影至像場上期間予以預期。
- 在第六步驟中，判定基於第五步驟的每一反射光學元件 M_i 之空間溫度 $T(x,y,z)$ (考慮每一反射光學元件 M_i 之熱負荷)連同其最大及其平均溫度值 $T_{i\ max}$ 及 $T_{i\ av}$ 。
- 在第七步驟中，基於零交叉溫度 T_{0m} 來選擇具有零交叉溫度 T_{0m} 之至少一材料。進行該選擇，使得與至少一基板材料有關的光學元件 M_m 之溫度 $T(x,y,z)$ 之最大溫度或平均溫度 $T_{m\ max}$ 及 $T_{m\ av}$ 低於零交叉溫度 T_{0m} ，被表達為 $T_{m\ max} < T_{0m}$ 或 $T_{m\ av} < T_{0m}$ 。
- 在第八步驟中，用選定材料來形成鏡面及透鏡。

在較佳方法中，組態方法包含額外步驟，其中選擇至少一材料，使得零交叉溫度 T_{0m} 高於增加達各別製造容差 ΔT_{0m} 之絕對值的最大溫度或平均溫度 T_{max} 及 T_{av} ，以製造具有零交叉溫度 T_{0m} 之材料，被表達為 $T_{0m} > T_{m\ max} + |\Delta T_{0m}|$ 或 $T_{0m} > \max(T_{Ref}, T_{m\ max}) + |\Delta T_{0m}|$ 。在此材料選擇的情況下，亦考慮零交叉溫度 T_{0m} 之變化，此係因為其歸因於製造程序參數而關於其實際值變化，如(例如)US 2003/0125184 A1

中所描述。零交叉溫度 T_{0m} 之實際值係在區間 $T_{0m} \pm \Delta T_{0m}$ 內。

組態方法可包含：選擇具有零交叉溫度 T_{0m} 之一材料，使得其包含第二零交叉溫度 T_{0m}^2 ，使得該零交叉溫度與該第二零交叉溫度之間的差之絕對值小於 40 K，被表達為 $\text{abs}(T_{0m} - T_{0m}^2) < 40 \text{ K}$ 。此情形具有如下優點：此材料適用於 EUV 投影透鏡之兩個鏡面，而該兩個鏡面具有不同熱負荷，此引起極不同之零交叉溫度以使光學像差最小化，如結合圖 9 所描述。

另外，組態方法可包含：將具有第二零交叉溫度之材料用作至少一額外反射光學元件之基板材料，如剛才所解釋。

組態方法可包含一步驟，其中選擇加熱器 300 及溫度控制系統 200，使得具有零交叉溫度之至少一材料可加熱至其零交叉溫度。

在下文中，描述加熱器 300 之各種實施例。另外，亦展示用於反射光學元件 M_k 之加熱方法及特殊本體，其允許以使得熱誘發性光學像差變得最小之方式來加熱反射元件或鏡面。亦將此等另外態樣視為本發明之部分。

圖 10 示意性地展示 EUV 投影透鏡之反射光學元件 M_k (比如，鏡面 421) 的側視圖，如 (例如) 圖 4 及圖 5 所示。該光學元件包含反射表面 MS_k ，其可為鏡面表面 450 或亦為繞射表面。一般而言，亦在所有反射光學元件上，根據本發明，反射表面可包含繞射結構以形成用於入射輻射之繞射光學

元件。入射輻射1000可為EUV光投影射束4(見圖1)，或其可為比如(例如)紅外光的另一波長之光。另外，在圖10中，示意性地展示比如結合圖4及圖5所描述之此等支撐構件的支撐構件，其中使用相同參考數字。此等支撐構件為(例如)如圖4所描述之鏈接點451、鏈接元件471或雙腳架結構461。又，展示支撐元件480及外殼結構481之部分。另外，展示加熱器，或一般而言，展示第一調溫元件300。已經連同圖5而描述此加熱器或第一調溫元件300之部分及一些實施例。加熱器與調溫元件之間的差異在於：加熱器僅可以受控方式進行加熱，而調溫元件能夠以受控方式進行加熱及冷卻。在此上下文中，加熱意謂熱能自加熱器或調溫元件轉移至其外界。冷卻意謂熱能自加熱器或調溫元件之外界轉移至加熱器或調溫元件，且加熱器或調溫元件可以使得其溫度低於外界之溫度的方式予以控制。另外，如圖10所示之實施例包含冷卻器或第二調溫元件350。冷卻器350或第二調溫元件較佳地配置於加熱器或第一調溫元件300與支撐元件480及/或外殼結構481(未圖示)及/或支撐構件451、461、471(未圖示，見圖5)之間。若使用加熱器或第一調溫元件300以影響反射光學元件 M_k 之溫度分佈，則存在反射元件 M_k 之外界之其他元件之溫度亦改變的風險。此元件可為(例如)支撐元件480、外殼結構481或支撐構件451、461、471。然而，此等元件中的一些必須處於經良好控制之恆定溫度以使反射光學元件或鏡面 M_k 421保持於其位置中。如上文所提及，此位置必須在奈米或甚

至次奈米範圍內恆定。為此，將此等元件指明為溫度敏感元件。反射光學元件或鏡面 M_k 421之外界之任何加熱及/或冷卻以影響其溫度或溫度分佈(例如，用加熱器或第一調溫元件300)可改變此位置。為此，冷卻器或第二調溫元件350經製造使得其吸收由加熱器或第一調溫元件300造成之任何熱效應。此意謂：在冷卻器350或第二調溫元件之側351(其定向於比如支撐元件480及/或外殼結構481及/或支撐構件451、461、471之溫度敏感元件的方向)上，冷卻器或第二調溫元件之溫度保持恆定，從而引起溫度敏感元件之恆定溫度，使得各別光學元件 M_k 之位置在奈米或甚至次奈米程度上恆定。在此措施的情況下，此等溫度敏感元件之溫度變化可縮減，即使(例如)加熱器或第一調溫元件改變其溫度以影響反射光學元件或鏡面 M_k 421之溫度或溫度分佈亦如此，以達成如結合本發明之上述投影透鏡所描述的優點。

歸因於圖10所示之實施例的優點，本發明亦係關於EUV微影投影曝光系統之第四投影透鏡，其包含複數個反射光學元件 M_i 。每一反射元件 M_i 包含一本體 MB_i 及一反射表面 MS_i ，以在投影透鏡曝光於具有小於50 nm之波長範圍中之波長的EUV光之曝光功率時將主光罩上之物場投影至基板上之像場上，EUV光在主光罩藉由EUV微影投影曝光系統之照明系統照明時自主光罩反射。該透鏡進一步包含用於被動地或主動地支撐至少一光學元件 M_k 之支撐構件，該支撐構件包含選自由鏈接點451、雙腳架結構461、鏈接元件

471、支撐元件480及外殼結構481組成之群組的溫度敏感元件。另外，將該溫度敏感元件控制至恆定溫度或控制至預定義溫度。該透鏡進一步包含用於將至少一光學元件 M_k 加熱及/或冷卻至溫度 T_k 之第一調溫元件300，及用於將溫度敏感元件調溫至恆定溫度或調溫至預定義溫度之第二調溫元件350。另外，第二調溫元件350空間地配置於溫度敏感元件與第一調溫元件300之間。

在第四投影透鏡之另外第二實施例中，受熱或冷卻反射光學元件 M_k 包含具有在零交叉溫度 T_{0k} 下為零之溫度相依熱膨脹係數的材料，零交叉溫度 T_{0k} 不同於溫度敏感元件之恆定或預定義溫度。較佳地，在第四投影透鏡之另外第三實施例中，在第四投影透鏡中之溫度敏感元件之溫度處於參考溫度 T_{Ref} 。參考溫度 T_{Ref} 具有與針對本發明之其他投影透鏡之涵義相同的涵義或如本文中所描述。較佳地但未必，參考溫度 $T_{Ref}=22^{\circ}\text{C}$ 或處於清潔室中之溫度，微影投影曝光裝置在清潔室中操作以進行大規模生產。

第四投影透鏡之另外第四實施例包含上述第二及第三實施例之特徵，且另外包含如下特徵：在不用第一調溫元件300來調溫本體 MB_k 之情況下，反射表面 MS_k 曝光於EUV光下會引起相對於參考溫度 T_{Ref} 的本體 MB_k 之溫度分佈 $\Delta T_k(x,y,z)=(T_k(x,y,z)-T_{Ref})$ ，其具有平均及最大溫度 ΔT_{kav} 及 ΔT_{kmax} ，EUV光藉由受照明主光罩反射且包含根據照明設定之角、偏振及強度之空間分佈。另外，在此實施例中，零交叉溫度 T_{0k} 高於參考溫度 T_{Ref} 及基於空間溫度分佈

$\Delta T_k(x,y,z)$ 的加上參考溫度之各別平均或最大溫度(引起 $\Delta T_{kav}+T_{ref}$ 或 $\Delta T_{kmax}+T_{Ref}$) 的最大值，其被表達為 $T_{0k} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{kav}+T_{Ref})$ 或 $T_{0k} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{kmax}+T_{Ref})$ 。

在第四投影透鏡之另外第五實施例中，具有零交叉溫度 T_{0k} 之材料歸因於製造程序而關於零交叉溫度之其實際值變化。此情形引起製造容差 ΔT_{0k} ，使得實際值在區間 $T_{0k} \pm \Delta T_{0k}$ 內。在此實施例中，零交叉溫度 T_{0k} 經選擇成高於參考溫度 T_{Ref} 及加上參考溫度之各別平均或最大溫度(基於空間溫度分佈 $\Delta T_k(x,y,z)$)(引起 $\Delta T_{kav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{kmax}+T_{Ref}$) 的最大值，該最大值增加達製造容差 ΔT_{0k} 之絕對值，被表達為 $T_{0k} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{kav}+T_{Ref}) + |\Delta T_{0k}|$ 、 $T_{0k} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{kmax}+T_{Ref}) + |\Delta T_{0k}|$ 。

在第四投影透鏡(及其實施例)之另外第六實施例中，反射光學元件 M_k 之零交叉溫度 T_{0k} 低於參考溫度 T_{Ref} ，或比參考溫度高至少 6 K。在零交叉溫度低於參考溫度之狀況下，反射光學元件 M_k 藉由第一調溫構件冷卻至接近於此零交叉溫度之溫度。第四投影透鏡之此特徵可用於本發明之第三投影透鏡中以冷卻具有最低零交叉溫度之鏡面，如上文所描述。若零交叉溫度 T_{0k} 比所提及之參考溫度高至少 6 K，則第四投影透鏡之此特徵可用於根據第一投影透鏡之投影透鏡中，在該投影透鏡中，兩個反射元件之零交叉溫度至少相差 6 K，且兩個反射元件中之一者具有接近於或處於參考溫度之零交叉溫度。如本發明之第一投影透鏡之描述中所提及，此投影透鏡係針對大於 8 W 之 EUV 曝光功率而設計(亦見圖 9 之描述)。

在第四投影透鏡(及其實施例)之另外第七實施例中，反射光學元件 M_k (在至少一空間維度上)均勻地經受由第一調溫元件300造成之熱轉移。此均勻熱轉移均勻地加熱或冷卻光學元件 M_k ，此情形在僅考慮第一調溫元件300之影響時引起沿著至少一維度的反射光學元件 M_k 之恆定溫度分佈。第四投影透鏡之此變體可用於第一、第二及第三投影透鏡中以(例如)使反射光學元件均勻地變熱至或接近於其零交叉溫度，如結合此等投影透鏡所描述，且如關於圖3a至圖3l及圖5示意性地所描述。有利地，在第四投影透鏡及其各種實施例之另外實施例中，光學元件 M_k 連接至用於其平移移動之致動器。此將針對光學元件均勻地加熱或冷卻至與參考溫度 T_{Ref} 不同之溫度的狀況使投影透鏡或光學元件 M_k 之光學像差最小化，如(例如)結合圖3a及圖3b所描述。

如圖10所示，在第四投影透鏡及其實施例之較佳第八實施例中，第一調溫元件300位於至少一光學元件 M_k 之本體 MB_k 之與其反射表面 MS_k 相對置的側上。此為第一調溫元件300之類似配置，如在圖5中針對加熱器300所描述。在第四投影透鏡及其實施例中，較佳地，第一調溫元件300包含一泊耳帖元件或輻射源，該泊耳帖元件或輻射源發射包含一波長之輻射，至少一光學元件 M_k 之本體 MB_k 對於該波長係半透明的。如圖10所示，在第四投影透鏡之另外實施例中，第二調溫元件350位於第一調溫元件300之與至少一光學元件 M_k 之本體 MB_k 相對置的側上。

在一實施例中，根據圖10，調溫元件300可為泊耳帖元件或可包含如已提及之泊耳帖元件。泊耳帖元件可加熱或冷卻圍繞其表面側362之外界，表面側362定向至反射元件或鏡面 $M_{k, 421}$ 之方向上。較佳地，泊耳帖元件平行於或大致平行於反射元件 $M_{k, 421}$ 之與反射表面 $MS_{k, 450}$ 相對置的表面而延伸。若泊耳帖元件具有至少此大小以使得反射表面或甚至反射元件可自一側被覆蓋，則可進行反射元件之均勻加熱及/或冷卻，此情形引起如本文中所描述(例如，結合圖3a)之所有優點。為了使泊耳帖元件更有效率，其較佳地藉由(例如)將其表面361中之一者耦接至冷卻器350或第二調溫元件之表面352中之一者而耦接至冷卻器350，或一般而言，耦接至第二調溫元件。冷卻器350可具有一種類之包夾結構，或一般而言，第二調溫元件可具有一種類之包夾結構，使得接觸第一調溫或泊耳帖元件300之表面352與定向至溫度敏感元件(比如，支撐元件480、外殼結構481或支撐構件451、461、471)之方向上的表面351分離。在一另外實施例中，第一調溫元件300可包含若干泊耳帖元件。較佳地，泊耳帖元件在至少一維度上並列地配置以形成類陣列配置。在兩個或甚至三個維度上泊耳帖元件之配置亦係有利的。較佳地，此配置之每一泊耳帖元件可藉由比如(例如)如圖5所描述之溫度控制系統的控制系統予以控制。在此狀況下，可調整在指向反射元件或鏡面之側上的可控制溫度剖面。此將以受控方式影響反射元件或鏡面 $M_{k, 421}$ 內之溫度分佈。此加熱器或調溫元件可用於根

據本發明之教示以使得熱誘發性光學像差或成像誤差最小化的方式而進行對反射元件或鏡面 M_k 421之溫度控制。在根據本發明之第三投影透鏡中，將所描述之泊耳帖元件300或泊耳帖元件之配置用作調溫構件將會具有如下優點：具有低零交叉溫度 T^1_{0mn} (根據本發明之第三投影透鏡)之鏡面可冷卻降至此溫度或甚至更低，此情形在零交叉溫度低於參考溫度 T_{Ref} 時係重要的。另外，具有高零交叉溫度 T^2_{0mn} (或高於參考溫度 T_{Ref} 之零交叉溫度)之鏡面可加熱高達此溫度或各別操作溫度，如上文結合根據本發明之投影透鏡中之一者所描述。

在上文所描述之第四投影透鏡及其實施例中之另外實施例中，投影透鏡包含用於控制至少一反射光學元件 M_k 之外界內之壓力 Δp 的壓力控制系統。下文將結合圖11來描述此壓力控制系統。壓力控制係基於選自由以下各者組成之群組的參數：反射光學元件 M_k 之溫度、時間、直接地或間接地影響光學元件 M_k 之溫度的參數、照明設定、主光罩之改變、光學元件 M_k 或投影透鏡之熱誘發性或機械誘發性光學像差資料，及來自模型之輸出參數。模型輸入包含選自由以下各者組成之群組的資料：反射光學元件 M_k 之溫度、時間、直接地或間接地影響光學元件 M_k 之溫度的參數、照明設定、光學元件 M_k 或投影透鏡之熱誘發性或機械誘發性光學像差資料，及主光罩之改變。另外，壓力控制系統較佳地包含在至少一光學元件 M_k 附近之氣體入口及/或氣體出口。

根據本發明之第四投影透鏡較佳地經操作成使得在投影透鏡經受EUV光之曝光功率之前的時間，藉由用具有第一加熱功率之第一調溫元件進行加熱而將光學元件 M_k 之溫度 T_k 控制至其值。接著，在投影透鏡經受EUV光之曝光功率的時間期間，第一調溫元件之加熱功率小於第一加熱功率。另外，在第四投影透鏡及其各種實施例之較佳實施例中，藉由第一調溫元件300加熱及/或冷卻之至少一光學元件 M_k 之溫度 T_k 為零交叉溫度 T_{0k} 。

圖11示意性地展示與如圖10所示之實施例類似的本發明之另外實施例，其中用相同參考數字來指明相似元件。在下文中，描述僅集中於與圖10之實施例的差異。未描述之元件及其功能與圖10所描述之元件及其功能相同。在圖11之實施例中，不存在加熱器或調溫構件。反射光學元件或鏡面 M_k 421之溫度係藉由反射元件或鏡面 M_k 421之外界內之壓力(被指明為 Δp)的壓力控制予以控制。在此狀況下，可(例如)依據反射元件或鏡面 M_k 421之溫度、依據時間或依據直接地或間接地影響反射元件或鏡面 M_k 421之溫度的其他參數來控制壓力。另外，控制壓力之控制系統可包含一模型，該模型使用比如所提及之函數變數的輸入資料以視情況調整該模型且提供輸出參數，比如，壓力，或直接地或間接地影響所提及外界中之壓力的任何參數。根據上文，本發明亦係關於第五投影透鏡。第五投影透鏡為EUV微影投影曝光系統之投影透鏡。該透鏡包含複數個反射光學元件 M_i ，每一反射光學元件包含一本體 MB_i 及一反

射表面 MS_i ，以在投影透鏡曝光於具有在小於50 nm之波長範圍中之波長的EUV光之曝光功率時將主光罩上之物場投影至基板上之像場上，此時，該光在主光罩藉由EUV微影投影曝光系統之照明系統照明時自主光罩反射。該透鏡進一步包含用於被動地或主動地支撐至少一光學元件 M_k 之支撐構件、用於控制至少一反射光學元件 M_k 之外界內之壓力 Δp 的壓力控制系統(如結合圖11之實施例所描述)，其中該控制係基於選自由以下各者組成之群組的參數：反射光學元件 M_k 之溫度、時間、直接地或間接地影響光學元件 M_k 之溫度的參數、照明設定、主光罩之改變、光學元件 M_k 或投影透鏡之熱誘發性或機械誘發性光學像差資料，及來自模型之輸出參數。另外，該模型使用選自由以下各者組成之群組的輸入資料：反射光學元件 M_k 之溫度、時間、直接地或間接地影響光學元件 M_k 之溫度的參數、照明設定、光學元件 M_k 或投影透鏡之熱誘發性或機械誘發性光學像差資料，及主光罩之改變。

下文亦參看圖11來更詳細地描述具有各種經修改實施例之第五投影透鏡。

在第五投影透鏡之第二實施例中，支撐構件包含用於被動地或主動地支撐至少一光學元件 M_k 的選自由以下各者組成之群組之溫度敏感元件(如結合圖10所描述)：鏈接點451、雙腳架結構461、鏈接元件471、支撐元件480及外殼結構481，其中溫度敏感元件藉由冷卻器350控制至恆定或預定義溫度。較佳地，冷卻器350空間地配置於溫度敏感

元件與至少一光學元件 M_k 之間。在第五投影透鏡及其各種實施例中，至少一光學元件 M_k 之外界內的壓力 Δp 係在0.1 Pa至10 Pa之範圍中，更佳地在1 Pa與5 Pa之間的範圍中。至少一光學元件 M_k 與冷卻器350之間的距離較佳地在1 mm至10 mm之範圍中，更佳地在3 mm與5 mm之間的範圍中。另外，壓力控制系統包含在至少一反射光學元件 M_k 附近之氣體入口及/或氣體出口。在氣體入口及/或氣體出口(圖11中未圖示)的情況下，可調整至少一光學元件 M_k 之外界內的壓力。在第五投影透鏡之另外較佳實施例中，至少一反射光學元件 M_k 與冷卻器350之間的冷卻器350之距離可調整以控制此等元件之間的熱轉移。

另外，與如關於圖10所描述之第四投影透鏡及其實施例類似，在第五投影透鏡中，至少一反射光學元件 M_k 亦包含具有在零交叉溫度 T_{0k} 下為零之溫度相依熱膨脹係數的材料。通常，此零交叉溫度不同於溫度敏感元件之恆定或預定義溫度，該溫度敏感元件之溫度較佳地但未必處於參考溫度 T_{Ref} ，如已結合本發明的結合圖10所描述之第四投影透鏡所提及。

第五投影透鏡有利地提供如下可能性：壓力 Δp (其係藉由控制系統控制)係使得至少一反射光學元件 M_k 之溫度處於其零交叉溫度。

通常，反射元件或鏡面 M_k 421之外界包含具有在約1 Pa至5 Pa(帕斯卡)之範圍中(較佳地為約3.5 Pa)之壓力的氣體。冷卻器350通常屏蔽溫度敏感元件，使得鏡面421之任

何溫度改變皆將不具有對其之影響，如已關於圖10所描述。為此，較佳地，冷卻器350空間地配置於溫度敏感元件與至少一光學元件 M_k 之間。藉由支撐構件支撐之至少一光學元件或鏡面421與冷卻器350之間的距離為約3 mm至5 mm。在此空間內，存在如所提及之氣體壓力。通常使用氬氣作為氣體。若在氬氣之狀況下壓力改變達約 ± 1 Pa，則氣體之熱阻將改變達約 $\pm 25\%$ 。藉由使用壓力控制系統以控制鏡面421之直接外界中之壓力，可依據時間而關於鏡面之絕對溫度且關於鏡面之溫度分佈來控制鏡面。作為一實例，在EUV投影程序開始時，鏡面421處於較低溫度，如在穩態下。在此狀況下，壓力縮減，使得鏡面較快地變熱至其穩態溫度。作為另一實例，若照明設定及/或主光罩改變，則最可能的是，EUV投影透鏡所經受之功率(如上文所描述)亦將改變。在此狀況下，鏡面421將變熱至較高或較低穩態溫度。在第一狀況下，壓力增加以縮減冷卻器350與鏡面421之間的熱阻。在第二狀況下，壓力將縮減以增加氣體外界之熱阻以使鏡面達到其最佳穩態溫度，該溫度最接近於零交叉溫度(此關於圖7予以解釋)。在鏡面421之外界中應用氣體壓力之調節將會影響穩態溫度。理想地，該穩態溫度應為零交叉溫度以使光學像差最小化。作為另外應用，亦可以調整某一鏡面 M_k 之直接外界中之壓力以使得在穩態下此鏡面之平均溫度 T_{avk} 最佳地配合於零交叉溫度的方式來補償此鏡面之零交叉溫度之小變化(例如，歸因於製造容差)。此壓力控制要求EUV透鏡之個別

鏡面或反射光學元件之直接外界中的壓力可獨立地改變。實務上，此係藉由在鏡面附近之氣體入口及氣體出口而進行。由此，在第五投影透鏡之另外實施例中，壓力控制系統包含在至少一反射光學元件 M_k 附近之氣體入口及氣體出口，該至少一反射光學元件 M_k 係藉由支撐構件支撐。

在第五投影透鏡之另外實施例中，亦可調整冷卻器表面352之距離，或一般而言，亦可調整冷卻器350與鏡面421或反射光學元件 M_k 之間的距離，以控制此等元件之間的熱轉移。

圖12a展示對於5 mm及25 mm之傳輸路徑的Zerodur[®]之傳輸。其展示出：Zerodur[®]針對具有在700 nm直至約2 μm 之範圍中之波長的光(在本文中被進一步指明為紅外線或IR輻射或IR光)具有大致恆定吸收係數。Zerodur[®]中針對具有在此範圍中之波長的IR光的衰減長度為約50 mm至約100 mm。此起因於圖12a。圖3d及圖3h亦展示用於EUV投影透鏡中之鏡面的典型鏡面大小。直徑通常在200 mm至600 mm之範圍中，且厚度高達100 mm。此意謂：若IR光在Zerodur[®]材料中通過50 mm至約100 mm之距離，則其能量之63%沿著其路徑被吸收。因此，衰減長度良好地配合於EUV透鏡之鏡面的大小，使得鏡面在由Zerodur[®]製成時或在包含Zerodur[®]時可藉由所提及之IR光加熱。此係因為IR光將其能量堆積遍及約50 mm直至甚至100 mm及更長之距離。此距離可以或多或少均勻之方式同時地變暖。此意謂鏡面 M_k 之鏡面本體 MB_k (如(例如)圖5、圖10或圖11所示)對

於包含在紅外線範圍中之波長的輻射係半透明的，如圖12a所示。為了使用此效應，圖12b示意性地展示本發明之另外實施例，其中反射光學元件或鏡面 M_k 421在其整個表面上或在幾乎其整個表面上塗佈有塗層C以使鏡面可用IR輻射予以加熱。塗層C不同於反射表面 MS_k 450，反射表面 MS_k 450亦可包含呈用以反射EUV光之多層之形式的塗層。

塗層C經選擇成使得反射紅外線輻射IR。可使用極薄金屬層作為塗層材料。亦可使用反射IR輻射之其他塗層。另外，塗層及IR輻射之波長可經調適成使得其反射最佳化。塗層C具有如下功能：IR輻射不能離開鏡面本體 MB_k 且鏡面被更均勻地加熱，此係歸因於在圖12b中經展示為1002之各種反射。在此方法的情況下，IR輻射幾乎瞬間地且完全地將其能量堆積於鏡面本體 MB_k 內。為了使IR輻射進入鏡面本體 MB_k ，其至少一表面區域未被塗佈或塗層對於IR輻射部分地透明。此等表面區域係藉由1004及1006指明且被稱作IR窗。該IR窗或複數個IR窗1004、1006定位於鏡面上之合適位置上，該位置考慮在鏡面本體材料中IR輻射之衰減長度、鏡面之幾何形式及大小。又，考慮關於構造空間之任何限制。然而，因為衰減長度比較大，或換言之，在鏡面之大小的範圍中，所以IR窗之位置並不如此關鍵。尤其，該位置可在鏡面本體 MB_k 之側上，反射元件或鏡面之反射表面 MS_k 450配置於該側上，如圖12b之實例所示。此情形具有如下優點：在鏡面前方之構造空間亦可用以將

IR輻射耦合至反射元件或鏡面中。大多數其他加熱器或調溫構件不能用於此空間中，此係因為其將阻擋或遮蔽EUV投影射束1000。較佳地，IR窗環繞反射表面 MS_k 450，如圖12b示意性地所示。作為另外選項，IR窗包含某一表面粗糙度或繞射結構以將IR輻射散射或分佈於鏡面本體內。另外，IR輻射可至少部分地共用與EUV投影射束1000相同之構造空間，如圖12b中針對右邊之IR射束所示。可使用比如雷射、IR二極體、燈絲或電燈等等之任何源作為IR輻射源。取決於IR源，可使用合適光學配置以組態IR輻射，使得其可通過IR窗而耦合至反射元件或鏡面 M_k 421中。此光學配置可包含透鏡及鏡面，或一般而言，包含折射、繞射及/或反射光學元件。或者或另外，此光學配置亦可包含石英纖維或光纖(一般而言，光導)，例如，以將來自IR源之IR輻射輸送至IR窗1004、1006。在此狀況下，則IR源可甚至定位於EUV投影透鏡外部或EUV微影投影系統外部。如關於圖12b所描述之反射光學元件或鏡面 M_k 421具有如下優點：不存在加熱器或調溫元件或調溫構件(其包含IR源及用以組態IR光之可選光學配置)與反射元件或鏡面 M_k 之機械接觸。

在本發明之另外實施例中，圖12b之反射元件或鏡面可連同調溫元件或調溫構件(例如，圖10之實施例之加熱器300)及/或連同冷卻器350被使用，如彼處所描述，或如圖11之實施例所描述。另外或作為一替代例，如圖11所描述之壓力控制亦可連同圖12b之實施例被使用。所有此等實

施例皆可有利地用於EUV投影透鏡中，尤其是用於根據本發明如上文所描述之EUV投影透鏡中，較佳地用於根據本發明之第一、第二及第三投影透鏡中，其具有使熱誘發性光學像差最小化之優點。

圖12a及圖12b之上文論述引起根據本發明且說明於圖12b中之第六投影透鏡。用於EUV微影投影曝光系統之第六投影透鏡之第一實施例包含複數個反射光學元件 M_i 。每一反射光學元件 M_k 包含一本體 MB_i 及一反射表面 MS_i ，以在投影透鏡曝光於具有在小於50 nm之波長範圍中之波長的EUV光之曝光功率時將主光罩上之物場投影至基板上之像場上，EUV光在主光罩藉由EUV微影投影曝光系統之照明系統照明時自主光罩反射。另外，至少一反射光學元件 M_k 包含具有在零交叉溫度 T_{0k} 下為零之溫度相依熱膨脹係數的材料。另外，光學元件 M_k 之本體 MB_k 對於IR輻射係半透明的，且具有本體 MB_k 之至少一反射光學元件 M_k 包含在本體 MB_k 之其整個表面上或幾乎其整個表面上之塗層C。塗層C使IR輻射在本體 MB_k 內部反射。

第六投影透鏡之第二實施例包含IR光源或包含用以形成IR光路之光學配置。IR光源或IR光路將IR輻射耦合至包含塗層C之本體 MB_k 中。在一較佳實施例中，IR光源或光學配置包含選自由以下各者組成之群組的元件：雷射、IR二極體、燈絲、透鏡、鏡面、折射元件、繞射元件、反射元件、光導及光纖。另外，本體 MB_k 較佳地包含未塗佈有塗層C之表面區域1004、1006，或包含具有對於IR輻射係半

透明之塗層的表面區域1004、1006，以用於將IR輻射耦合至本體 MB_k 中。較佳地，塗層C包含金屬。

在第六投影透鏡之另外實施例中，表面區域1004、1006配置於本體 MB_k 之包含反射表面 MS_k 的側上。或者或另外，表面區域1004、1006環繞反射表面 MS_k 。另外，表面區域1004、1006可包含用以將IR輻射散射至本體中之表面粗糙度，或表面區域可包含用以藉由繞射而將IR輻射分佈於本體 MB_k 內之繞射結構。

在第六投影透鏡之另外實施例中，在反射表面 MS_k 附近之構造空間係藉由IR輻射及EUV光照明。較佳地，IR源配置於投影透鏡外部或EUV微影投影曝光系統外部。

另外，如在上文所描述之第一至第五投影透鏡中，亦在第六投影透鏡中，光學元件 M_k 視情況連接至用於其平移移動之致動器。

與第一至第五投影透鏡類似，第六投影透鏡亦可包含如下實施例：其包含位於至少一光學元件 M_k 之本體 MB_k 之與其反射表面 MS_k 相對置的側上的冷卻器350。另外，冷卻器350與至少一反射光學元件 M_k 相隔之距離較佳地係可調整的，以用於控制此等元件之間的熱轉移。或者或另外，第六投影透鏡(及其實施例)包含用於控制至少一反射光學元件 M_k 之外界內之壓力 Δp 的壓力控制系統。另外，所提及之壓力控制系統可包含在至少一光學元件 M_k 附近之氣體入口及/或氣體出口。

在不用IR輻射來輻射第六投影透鏡之本體 MB_k 之情況

下，反射表面 MS_k 曝光於EUV光(其藉由受照明主光罩反射，且其包含根據照明設定之角、偏振及強度之空間分佈)會引起相對於參考溫度 T_{Ref} 的具有溫度 $T_k(x,y,z)$ 之本體 MB_k 之溫度分佈 $\Delta T_k(x,y,z)=(T_k(x,y,z)-T_{Ref})$ 。該溫度分佈包含平均及最大溫度 ΔT_{kav} 及 ΔT_{kmax} 。較佳地，零交叉溫度 T_{0k} 高於參考溫度 T_{Ref} 及加上參考溫度的基於空間溫度分佈 $\Delta T_k(x,y,z)$ 之各別平均或最大溫度 $\Delta T_{kav}+T_{ref}$ 或 $\Delta T_{kmax}+T_{Ref}$ 的最大值，被表達為 $T_{0k}>\max(T_{Ref},\Delta T_{kav}+T_{Ref})$ 或 $T_{0k}>\max(T_{Ref},\Delta T_{kmax}+T_{Ref})$ 。另外，若具有零交叉溫度 T_{0k} 之材料歸因於製造而關於零交叉溫度之其實際值變化，從而引起製造容差 ΔT_{0k} ，使得零交叉溫度 T_{0k} 之實際值在區間 $T_{0k} \pm \Delta T_{0k}$ 內，則零交叉溫度 T_{0k} 經選擇成高於參考溫度 T_{Ref} 及加上參考溫度的基於空間溫度分佈 $\Delta T_k(x,y,z)$ 之各別平均或最大溫度 $\Delta T_{kav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{kmax}+T_{Ref}$ 的最大值，其中該最大值增加達製造容差 ΔT_{0k} 之絕對值，被表達為 $T_{0k}>\max(T_{Ref},\Delta T_{kav}+T_{Ref})+|\Delta T_{0k}|$ 、 $T_{0k}>\max(T_{Ref},\Delta T_{kmax}+T_{Ref})+|\Delta T_{0k}|$ 。

在第六投影透鏡(及其各種實施例)之另外實施例中，在投影透鏡經受EUV光之曝光功率之前的時間，藉由用第一IR輻射功率來輻照光學元件 MB_k 而將光學元件 M_k 之溫度 T_k 控制至其值。視情況，在投影透鏡經受EUV光之曝光功率之時間期間，IR輻射功率小於第一IR輻射功率。

另外，本發明係關於一種鏡面(如圖12所示)，其包含本體 MB_k 及反射表面 MS_k ，以及具有在零交叉溫度 T_{0k} 下為零之溫度相依熱膨脹係數的材料。另外，光學元件 M_k 之本體

MB_k 對於IR輻射係半透明的，且本體 MB_k 包含在本體 MB_k 之其整個表面上或幾乎其整個表面上之塗層C，其中塗層C使IR輻射在本體 MB_k 內部反射，且其中鏡面適應於EUV微影投影曝光系統之投影透鏡，以在投影透鏡曝光於具有在小於50 nm之波長範圍中之波長的EUV光之曝光功率時將主光罩上之物場投影至基板上之像場上。視情況，鏡面本體 MB_k 包含未塗佈有塗層C之表面區域1004、1006，或其包含具有對於IR輻射係半透明之塗層的表面區域1004、1006，其皆用於將IR輻射耦合至本體 MB_k 中。較佳地，塗層包含金屬。在鏡面之另外實施例中，表面區域1004、1006配置於本體 MB_k 之經配置有反射表面 MS_k 的側上。或者或另外，表面區域1004、1006環繞反射表面 MS_k 。在根據本發明之鏡面之另外實施例中，表面區域1004、1006包含用以將IR輻射散射至本體中之表面粗糙度，或表面區域包含用以藉由繞射而將IR輻射分佈於本體 MB_k 內之繞射結構。

圖12c示意性地展示本發明之另外實施例，其中反射光學元件或鏡面 M_k 421在其表面上至少部分地塗佈有塗層C2以使鏡面可加熱。根據此實施例，塗層C2不同於反射表面 MS_k 450，反射表面 MS_k 450亦可包含呈用以反射EUV光1000之多層塗層之形式的塗層。塗層C2經選擇成使得其將具有某電阻，此係其為何被稱作電阻性塗層C2的原因。若在電阻性塗層C2中產生電流，則產生能量，該能量作為熱能而轉移至變熱之反射元件或鏡面 M_k 。以此方式，

可控制反射元件或鏡面 M_k , 421之溫度。在此實施例中，加熱器或調溫構件300包含電阻性塗層C2及連接至塗層C2之電壓源VS。根據本發明之此實施例，電阻性塗層C2可覆蓋本體 M_k 之表面。較佳地，在反射表面 MS_k , 450與本體 MB_k 之間不存在電阻性塗層C2。或者，僅本體之表面之一部分或若干部分塗佈有電阻性塗層C2。此等部分經選擇成使得可達成在本體中及/或在反射表面上之均勻溫度分佈。此情形將使反射元件或鏡面之像差最小化，如在上述實施例中。電阻性塗層C2中之電流可藉由電壓產生。為此，電壓源VS連接至光學元件 M_k , 421之電阻性塗層C2。此連接可藉由纜線1008而進行。或者或另外，電壓源VS安裝於本體上，如藉由數字1010所示。若電壓源安裝於本體 MB_k 上，則不存在加熱器或調溫構件300(其藉由塗層C2形成)至支撐結構之機械連接，如使用纜線或電線1008時之情況。有利地，因而，將不存在自纜線或電線轉移至鏡面或反射光學元件 M_k , 421之力或力矩。

在根據如圖12c所描述之實施例的本發明之另外實施例中，圖12c之反射元件或鏡面可連同圖10之實施例之調溫構件或加熱器300及/或連同冷卻器350被使用，如所描述。另外或作為一替代例，如結合圖11所描述之壓力控制亦可連同圖12c之實施例被使用。另外，可(例如)藉由將塗層C用於反射IR光且用作電阻性塗層C2來組合圖12b及圖12c之實施例。作為一替代例，(圖12b之)IR反射塗層C可用電阻性塗層C2進行覆蓋，電阻性塗層C2係藉由電壓源

VS加熱，如圖12c所描述。再次，所有此等實施例皆可有利地用於EUV投影透鏡中，尤其是用於根據本發明如上文所描述之EUV投影透鏡中，較佳地用於根據本發明之第一、第二及第三至第六投影透鏡中，以縮減熱誘發性光學像差。

歸因於結合具有如結合圖12c所描述之鏡面或反射光學元件之投影透鏡之實施例所描述的優點，本發明亦係關於第七投影透鏡且係關於其中所使用之鏡面。

結合圖12c，根據本發明之鏡面包含本體 MB_k 及反射表面 MS_k 。另外，鏡面包含具有在零交叉溫度 T_{0k} 下為零之溫度相依熱膨脹係數的材料，且本體 MB_k 至少部分地塗佈有電阻性塗層C2，其中電阻性塗層C2具有適於藉由電阻性加熱來加熱本體之電阻。另外，鏡面適應於EUV微影投影曝光系統之投影透鏡，以在投影透鏡曝光於具有在小於50 nm之波長範圍中之波長的EUV光之曝光功率時將主光罩上之物場投影至基板上之像場上。較佳地，電阻性加熱在0.01 W與1 W之間。另外，塗層C2連接至電壓源VS。電壓源較佳地附接至鏡面本體 MB_k ，或電壓源藉由電線1008而電連接至鏡面本體 MB_k 。

在如結合圖12c所描述之鏡面的另外實施例中，鏡面之塗層C2覆蓋鏡面本體 MB_k ，惟反射表面 MS_k 之區域中除外。另外，有利地，光學元件 M_k 之本體 MB_k 對於IR輻射係半透明的，且電阻性塗層C2塗佈於反射塗層C上，反射塗層C塗佈於本體 MB_k 之整個表面上或幾乎整個表面上。因

此，可達成具有如結合圖 12b 所描述之特徵的鏡面。為此，較佳地，反射塗層 C 使 IR 輻射在本體 MB_k 內部反射。在鏡面之另外較佳實施例中，鏡面本體 MB_k 包含未塗佈有塗層 C 及 C2 之表面區域 1004、1006，或其包含具有對於 IR 輻射係半透明之塗層的表面區域 1004、1006。鏡面之此等實施例具有如下優點：IR 輻射可在此等表面區域 1004、1006 處耦合至鏡面本體 MB_k 中。表面區域 1004、1006 較佳地配置於本體 MB_k 之具有反射表面 MS_k 的側上，且視情況，表面區域 1004、1006 環繞反射表面 MS_k 。

在如結合圖 12c 所描述之鏡面之另外較佳實施例中，表面區域 1004、1006 包含用以將 IR 輻射散射至本體中之表面粗糙度，或表面區域包含用以藉由繞射而將 IR 輻射分佈於本體 MB_k 內之繞射結構。另外，電阻性塗層 C2 較佳地包含金屬，且亦較佳地，反射塗層 C 及電阻性塗層 C2 包含相同金屬。

如上文所提及，本發明亦係關於第七投影透鏡以使用如結合圖 12c 所描述之優點。EUV 微影投影曝光系統之第七投影透鏡包含複數個反射光學元件 M_i ，其包含本體 MB_i 及反射表面 MS_i ，以在投影透鏡曝光於具有在小於 50 nm 之波長範圍中之波長的 EUV 光之曝光功率時將主光罩上之物場投影至基板上之像場上。EUV 光在主光罩藉由 EUV 微影投影曝光系統之照明系統照明之後自主光罩反射。另外，至少一反射光學元件 M_k 包含結合圖 12c 的本發明之鏡面之上述實施例的特徵。另外，光學元件 M_k 視情況連接至用於其

平移移動之致動器。在一另外實施例中，第七投影透鏡包含冷卻器350，冷卻器350位於至少一光學元件 M_k 之本體 MB_k 之側上，其中該側與其反射表面 MS_k 相對置。視情況，冷卻器350與至少一反射光學元件 M_k 相隔之距離係可調整的，以用於控制此等元件之間的熱轉移。

根據本發明之第七投影透鏡之另外實施例包含用於控制至少一反射光學元件 M_k 之外界內之壓力 Δp 的壓力控制系統，至少一反射光學元件 M_k 包含結合圖12c的本發明之鏡面之上述實施例的特徵。另外，壓力控制系統視情況包含在至少一光學元件 M_k 附近之氣體入口及/或氣體出口。

在第七投影透鏡之另外實施例中，若反射表面 MS_k 曝光於EUV光，則投影透鏡變熱而不加熱在本體 MB_k 上之電阻性塗層C2。EUV光藉由受照明主光罩反射且包含根據照明設定之角、偏振及強度之空間分佈，從而引起相對於參考溫度 T_{Ref} 的本體 MB_k 之溫度分佈 $\Delta T_k(x,y,z)=(T_k(x,y,z)-T_{Ref})$ 。溫度分佈 $\Delta T_k(x,y,z)=(T_k(x,y,z)-T_{Ref})$ 包含平均及最大溫度 ΔT_{kav} 及 ΔT_{kmax} 。另外，鏡面本體 MB_k 之零交叉溫度 T_{0k} 經選擇成高於參考溫度 T_{Ref} 及加上參考溫度的基於空間溫度分佈 $\Delta T_k(x,y,z)$ 之各別平均或最大溫度 $\Delta T_{kav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{kmax}+T_{Ref}$ 的最大值，被表達為 $T_{0k}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{kav}+T_{Ref})$ 或 $T_{0k}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{kmax}+T_{Ref})$ 。另外，亦在第七投影透鏡中，可考慮零交叉溫度之任何製造容差。在第七投影透鏡之此實施例中，具有零交叉溫度 T_{0k} 之材料歸因於製造而關於零交叉溫度之其實際值變化，此情形引起製造容差

ΔT_{0k} ，使得該實際值在區間 $T_{0k} \pm \Delta T_{0k}$ 內。在此狀況下，零交叉溫度 T_{0k} 經選擇成高於參考溫度 T_{Ref} 及加上參考溫度的基於空間溫度分佈 $\Delta T_k(x,y,z)$ 之各別平均或最大溫度 ($\Delta T_{kav} + T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{kmax} + T_{Ref}$) 的最大值。此最大值另外增加達製造容差 ΔT_{0k} 之絕對值，被表達為 $T_{0k} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{kav} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0k}|$ 、 $T_{0k} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{kmax} + T_{Ref}) + |\Delta T_{0k}|$ 。

在第七投影透鏡(及其各種實施例)之較佳實施例中，在投影透鏡經受 EUV 光之曝光功率之前的時間，藉由用電壓源之第一電功率來加熱電阻性塗層 C2 而將光學元件 M_k 之溫度 T_k 控制至其值。另外，在投影透鏡經受 EUV 光之曝光功率之時間期間，用於加熱電阻性塗層 C2 之電功率較佳地小於第一電功率。

圖 12d 示意性地展示本發明之另外實施例，其中反射光學元件或鏡面 M_k 係藉由多區線柵 1050 至少部分地加熱，多區線柵 1050 配置於反射表面 MS_k 附近。此反射元件或鏡面可用包含以下基本步驟之程序予以製造：

1. 較佳地，選擇具有高零交叉溫度 T_{0k} 之材料作為本體材料 MB_k ，如(例如)此描述中所描述之實施例中至少一者中所使用。作為一實例，本體材料之至少一零交叉溫度為 30°C 或 30°C 以上。

2. 在本體材料上產生線柵 1050，例如，藉由在本體材料 MB_k 之表面上藉由電鍍程序形成薄電阻性塗層。電阻性塗層可為或可包含不變鋼(Invar)。

3. 將各種圖案結構 1051 蝕刻至電阻性塗層中，電阻性

塗層形成多區線柵1050之結構。此係藉由應用已知微影方法而進行。

4. 將各種圖案結構1051進行電連接以形成可多工積體電路。

5. 藉由具有低CTE之絕緣層1052(比如，石英)覆蓋形成電路之圖案結構1051，使得完全地覆蓋積體電路。

6. 將絕緣層1052之表面拋光至表面外形準確度，此為反射元件或鏡面 M_k 所需要。

7. 使經拋光絕緣層1052覆蓋有多層反射塗層1054，藉以，可選壓實層1053可在絕緣層1052與反射塗層1054之間，其形成反射表面 MS_k 。

在反射元件或鏡面之較佳實施例中，藉由多區線柵覆蓋之區域為反射表面 MS_k 之區域的約50%，甚至高達95%，如圖12d示意性地所示。甚至更高之覆蓋係較佳的。此情形具有如下優點：沿著線柵之電線產生之熱量堆積於本體材料之大區域上。

具有線柵之反射光學元件具有如下優點：其可被加熱而無需任何額外加熱器300，如上述各種實施例中所提及。舉例而言，在EUV微影投影曝光系統之起動期間，在EUV投影透鏡曝光於EUV投影射束之前，光學元件可變熱至其零交叉溫度。此情形引起如結合上述第二投影透鏡所描述之優點。線柵之主要優點為：其可控制極接近於反射表面 MS_k 處之溫度。若EUV投影射束具有在反射表面上之非均一強度分佈且因此以非均一方式來加熱此表面，則將(例

如)藉由控制系統200控制線柵以縮減在具有大EUV強度或大EUV吸收之位置處的加熱功率，且其將增加在具有低或零EUV吸收之位置處的加熱功率。在此調節的情況下，可達成橫越鏡面或反射光學元件之反射表面的幾乎恆定溫度剖面，此情形引起幾乎無熱誘發性像差。

另外，線柵亦可用以量測溫度，其具有藉由柵格結構界定之空間解析度。對於溫度量測，量測與溫度有關的電線之電阻。

另外，具有線柵之光學元件可與如本文中所描述之其他加熱及調溫概念一起使用。舉例而言，具有線柵之光學元件可與如關於圖10所描述之加熱器及冷卻器組合。在此狀況下，線柵可用以僅僅控制在反射表面 MS_k 附近之極小溫度變化。另外，可藉由線柵電阻值控制或部分地控制如圖10所示之實施例的加熱器300。

此組合式系統之額外優點為：溫度控制系統可較簡單，此係因為無需前饋控制。此係因為：若線柵加熱器僅僅控制圍繞鏡面材料之零交叉溫度之小溫度範圍，且若其他加熱器或加熱概念將鏡面加熱至接近於此零交叉溫度，則可用此線柵加熱器來極快地調整反射表面之表面溫度。

歸因於結合具有如結合圖12d所描述之鏡面或反射光學元件之投影透鏡之實施例所描述的優點，本發明亦係關於第八投影透鏡且係關於具有其中所使用之所描述線柵1050的鏡面。

如所提及，本發明係關於一種具有線柵之鏡面，該鏡面

包含本體 MB_k 及反射表面 MS_k 。另外，本體 MB_k 包含具有在零交叉溫度 T_{0k} 下為零之溫度相依熱膨脹係數的材料，其中本體 MB_k 之表面之至少一部分包含用於本體 MB_k 之電阻性加熱的線柵 1050。另外，鏡面較佳地適應於用於 EUV 微影投影曝光系統之投影透鏡中，以在投影透鏡曝光於具有在小於 50 nm 之波長範圍中之波長的 EUV 光之曝光功率時將主光罩上之物場投影至基板上之像場上。另外，鏡面之線柵 1050 係藉由具有塗層材料之電阻性塗層形成，且該塗層材料係選自由以下各者組成之群組：金屬、半導體材料、包含碳之材料，及不變鋼。

較佳地，鏡面之線柵 1050 包含具有至少 $N > 1$ 個電路之圖案結構 1051。較佳地，圖案結構 1051 包含至少 $N + 1$ 個電連接器以將 N 個電路連接至電力源以使 N 個電路經受電功率。較佳地，關於 N 個電路所經受之電功率，可彼此獨立地控制 N 個電路。另外，線柵 1050 之加熱功率在 0.01 W 與 5 W 之間，較佳地在 0.01 W 與 1 W 之間。具有線柵 1050 之鏡面連接至至少一電力源。該電力源可附接至鏡面本體 MB_k ，或該電力源(例如)藉由電線而電連接鏡面本體 MB_k 。另外，電力源包含至少兩個電壓及/或電流源。另外，電力源可包含多工器電路。在多工器電路的情況下，線柵之 N 個電路依序地經受來自電力源之電功率。另外，根據本發明的具有線柵之鏡面包含絕緣層 1052，其中線柵 1050 之圖案結構 1051 係藉由絕緣層 1052 覆蓋。絕緣層 1052 包含低 CTE 材料。另外，絕緣層 1052 經拋光以具有在 ± 3 nm

RMS之準確度內的表面外形資料，如鏡面之反射表面 MS_k 所需要。為了改良鏡面針對EUV光之反射率，具有線柵1050之鏡面的反射表面 MS_k 包含多層堆疊1054，多層堆疊1054配置於絕緣層1052上方或配置於壓實層1053上方。壓實層1053配置於絕緣層1052上方。較佳地，鏡面之線柵1050覆蓋反射表面 MS_k 之區域的50%以上。

另外，具有線柵1050之上述鏡面可經修改成使得鏡面亦包含如結合圖12b及圖12c所描述之鏡面之特徵。作為一實例，鏡面之本體 MB_k 至少部分地塗佈有電阻性塗層C2，惟反射表面 MS_k 之區域中除外。電阻性塗層C2具有適於藉由電阻性加熱來加熱鏡面本體 MB_k 之電阻。或者或另外，光學元件 M_k 之本體 MB_k 對於IR輻射係半透明的。若如此，則有利地，鏡面之本體 MB_k 包含塗佈於本體 MB_k 之整個表面上或幾乎整個表面上的反射塗層C，其中反射塗層C使IR輻射在本體 MB_k 內部反射。在根據本發明的具有線柵之鏡面之另外實施例中，電阻性塗層C2在反射塗層C上。在此狀況下，可藉由IR輻射(歸因於塗層C)及/或藉由電阻性加熱(歸因於塗層C2)加熱鏡面，其中接近於反射表面 MS_k 之區域係用線柵1051予以加熱。為了用IR輻射來加熱鏡面，鏡面有利地包含未塗佈有反射塗層C及電阻性塗層C2之表面區域1004、1006，或其包含具有對於IR輻射係半透明之塗層的表面區域1004、1006。此表面區域1004、1006有利地可用於將IR輻射耦合至本體 MB_k 中，其中IR輻射有助於鏡面之加熱。較佳地，具有反射塗層C或電阻性塗層C2之

鏡面包含在塗層中之金屬，較佳地，若應用反射塗層C及電阻性塗層C2兩者，則該金屬對於該兩個塗層係相同的。另外，用於將IR輻射耦合至本體 MB_k 中之表面區域1004、1006配置於本體 MB_k 之具有反射表面 MS_k 的側上，或配置於環繞反射表面 MS_k 之表面區域1004、1006上。此表面區域1004、1006有利地可包含用以將IR輻射散射至本體中之表面粗糙度，或表面區域1004、1006可包含用以藉由繞射而將IR輻射分佈於本體 MB_k 內之繞射結構。

如上文所提及，本發明亦係關於第八投影透鏡以使用如結合圖12d所描述之優點及包含線柵1050之鏡面及其如上文所論述之各種實施例的優點。

在EUV微影投影曝光系統之第八投影透鏡之第一實施例中，包含複數個反射光學元件 M_i 。每一反射光學元件 M_i 包含一本體 MB_i 及一反射表面 MS_i ，以在投影透鏡曝光於具有在小於50 nm之波長範圍中之波長的EUV光之曝光功率時將主光罩上之物場投影至基板上之像場上。EUV光在主光罩藉由EUV微影投影曝光系統之照明系統照明之後自主光罩反射。另外，第八投影透鏡包含至少一反射光學元件 M_k ，至少一反射光學元件 M_k 包含鏡面之特徵，其包含根據此鏡面之上述實施例中之一者的線柵1050。另外，因為鏡面之特徵具有線柵1050的一個反射光學元件 M_k 係可加熱的，所以有利的是將光學元件 M_k 連接至用於其平移移動之致動器。另外，在第八投影透鏡之實施例中，該透鏡包含冷卻器350或第一調溫元件300，其位於至少一光學元件 M_k

之本體 MB_k 之側上，該側與其反射表面 MS_k 相對置。視情況，冷卻器350或第一調溫元件300與至少一反射光學元件 M_k 相隔之距離係可調整的，以用於控制此等元件之間的熱轉移。在第八投影透鏡之另外實施例中，該透鏡包含用於控制至少一反射光學元件 M_k 之外界內之壓力 Δp 的壓力控制系統。較佳地，該壓力控制系統包含在至少一光學元件 M_k 附近之氣體入口及/或氣體出口。

在一另外實施例中，第八投影透鏡包含材料選擇，使得在不加熱本體 MB_k 上之線柵1050之情況下，反射表面 MS_k 曝光於EUV光(其藉由受照明主光罩反射，且其包含根據照明設定之角、偏振及強度之空間分佈)會引起相對於參考溫度 T_{Ref} 的具有溫度 $T_k(x,y,z)$ 之本體 MB_k 之溫度分佈 $\Delta T_k(x,y,z)=(T_k(x,y,z)-T_{Ref})$ 。溫度分佈 $\Delta T_k(x,y,z)=(T_k(x,y,z)-T_{Ref})$ 包含平均及最大溫度 ΔT_{kav} 及 ΔT_{kmax} 。另外，本體 MB_k 之零交叉溫度 T_{0k} 經選擇成高於參考溫度 T_{Ref} 及加上參考溫度的基於空間溫度分佈 $\Delta T_k(x,y,z)$ 之各別平均或最大溫度($\Delta T_{kav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{kmax}+T_{Ref}$)的最大值，被表達為 $T_{0k}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{kav}+T_{Ref})$ 或 $T_{0k}>\max(T_{Ref}, \Delta T_{kmax}+T_{Ref})$ 。

通常，具有零交叉溫度 T_{0k} 之材料歸因於製造問題而關於零交叉溫度之其實際值變化。為此，第八投影透鏡之另外較佳實施例考慮到，具有零交叉溫度 T_{0k} 之材料歸因於製造而關於零交叉溫度之其實際值變化，此情形引起製造容差 ΔT_{0k} ，使得該實際值在區間 $T_{0k} \pm \Delta T_{0k}$ 內。在此實施例中，零交叉溫度 T_{0k} 經選擇成高於參考溫度 T_{Ref} 及加上參考

溫度的基於空間溫度分佈 $\Delta T_k(x,y,z)$ 之各別平均或最大溫度($\Delta T_{kav}+T_{Ref}$ 或 $\Delta T_{kmax}+T_{Ref}$)的最大值，且該最大值進一步增加達製造容差 ΔT_{0k} 之絕對值，被表達為 $T_{0k} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{kav}+T_{Ref}) + |\Delta T_{0k}|$ 、 $T_{0k} > \max(T_{Ref}, \Delta T_{kmax}+T_{Ref}) + |\Delta T_{0k}|$ 。

在第八投影透鏡之另外實施例中，在投影透鏡經受EUV光之曝光功率之前的時間，藉由用電力源之第一電功率來加熱線柵1050而將光學元件 M_k 之溫度 T_k 控制至其值。視情況，在使投影透鏡經受EUV光之曝光功率之時間期間，用於加熱線柵1050之電功率經選擇成小於第一電功率。另外，第八投影透鏡可包含一控制器，其用於控制線柵1050所經受之電功率，或用於判定線柵1050之電阻值或圖案結構1051之電路中至少一者的電阻值。另外，視情況，控制器控制第一調溫元件300或冷卻器350之溫度。另外，視情況，控制器控制第一調溫元件300或冷卻器350與至少一反射光學元件 M_k 相隔之距離，或控制器控制光學元件 M_k 之外界內之壓力 Δp 。一般而言，該控制係基於選自由以下各者組成之群組的參數：溫度、線柵1050之電阻值或線柵1050之圖案結構1051之至少一電路的電阻值、時間、直接地或間接地影響光學元件 M_k 之溫度的參數、照明設定、EUV光之曝光功率之改變、主光罩之改變、光學元件 M_k 或投影透鏡之熱誘發性或機械誘發性光學像差資料，及來自模型之輸出參數。另外，控制器較佳地將鏡面 M_k 之反射表面 MS_k 或本體 MB_k 之溫度控制至零交叉溫度 T_{0k} 。在第八投影透鏡之另外實施例中，零交叉溫度 T_{0k} 經選擇成低於參考

溫度 T_{Ref} ，或其經選擇成使得其比參考溫度 T_{Ref} 高至少6 K。

圖13示意性地展示根據本發明的與反射元件或鏡面 M_k 421有關的加熱器或調溫構件300之若干另外實施例。又，在此等實施例的情況下，根據上述教示，可將反射元件或鏡面 M_k 421之溫度控制至操作溫度、平均溫度 T_{avk} 或零交叉溫度 T_{0k} ，尤其以縮減由熱效應造成之任何光學像差。可單獨地或以任何組合來使用下文將描述的加熱器或調溫構件300之各種實施例以控制反射光學元件或鏡面之所提及溫度或像差。

鏡面(例如，421)(比如，圖4及圖5所示之鏡面)或反射元件 M_k 安裝至連接至外殼結構481之支撐元件480。未展示支撐或懸掛鏡面或反射光學元件之安裝元件及支撐構件。可製造此等元件，如(例如)圖4中用參考數字451、461、471所描述。另外，如圖10及圖11之實施例所描述，作為一選項，可使用冷卻器350以保護支撐元件480及/或外殼結構481(其可為溫度敏感元件)。作為一另外選項，如關於圖11所描述，亦可控制鏡面421或反射光學元件之外界之壓力 Δp 以調整氣體之熱阻。若反射元件或鏡面 M_k 421之本體 MB_k 包含具有包含至少一零交叉溫度 T_0 之溫度相依CTE(T)的材料(比如(例如)，Zerodur[®]或ULE[®])，且若此材料對於某波長之光(比如，IR光)透明，則該本體可用此光予以加熱，如結合圖12a及圖12b所描述。此種類之加熱具有如下優點：熱量不僅堆積於本體 MB_k 之表面上，而且亦堆積於該本體內部。

可使用(例如)發光二極體(LED)1302作為IR光之源。LED之使用具有如下優點：其可容易地在至少一維度上大致並列地配置以形成類陣列配置，如已在圖10之泊耳帖元件之上下文中所提及。另外，可使用合適光學配置以按如下方式來組態自LED所發射之IR輻射：IR輻射可在各種條件下耦合至反射元件或鏡面 M_k 421中。作為一實例，光學配置1304係使得收集來自LED之IR光且使其大致平行。此情形具有如下優點：本體 MB_k 之表面之經界定區域係用IR光予以照明。視情況，可在直徑方面調整此表面區域，此取決於在操作中之LED的數目。若具有此光學配置之此等LED以類柵格或類矩陣形式形成用以照明本體 MB_k 之柵格。類柵格形式具有如下優點：IR能量依據柵格座標而堆積，此等座標引起為 x 及 y 之函數的更加界定之空間溫度分佈 $T(x,y)$ 。作為一另外選項，IR源之光學配置1306(例如，在LED前方之透鏡)可為可調整的，以產生一焦距及/或使焦距1307變化。在聚焦之IR光的情況下，可在內部之極局部點處加熱本體。在此特徵的情況下，可在 x 、 y 及 z 方向上調整在本體內部之空間溫度分佈。若亦可藉由使IR射束圍繞至少一軸線(較佳地圍繞 x 及 y 軸)傾斜來調整IR光之方向，則若干IR射束之IR光可聚焦於本體 MB_k 內之窄區中。有利地，此可用以使起因於(例如)某主光罩或照明設定的本體之溫度分佈 $T(x,y,z)$ 均勻。在一較佳實施例中，藉由光學配置1308以使得焦距1309極接近於反射表面 MS_k 之方式來調整焦距1309。另外，一吸收層(未圖示)可配置於反

射表面下方，其吸收IR光。在此狀況下，IR光之能量經堆積成極接近於反射表面 MS_k 。

作為上述光學配置之替代例，可使用光纖1310以將來自源(例如，IR LED或IR雷射)之IR光轉移至接近於本體 MB_k 之表面。藉由使用光纖，一個IR源之IR光亦可以類柵格方式進行分佈。一另外替代例係使用光導棒1314以將來自IR源之IR光轉移至本體。

作為一另外替代例，IR光源1312(例如，IR LED、IR雷射)與鏡面1313一起使用，鏡面1313將IR光反射至本體 MB_k 之表面上。較佳地，鏡面可圍繞至少一軸線傾斜，較佳地圍繞兩個軸線(比如，x及y軸)傾斜。在此實施例的情況下，IR光可分佈遍及本體。此可(例如)藉由掃描或藉由光柵程序而進行。

另外，反射元件或鏡面自身之本體 MB_k 可包含經耦合有IR光之凹座1315。一般而言，供IR光耦合至本體中之表面或表面區域可為或可包含經製備表面區域，其上具有(例如)經界定表面粗糙度或繞射結構。另外，凹座可包含比如球體之表面形式以改良IR輻射至本體中之入射。代替凹座，亦可選擇本體材料之突起或凸起，其皆可包含表面曲率，以達成在本體 M_k 內IR輻射之經判定空間分佈。

對於圖13之實施例，亦可使用鏡面本體上之反射塗層以增加所吸收之IR功率。為此，亦可應用圖12b之實施例的特徵。另外，根據圖13之實施例的加熱器300可整合至冷卻器350中。另外，可控制IR輻射之波長以控制在本體材

料之經界定厚度內的吸收量。對於 Zerodur[®]，波長可自約 400 nm 至約 800 nm 而變化。如可自圖 12a 看出，在此波長範圍中，吸收強烈地取決於所使用之波長。

歸因於在反射元件或鏡面之本體內部以空間受控方式的 IR 功率之瞬間堆積，如結合圖 13 所描述，加熱器或調溫構件 300 適於以使得熱誘發性像差在透鏡之穩態下且在鏡面之變暖時間期間最小化的方式來控制在投影透鏡內部反射元件或鏡面之操作溫度。此時間可歸因於 IR 加熱之瞬間加熱效應而顯著地縮減。

另外，在 EUV 投影透鏡之第 k 反射光學元件或鏡面 M_k 之本體 MB_k 的 IR 加熱的情況下，如(作為一實例)結合圖 12b 及圖 13 所示，有可能極快速地將此本體加熱至其零交叉溫度中至少一者。另外，在此加熱的情況下，可在至少兩個維度上(較佳地在所有三個空間維度上)控制在本體內之空間溫度分佈及沿著其反射表面 MS_k 之此空間溫度分佈。此意謂可依據本體 MB_k 之 x 、 y 及 z 座標來控制溫度。關於該控制，現在再次參看圖 6。在如圖 6 中用 630 所指明之此等加熱器的情況下，EUV 投影透鏡 20 可包含至少一反射元件或鏡面 M_k ，比如，鏡面 26，其包含本體 MB_k ，本體 MB_k 包含溫度相依 $CTE(T)$ 具有至少一零交叉溫度 T_{0k} 之材料。此零交叉溫度 T_{0k} 經選擇成使得在投影透鏡 20 曝光於來自主光罩 M 之最大 EUV 曝光功率時，該零交叉溫度 T_{0k} 高於元件或鏡面 M_k 之預期平均溫度 $\Delta T_{avk} + T_{Ref}$ 。零交叉溫度甚至經選擇成高於所有預期溫度分佈 $T(x,y,z)$ 之各別最大溫度，其

可發生在曝光於EUV曝光功率期間(見(例如)圖7)。此等平均及最大溫度 ΔT_{avk} 、 ΔT_{kmax} 亦考慮關於主光罩及關於照明設定之潛在變化。另外，亦可以如下方式來考慮由製造(比如，製造容差 ΔT_{0k})造成的零交叉溫度之任何變化：在材料選擇之前，將此等容差加至此等平均或最大溫度 ΔT_{avk} 、 ΔT_{kmax} 。接著，選擇材料，使得其零交叉溫度甚至高於此溫度，被表達為 $T_{0k} > \Delta T_{kmax} + T_{Ref} + |\Delta T_{0k}|$ 或 $T_{0k} > \Delta T_{avk} + T_{Ref} + |\Delta T_{0k}|$ 。在應用所提及之IR加熱器(或本說明書中所描述之其他加熱器)的情況下，總是有可能將元件或鏡面 M_k 加熱至實際零交叉溫度。控制單元620(圖6)控制此元件 M_k (比如，鏡面26)之溫度，較佳地使得在透鏡20曝光於自主光罩M傳播至晶圓W之EUV曝光射束4期間，投影透鏡(或元件或鏡面 M_k)之熱誘發性像差或成像誤差622變成最小值。作為一替代例，控制單元620控制溫度，使得反射元件或鏡面 M_k 26上之空間溫度分佈621變得均勻，較佳地使得此溫度達成零交叉溫度 T_{0k} 。

另外，若零交叉溫度係如上文所描述予以選擇(比如， $T_{0k} > \Delta T_{kmax} + T_{Ref} + |\Delta T_{0k}|$ 或 $T_{0k} > \Delta T_{avk} + T_{Ref} + |\Delta T_{0k}|$)，則較佳地，製造本體 MB_k 及針對EUV光之反射表面 MS_k ，使得表面形狀或外形在零交叉溫度 T_{0k} 下達成指定準確度。在此狀況下，用所提及之IR加熱器630或本文中已描述之其他加熱器而將反射元件或鏡面 M_k 加熱至零交叉溫度。較佳地，在投影透鏡20經受EUV曝光功率之前進行此加熱。在投影透鏡20曝光於EUV光期間，接著另外藉由所吸收之

EUV光加熱反射光學元件或鏡面 M_k 。接著藉由控制單元620控制加熱器630，使得反射元件或鏡面 M_k 之空間溫度分佈幾乎保持於與接通EUV光之前相同的條件。較佳地，此條件為元件或鏡面 M_k 26之恆定溫度。如已提及，沒有必要控制元件 M_k 26自身之溫度分佈621，或者或另外，可將像差622用作控制參數，且接著控制加熱器630，使得像差622最小化。為了量測元件 M_k 或鏡面26之溫度，尤其是量測空間溫度分佈或代表空間溫度分佈之參數，可使用紅外線相機，此係因為歸因於EUV光之吸收的溫度差在約1 K直至約20 K之範圍中，此取決於透鏡20(見(例如)圖3)之鏡面21、22、23、24、25、26、所使用之主光罩或光罩、EUV光之功率，及照明設定。歸因於此相對高溫度差，IR相機之敏感度要求不會過高。

替代量測光學元件 M_k 或鏡面26之溫度或溫度分佈或其像差622，或除了量測光學元件 M_k 或鏡面26之溫度或溫度分佈或其像差622以外，亦可使用光學元件 M_k 或鏡面26(透鏡20內之鏡面21、22、23、24、25、26中任一者)之變形或與變形有關之參數作為控制參數，以控制加熱器630，尤其是控制加熱器630、300，如本文中所描述。對於變形量測，作為一實例，可使用干涉計及/或編碼器系統以判定光學元件或鏡面之任何變形。

在本發明之另外實施例中，起因於如上文所描述之量測的溫度資料(尤其是溫度分佈資料)及/或變形資料用於計算光學元件或鏡面或透鏡20之預期像差。接著，藉由至少一

加熱器 630、300 以使得將縮減像差之方式來控制透鏡 20 及 / 或光學元件 M_k 或鏡面 21、22、23、24、25、26。對於此等計算，應用一模型，其中藉由以模型基礎之控制而使透鏡 20 之像差最小化。除了給定預選定鏡面或光學元件之溫度及 / 或變形資料以外，用於控制透鏡 20 之模型亦可使用所量測之額外輸入參數。此等輸入參數(例如)為所使用之主光罩或光罩、EUV 光之功率、照明設定、在光學元件或鏡面附近或在透鏡 20 內部之氣體壓力、透鏡 20 曝光於 EUV 光所達之時間，或反射光學元件(比如，透鏡 20 之鏡面 21、22、23、24、25 或 26)之位置(比如(例如)，z 位置)之任何改變。作為輸出參數，模型可控制任何加熱器 630、300、比如鏡面 21、22、23、24、25 或 26 之反射光學元件之任何位置、EUV 投影光之功率、供照明主光罩之照明設定、在光學元件或鏡面附近之氣體壓力或在透鏡 20 內部之氣體壓力，或使透鏡 20 之鏡面 21、22、23、24、25 或 26 之反射表面以受控方式變形以縮減光學像差的任何致動器。藉由模型轉移函數使輸出參數與輸入參數相關。另外，模型之輸入參數可用於模型校準，使得關於模型之轉移函數來調整模型，此意謂轉移函數自身取決於輸入參數及 / 或輸出參數之值。

另外，在本發明之一實施例中，至少一光學元件 M_k (比如，透鏡 20 之鏡面 21、22、23、24、25、26)之溫度資料在時間方面積聚。此情形引起表示光學元件或鏡面之熱負荷之量測的參數，其可甚至具有空間解析度。此熱負荷參

數可用於透鏡20或EUV微影曝光系統之維護控制。作為一實例，可估計歸因於EUV光的鏡面之任何降級，比如，反射多層堆疊之降級，或形成鏡面本體之所使用基板材料之任何壓實效應。另外，受照明光罩或所使用照明設定可經選擇成使得鏡面21、22、23、24、25、26之空間解析熱負荷引起投影透鏡20之長使用期限，以縮減維護成本。

【圖式簡單說明】

圖1示意性地展示具有照明系統及包含四個鏡面之EUV投影透鏡的簡化EUV微影投影曝光系統。

圖2a為隨溫度而變的各種材料之線性膨脹係數(CTE)。該等材料具有此係數為零之零交叉溫度。(來自 Critical Reviews of Optical Science and Technology，第CR43卷，第183頁，來自 S. F. Jacobs 之「Variable invariables-dimensional instability with time and temperature」之文章；ISBN 0-8194-0953-7；1992)

圖2b為隨溫度而變的各種 Zerodur[®]材料之線性膨脹係數，其具有此係數為零之各種零交叉溫度。(來自 Critical Reviews of Optical Science and Technology，第CR43卷，第186頁，來自 S. F. Jacobs 之「Variable invariables-dimensional instability with time and temperature」之文章；ISBN 0-8194-0953-7；1992)

圖3a示意性地展示在兩個不同溫度下比如鏡面之反射光學元件的側視圖。

圖3b示意性地展示歸因於沿著鏡面之x軸之溫度變化的

鏡面表面之變形。

圖 3c 示意性地展示對於 Zerodur® 及 ULE® 以 ppb 為單位的具有長度 L_0 之本體隨溫度而變的長度之相對改變 $\Delta L/L_0$ 。

圖 3d 展示圖 6 之 EUV 投影透鏡之第四鏡面上之溫度分佈連同鏡面大小。

圖 3e 展示以溫度最大值為轉折點的圖 3d 之鏡面沿著 x 方向的溫度剖面。給出與參考溫度之溫度差。

圖 3f 展示以溫度最大值為轉折點的圖 3d 之鏡面沿著 y 方向的溫度剖面。給出與參考溫度之溫度差。

圖 3g 展示按相對單位的圖 3d 至圖 3f 之鏡面 M_4 之任尼克係數的值。

圖 3h 展示圖 6 之 EUV 投影透鏡之第六鏡面上之溫度分佈連同鏡面大小。

圖 3i 展示以溫度最大值為轉折點的圖 3h 之鏡面沿著 x 方向的溫度剖面。給出與參考溫度之溫度差。

圖 3k 展示以在 x 方向上之最大值之間的最小溫度為轉折點的圖 3h 之鏡面沿著 y 方向的溫度剖面。給出與參考溫度之溫度差。

圖 3l 展示按相對單位的圖 3h 至圖 3k 之鏡面 M_6 之任尼克係數的值。

圖 4 示意性地展示如(例如)WO 2005/026801 A2 中所描述的具有如用於 EUV 微影投影曝光系統之投影透鏡中之鏡面的鏡面安裝總成。

圖 5 示意性地展示具有用於加熱鏡面之加熱器及用於控

制鏡面之溫度之溫度控制系統的圖4之鏡面安裝總成。

圖6示意性地展示包含6個鏡面、用於第六鏡面之加熱器及溫度或像差控制系統的EUV投影透鏡。

圖7展示在圖6所示之投影透鏡曝光於在主光罩M之後具有16 W之功率的EUV投影射束時此透鏡之6個鏡面之變暖的實例。

圖8展示藉由任尼克係數Z5表達的圖6之投影透鏡之每一鏡面之像差。Z5係藉由其在投影透鏡之每一鏡面處於如圖7所描述之穩態時隨零交叉溫度而變的RMS(均方根)值給出。

圖9展示隨在主光罩M之後於投影程序期間圖6之EUV透鏡所經受之EUV光功率P而變的最佳化零交叉溫度。

圖10示意性地展示比如圖4及圖6所示之EUV投影透鏡之鏡面之反射光學元件 M_k 的側視圖。另外，加熱器及冷卻器配置於藉由支撐元件支撐之鏡面附近。

圖11示意性地展示如圖10所示但不具有加熱器之反射光學元件的側視圖。反射光學元件或鏡面 M_k 421之溫度係藉由反射元件或鏡面之直接外界區域或容積內的壓力之壓力控制予以控制。

圖12a展示對於5 mm及25 mm之傳輸路徑的Zerodur®之傳輸。

圖12b示意性地展示反射光學元件或鏡面 M_k 421，其在幾乎其整個表面上經塗佈有塗層C以使鏡面可用IR輻射予以加熱。

圖 12c 示意性地展示反射光學元件或鏡面 $M_{k, 421}$ ，其在其表面上經至少部分地塗佈有塗層 C2 以使鏡面為可加熱的。塗層 C2 經選擇成使得其將具有某一電阻。

圖 12d 示意性地展示反射光學元件或鏡面 $M_{k, 421}$ ，其係藉由配置於反射表面 MS_k 附近之多區線柵 1050 至少部分地加熱。

圖 13 示意性地展示與反射元件或鏡面 $M_{k, 421}$ 有關的加熱器或調溫構件 300 之若干實施例。

【主要元件符號說明】

1	EUV 光源
2	收集器鏡面
3	照明射束
4	投影射束
10	照明系統
12	鏡面
13	鏡面
14	鏡面
15	鏡面
16	鏡面
20	投影透鏡
21	鏡面
22	鏡面
23	鏡面
24	鏡面

25	鏡面
26	鏡面
200	溫度控制系統
300	加熱器/第一調溫元件
350	冷卻器/第二調溫元件
351	表面/側
352	表面
361	表面
362	表面側
400	鏡面安裝總成
421	鏡面
450	反射表面
451	安裝或鏈接點
452	安裝或鏈接點
453	安裝或鏈接點
461	雙腳架結構
462	雙腳架結構
463	雙腳架結構
471	鏈接元件
472	鏈接元件
473	鏈接元件
480	支撐元件
481	外殼結構
620	控制單元

621	空間溫度分佈
622	熱誘發性像差或成像誤差
630	IR加熱器
1000	入射輻射
1002	反射
1004	IR窗/表面區域
1006	IR窗/表面區域
1008	電線
1010	電壓源
1050	多區線柵
1051	圖案結構
1052	絕緣層
1053	可選壓實層
1054	多層反射塗層
1302	發光二極體
1304	光學配置
1306	光學配置
1307	焦距
1308	光學配置
1309	焦距
1310	光纖
1312	IR光源
1313	鏡面
1314	光導棒

1315	凹座
C	反射塗層
C2	電阻性塗層
IP	像點
M	結構化物件/主光罩
M ₁	反射光學元件/鏡面
M ₂	反射光學元件/鏡面
M ₃	反射光學元件/鏡面
M ₄	反射光學元件/鏡面
M ₅	反射光學元件/鏡面
M ₆	反射光學元件/鏡面
M _i	反射光學元件/鏡面
M _k	反射光學元件/鏡面
MB	本體
MB _k	鏡面本體
MS _k	反射表面
OP	物點
VS	電壓源
W	基板
WS	基板載物台

發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：100126P25

G03F 7/20 (2006.01)

※申請日：100.7.28

※IPC 分類：G02B 5/08 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

G21K 1/06 (2006.01)

超紫外線曝光裝置

EUV EXPOSURE APPARATUS

二、中文發明摘要：

一種鏡面包含一本體及一反射表面，該本體包含具有在一零交叉溫度 T_{0k} 下為零之一溫度相依熱膨脹係數之一材料。另外，該本體之表面之至少一部分包含用於該本體之電阻性加熱之一線柵，且該鏡面適應於一EUV微影投影曝光系統之一投影透鏡，以在該投影透鏡曝光於EUV光之一曝光功率時將一主光罩上之一物場投影至一基板上之一像場上。

三、英文發明摘要：

A mirror comprising a body and a reflective surface, the body comprising a material with a temperature dependent coefficient of thermal expansion which is zero at a zero cross temperature T_{0k} . Further, at least a part of the surface of the body comprises a wire grid for electrically resistive heating of the body and the mirror is adapted for a projection lens of an EUV-lithographic projection exposure system, for projecting an object field on a reticle onto an image field on a substrate if the projection lens is exposed with an exposure power of EUV light.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(12d)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

300	加熱器/第一調溫元件
421	鏡面
450	反射表面
1000	入射輻射
1050	多區線柵
1051	圖案結構
1052	絕緣層
1053	可選壓實層
1054	多層反射塗層
M_k	反射光學元件/鏡面
MB_k	鏡面本體
MS_k	反射表面

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

(無)

七、申請專利範圍：

1. 一種鏡面，其包含：

一本體 MB_k 及一反射表面 MS_k ，

該本體 MB_k 包含具有在一零交叉溫度 T_{0k} 下為零之一溫度相依熱膨脹係數的一材料，其中

該本體 MB_k 之表面之至少一部分包含用於該本體 MB_k 之電阻性加熱的一線柵 1050，

該鏡面適應於一 EUV 微影投影曝光系統之一投影透鏡，以在該投影透鏡曝光於具有在小於 50 nm 之一波長範圍中之一波長的 EUV 光之一曝光功率時將一主光罩上之一物場投影至一基板上之一像場上，且

該本體 MB_k 至少部分地塗佈有一電阻性塗層 C2，惟該反射表面 MS_k 之該區域中除外，其中該電阻性塗層 C2 具有適於藉由電阻性加熱來加熱該本體 MB_k 之一電阻。

2. 如請求項 1 之鏡面，其中該線柵 1050 係藉由具有一塗層材料之一電阻性塗層形成，該塗層材料係選自由金屬、半導體材料、包含碳之一材料及不變鋼組成之群組。

3. 如請求項 1 或 2 之鏡面，其中該線柵 1050 包含具有至少 $N > 1$ 個電路之一圖案結構 1051，且該圖案結構 1051 包含至少 $N+1$ 個電連接器以將該 N 個電路連接至一電力源以使該 N 個電路經受一電功率，該 N 個電路係彼此獨立地予以控制。

4. 如請求項 1 或 2 之鏡面，其中該線柵 1050 之加熱功率係在 0.01 W 與 1 W 之間。

5. 如請求項1或2之鏡面，其中該線柵1050連接至選自由以下各者組成之群組之一電力源：附接至該鏡面本體 MB_k 之一電力源，及藉由一電線而電連接該鏡面本體 MB_k 之一電力源。
6. 如請求項5之鏡面，其中該電力源包含至少兩個電壓及/或電流源或一多工器電路。
7. 如請求項3之鏡面，其中該線柵1050之該圖案結構1051係藉由包含一低CTE材料之一絕緣層1052覆蓋。
8. 如請求項7之鏡面，其中該絕緣層1052經拋光以具有在 $\pm 3 \text{ nm RMS}$ 之一準確度內的表面外形資料，如該鏡面之該反射表面 MS_k 所需要。
9. 如請求項8之鏡面，其中該反射表面 MS_k 包含一多層堆疊1054，該多層堆疊1054配置於該絕緣層1052上方或配置於一壓實層1053上方，該壓實層1053配置於該絕緣層1052上方。
10. 如請求項1或2之鏡面，其中該線柵1050覆蓋該反射表面 MS_k 之區域的50%以上。
11. 如請求項1之鏡面，其中該電阻性塗層C2係在該反射塗層C上。
12. 如請求項11之鏡面，其中該本體 MB_k 包含未塗佈有該反射塗層C及該電阻性塗層C2之一表面區域1004、1006，或包含具有對於該IR輻射係半透明之一塗層之一表面區域1004、1006，以用於將一IR輻射耦合至該本體 MB_k 中。

13. 如請求項11或12之鏡面，其中該反射塗層C或該電阻性塗層C2包含一金屬。
14. 如請求項11或12之鏡面，其中該反射塗層C及該電阻性塗層C2包含相同金屬。
15. 如請求項12之鏡面，其中該表面區域1004、1006配置於該本體 MB_k 之具有該反射表面 MS_k 的側上，或其中該表面區域1004、1006環繞該反射表面 MS_k 。
16. 如請求項12之鏡面，其中該表面區域1004、1006包含用以將一IR輻射散射至該本體中之一表面粗糙度，或該表面區域1004、1006包含用以藉由繞射而將一IR輻射分佈於該本體 MB_k 內之一繞射結構。
17. 一種鏡面，其包含：
 - 一本體 MB_k 及一反射表面 MS_k ，
 - 該本體 MB_k 包含具有在一零交叉溫度 T_{0k} 下為零之一溫度相依熱膨脹係數的一材料，其中
 - 該本體 MB_k 之表面之至少一部分包含用於該本體 MB_k 之電阻性加熱的一線柵1050，
 - 該鏡面適應於一EUV微影投影曝光系統之一投影透鏡，以在該投影透鏡曝光於具有在小於50 nm之一波長範圍中之一波長的EUV光之一曝光功率時將一主光罩上之一物場投影至一基板上之一像場上，且
 - 該光學元件 M_k 之該本體 MB_k 對於一IR輻射係半透明的，該本體 MB_k 包含塗佈於該本體 MB_k 之整個表面上或幾乎整個表面上之一反射塗層C，其中該反射塗層C使IR

輻射在該本體MB_k內部反射。

18. 如請求項17之鏡面，其中該線柵1050係藉由具有一塗層材料之一電阻性塗層形成，該塗層材料係選自由金屬、半導體材料、包含碳之一材料及不變鋼組成之群組。
19. 如請求項17或18之鏡面，其中該線柵1050包含具有至少 $N > 1$ 個電路之一圖案結構1051，且該圖案結構1051包含至少 $N+1$ 個電連接器以將該 N 個電路連接至一電力源以使該 N 個電路經受一電功率，該 N 個電路係彼此獨立地予以控制。
20. 如請求項17或18之鏡面，其中該線柵1050之加熱功率係在0.01 W與1 W之間。
21. 如請求項17或18之鏡面，其中該線柵1050連接至選自由以下各者組成之群組之一電力源：附接至該鏡面本體MB_k之一電力源，及藉由一電線而電連接該鏡面本體MB_k之一電力源。
22. 如請求項21之鏡面，其中該電力源包含至少兩個電壓及/或電流源或一多工器電路。
23. 如請求項19之鏡面，其中該線柵1050之該圖案結構1051係藉由包含一低CTE材料之一絕緣層1052覆蓋。
24. 如請求項23之鏡面，其中該絕緣層1052經拋光以具有在 ± 3 nm RMS之一準確度內的表面外形資料，如該鏡面之該反射表面MS_k所需要。
25. 如請求項24之鏡面，其中該反射表面MS_k包含一多層堆疊1054，該多層堆疊1054配置於該絕緣層1052上方或配

置於一壓實層 1053 上方，該壓實層 1053 配置於該絕緣層 1052 上方。

26. 如請求項 17 或 18 之鏡面，其中該線柵 1050 覆蓋該反射表面 MS_k 之區域的 50% 以上。
27. 如請求項 17 之鏡面，其中該電阻性塗層 C2 係在該反射塗層 C 上。
28. 如請求項 17 或 27 之鏡面，其中該本體 MB_k 包含未塗佈有該反射塗層 C 及該電阻性塗層 C2 之一表面區域 1004、1006，或包含具有對於該 IR 輻射係半透明之一塗層之一表面區域 1004、1006，以用於將一 IR 輻射耦合至該本體 MB_k 中。
29. 如請求項 17 或 27 之鏡面，其中該反射塗層 C 或該電阻性塗層 C2 包含一金屬。
30. 如請求項 27 之鏡面，其中該反射塗層 C 及該電阻性塗層 C2 包含相同金屬。
31. 如請求項 28 之鏡面，其中該表面區域 1004、1006 配置於該本體 MB_k 之具有該反射表面 MS_k 的側上，或其中該表面區域 1004、1006 環繞該反射表面 MS_k 。
32. 如請求項 28 之鏡面，其中該表面區域 1004、1006 包含用以將一 IR 輻射散射至該本體中之一表面粗糙度，或該表面區域 1004、1006 包含用以藉由繞射而將一 IR 輻射分佈於該本體 MB_k 內之一繞射結構。