



(21) 申請案號：111108943 (22) 申請日：中華民國 109 (2020) 年 01 月 15 日
 (51) Int. Cl. : **G03F1/74 (2012.01)** **G03F1/86 (2012.01)**
 (30) 優先權：2019/02/05 德國 10 2019 201 468.2
 (71) 申請人：德商卡爾蔡司 SMT 有限公司 (德國) CARL ZEISS SMT GMBH (DE)
 德國
 (72) 發明人：布達施 麥可 BUDACH, MICHAEL (DE)；霍金斯 歐瑪 HOINKIS, OTTMAR (DE)
 (74) 代理人：李宗德
 申請實體審查：有 申請專利範圍項數：20 項 圖式數：17 共 52 頁

(54) 名稱

修復微影光罩的裝置和方法以及包括指令的電腦程式

(57) 摘要

本申請案係關於一種用於處理微影光罩(150、200、1500)的裝置(700)，該裝置包括：(a) 至少一隨時間變化的粒子束(410、715)，其具體實施用於在該微影光罩(150、200、1500)上的局部沉積反應及/或局部蝕刻反應；(b) 至少一用於提供至少一前驅氣體的第一構件(740、750、760)，其中該前驅氣體具體實施為在該局部沉積反應及/或該局部蝕刻反應期間與該粒子束(410、715)相互作用；及(c) 至少一第二構件(830、930、1050)，其減小該隨時間變化的粒子束(410、715)與該微影光罩的一表面(115)間之平均入射角(φ)。

The present application relates to an apparatus (700) for processing a photolithographic mask (150, 200, 1500), said apparatus comprising: (a) at least one time-varying particle beam (410, 715), which is embodied for a local deposition reaction and/or a local etching reaction on the photolithographic mask (150, 200, 1500); (b) at least one first means (740, 750, 760) for providing at least one precursor gas, wherein the precursor gas is embodied to interact with the particle beam (410, 715) during the local deposition reaction and/or the local etching reaction; and (c) at least one second means (830, 930, 1050), which reduces a mean angle of incidence (φ) between the time-varying particle beam (410, 715) and a surface (115) of the photolithographic mask (150, 200, 1500).

指定代表圖：

符號簡單說明：

715:粒子束

720:電子束光學單元/
電子腔

722:位置

725:樣本

730:樣本台

815:表面

830:傾斜裝置

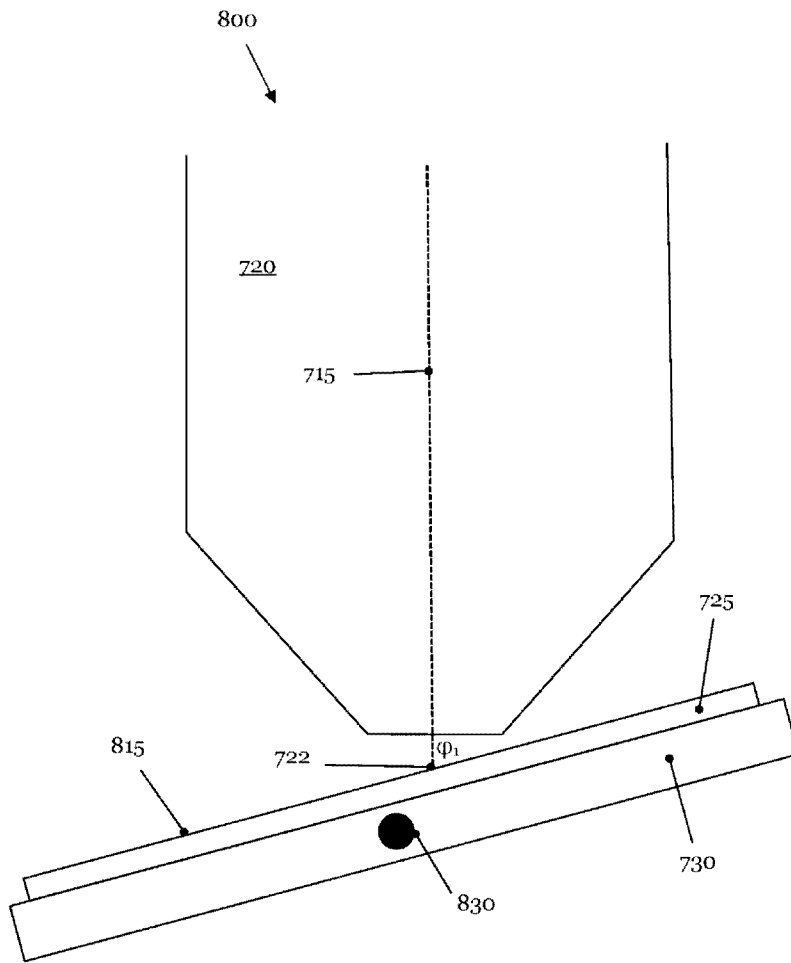


圖 8

【發明摘要】

【中文發明名稱】 修復微影光罩的裝置和方法以及包括指令的電腦程式

【英文發明名稱】 APPARATUS AND METHOD FOR REPAIRING A
PHOTOLITHOGRAPHIC MASK AND COMPUTER PROGRAM
COMPRISING INSTRUCTIONS

【中文】

本申請案係關於一種用於處理微影光罩(150、200、1500)的裝置(700)，該裝置包括：(a) 至少一隨時間變化的粒子束(410、715)，其具體實施用於在該微影光罩(150、200、1500)上的局部沉積反應及/或局部蝕刻反應；(b) 至少一用於提供至少一前驅氣體的第一構件(740、750、760)，其中該前驅氣體具體實施為在該局部沉積反應及/或該局部蝕刻反應期間與該粒子束(410、715)相互作用；及(c) 至少一第二構件(830、930、1050)，其減小該隨時間變化的粒子束(410、715)與該微影光罩的一表面(115)間之平均入射角(ϕ)。

【英文】

The present application relates to an apparatus (700) for processing a photolithographic mask (150, 200, 1500), said apparatus comprising: (a) at least one time-varying particle beam (410, 715), which is embodied for a local deposition reaction and/or a local etching reaction on the photolithographic mask (150, 200, 1500); (b) at least one first means (740, 750, 760) for providing at least one precursor gas, wherein the precursor gas is embodied to interact with the particle beam (410, 715) during the local deposition reaction and/or the local etching reaction; and (c) at least one second means (830, 930, 1050), which reduces a mean angle of incidence (ϕ) between the time-varying particle beam

(410, 715) and a surface (115) of the photolithographic mask (150, 200, 1500).

【指定代表圖】 圖 8

【代表圖之符號簡單說明】

715	粒子束
720	電子束光學單元 / 電子腔
722	位置
725	樣本
730	樣本台
815	表面
830	傾斜裝置

【發明說明書】

【中文發明名稱】 修復微影光罩的裝置和方法以及包括指令的電腦程式

【英文發明名稱】 APPARATUS AND METHOD FOR REPAIRING A
PHOTOLITHOGRAPHIC MASK AND COMPUTER PROGRAM
COMPRISING INSTRUCTIONS

【技術領域】

【0001】 本申請案主張德國專利申請案 DE 10 2019 201 468.2 的優先權，該申請案於 2019 年 2 月 5 日提交予德國專利商標局，其全部內容通過引用併入本申請案供參考。

【0002】 本發明係關於用於修復微影光罩之裝置和方法。

【先前技術】

【0003】 由於半導體行業不斷增長的積體密度，微影光罩必須在晶圓上形成越來越小的結構。適應這種趨勢的一種選擇是使用微影光罩，其光化波長被移動到越來越短的波長。現階段，以大約 193nm 波長發射的 ArF (氟化氫)準分子雷射在微影中經常用作光源。

【0004】 目前正在開發使用 EUV (極紫外線)波長範圍(較佳在 10nm 至 15nm 的範圍內)的電磁輻射之微影系統。該 EUV 微影系統基於全新的光束引導概念，該概念使用反射光學元件，因為目前無法獲得在該 EUV 範圍內光學透明的材料。發展 EUV 系統所面臨的技術挑戰相當巨大，並且需要相當大的開發努力，才能使該系統達到可用於工業應用的水準。

【0005】 微影光罩、曝光光罩、光罩或僅是光罩對配置在晶圓上的光阻劑中越來越小的結構成像有重大的貢獻。隨著積體密度每次逐步增加，縮小曝光光罩的最小結構尺寸就變得更加重要。因此，微影光罩的製程變

得越來越複雜，因此更耗時且最終也更昂貴。由於圖案元素的微小結構尺寸，所以不能排除光罩生產期間的缺陷，這些必須盡可能修正。

【0006】 現階段，光罩缺陷經常通過電子束誘導的局部沉積及/或蝕刻處理來修復。由於圖案元素的結構尺寸減小，對修復處理的要求越來越具有挑戰性。由於結構元件的尺寸減小，因此借助於修復過程產生的結構邊緣斜率必須更加緊密地接近由設計預定之參考結構。這個問題同樣適用於修復奈米壓印微影(NIL, nanoimprint lithography)中使用的模板之缺陷。

【0007】 以下指定的示例性文獻描述如何在晶圓上填充窄孔或如何借助聚焦離子束生產用於透射電子顯微鏡的樣品：US 2012 / 0 217 590 A1、US 2014 / 0 170 776 A1、US 9 530 674 B2、US 5 656 811 和 US 2012 / 0 235 055 A1。

【0008】 本發明解決了指定一種裝置和方法來幫助改進微影光罩及/或用於奈米壓印微影模板的修復之問題。

【發明內容】

【0009】 根據本發明的示範具體實施例，此問題通過如申請專利範圍第 1 項之裝置及第 15 項之方法來解決。在一具體實施例中，該用於處理一微影光罩之裝置包括：**(a)** 至少一隨時間變化的粒子束，其具體實施用於在微影光罩上的局部沉積反應及/或局部蝕刻反應；**(b)** 至少一用於提供至少一前驅氣體的第一構件，其中該前驅氣體具體實施為在該局部沉積反應及/或該局部蝕刻反應期間與該粒子束相互作用；及**(c)** 至少一第二構件，其減小該隨時間變化的粒子束與該微影光罩的一表面間之平均入射角。

【0010】 通過減小觸發局部沉積或蝕刻反應的一粒子束的微影光罩表面上之該平均入射角，可相對於該微影光罩的該表面，將一結構的邊緣斜率增大至可將其蝕刻及/或沉積，即可使該邊緣斜率更佳對應於通常由設計預先確定的 90°角。此外，減小粒子束在微影光罩表面上的平均入射角有

利於修復位置的產生，該修復部位的彎曲半徑基本上不偏離微影光罩的相應無缺陷位置之彎曲半徑。再者，減小粒子束在微影光罩表面上的平均入射角，使通過進行局部修復處理而在要修復位置周圍環境中產生，對微影光罩的損害最小化。

【0011】 通常，由於粒子束在掃描區域上逐行掃描，因此粒子束感測光罩或通常是樣本的掃描區域。在掃描一行時，在樣本表面上粒子束的入射角會有些微改變。在上述的(c)點下指定的微影光罩表面上入射角的減小，並不表示在行掃描期間或通常在感測掃描區域期間，粒子束的角度變化。引用術語「平均入射角」是為了區分在行掃描期間的上述減小入射角與入射角變化。該術語描述在行掃描期間粒子束入射到樣本上的平均角度。舉例來說，平均入射角可定義為在行掃描或通常在粒子束掃描區域的所有入射角上之算術平均值。

【0012】 在此及在本說明書的其他地方，如果使用根據現有技術的量測器具來確定量測量，則用語「大體上」說明在常規量測誤差內之量測量表示。

【0013】 在本申請案中，術語「微影光罩」可能包括用於奈米壓印微影的模板。

【0014】 通常，一微影光罩包括其上設置有圖案元素或蝕刻到該基板中的圖案元素之所述基板。在本申請案中，該微影光罩表面應理解為是指光罩表面的區域，該區域不具有使入射光成像的結構元件。

【0015】 該第二裝置包括來自下列群組之至少一元件：一用於使微影光罩相對於粒子束傾斜的傾斜裝置；一用於使粒子束相對於微影光罩傾斜之光束源的樞軸裝置；及至少一用於該粒子束的粒子之偏轉裝置，用於減小粒子束在微影光罩上的平均入射角。

【0016】 該光束源的該樞轉裝置可包括在該光束源的粒子束與用於處理微影光罩的裝置之樣品台之間，形成不同於 90°的固定角度。

【0017】 本質上，該第二器件也可包括一個以上上列裝置，並且平均入射角的減小可以通過兩或三個指定裝置之相互作用來實現。

【0018】 該第二裝置可具體實施為使該隨時間變化的粒子束減小之入射角繞該微影光罩的光軸旋轉。

【0019】 在該微影光罩的光軸平行於坐標系統的 z 軸之假設下，該第二構件總是具體實施為改變，即增大粒子束與光軸之間的極角。借助於該第二構件，也可改變該極角及促成改變該方位角，借助於局部沉積或蝕刻反應，可在光罩圖案元素的任何位置或任何側上進行該微影光罩的改善處理。

【0020】 該偏轉裝置可包括選自下列群組之至少一元件：一電偏轉系統和一磁偏轉系統。

【0021】 電與磁偏轉系統的組合是可能的。在此，一電偏轉系統可使粒子束往第一方向偏轉，而該磁偏轉系統可使粒子束往第二方向偏轉。但是，該電偏轉系統和該磁偏轉系統也可使粒子束往相同方向偏轉，從而放大彼此對粒子束的影響。

【0022】 此外，該偏轉裝置可具體實施為使粒子束往兩方向偏轉。該偏轉裝置的該兩偏轉方向可相對於彼此具有大體上 90° 的角度。

【0023】 該偏轉裝置可為該粒子束的光束源一部分。該偏轉裝置不可為該粒子束的光束源一部分。例如，如果該偏轉裝置是該粒子束的光束源一部分並且該光束源包括一掃描粒子顯微鏡，則該偏轉裝置可設置在該掃描粒子顯微鏡的一電子腔中。該偏轉裝置不應為該粒子束的光束源一部分並且該光束源包括一掃描粒子顯微鏡，則該偏轉裝置可設置在該掃描粒子顯微鏡的該電子腔之外。

【0024】 但是，電和磁偏轉系統也可為該粒子束的光束源之一部分。因此，例如，電偏轉系統可設置在光束源的電子光學透鏡上游，而磁偏轉系統可設置在光束源的電子光學透鏡下游。

【0025】 該電偏轉系統可包括至少一成對偏轉板。該電偏轉系統可包括可相對於彼此設置的至少兩成對偏轉板。該電偏轉系統可設置在用於該粒子束的光束源之電子光學透鏡上游。

【0026】 該磁偏轉系統可包括至少一線圈配置。該至少一線圈配置可包括至少一成對線圈。然而，該磁偏轉系統也可包括至少一或多個永久磁鐵。

【0027】 該傾斜裝置可包括用於該微影光罩的樣本台，該樣本台可繞至少兩軸旋轉，並且該兩軸可位於微影光罩平面內並且可彼此不平行。該樣本台的兩旋轉軸彼此垂直是有利的。

【0028】 該樣本台可繞一第三軸旋轉，其中該樣本台的第三旋轉軸基本平行於該微影光罩的光軸。一用於減小該隨時間變化的粒子束往一方向在該微影光罩表面上之平均入射角之第二構件、及一可繞該微影光罩的光軸旋轉之樣本台之組合允許往兩空間方向調整該隨時間變化的粒子束之平均入射角。這提供對該微影光罩上的任何處理位置之存取。

【0029】 該第二構件可將該隨時間變化的粒子束與該微影光罩表面間之平均入射角減小 $> 5^\circ$ ，較佳 $> 10^\circ$ ，更佳 $> 20^\circ$ 並且最佳 $> 30^\circ$ 。

【0030】 在該微影光罩上的入射點上，該粒子束可具有 0.1 nm 至 1000 nm 的焦點直徑，較佳為 0.2 nm 至 200 nm，更佳為 0.4 nm 至 50 nm 並且最佳為 0.5 nm 至 2 nm。

【0031】 該粒子束的孔徑角可為 0.1 mrad 度至 1000 mrad，較佳為 0.2 mrad 至 700 mrad，更佳為 0.5 mrad 至 500 mrad 並且最佳為 1 mrad 至 200 mrad。在此，「mrad」代表毫弧度。

【0032】 粒子束的粒子之動能可在 0.01 keV 至 500 keV 的範圍內，較佳在 0.05 keV 至 200 keV 內，更佳在 0.1 keV 至 50 keV 內並且最佳在 0.1 keV 至 1 keV 內。

【0033】 隨時間變化的粒子束可包括在該微影光罩掃描區域上掃描

的粒子束。粒子束的掃描可通過停留時間和重複時間的參數來特徵化。

【0034】 然而，隨時間變化的粒子束也可包括，其中其粒子的動能及/或粒子束的焦距直徑經歷時間變化之粒子束。

【0035】 用於處理微影光罩的裝置可更包括一評估單元，該評估單元具體實施為分析要在該微影光罩上處理的位置之掃描資料。尤其是，該評估單元可從掃描資料中產生影像資料。該影像資料可儲存及/或顯示在監視器上。

【0036】 此外，該評估單元可具體實施為從分析的掃描資料，確定粒子束在該微影光罩表面上的平均入射角之至少一變化。

【0037】 該評估單元可具體實施為根據用於執行局部蝕刻反應及/或局部沉積反應的粒子束動能，以決定粒子束的平均入射角減小。再者，該評估單元可具體實施為從待沉積及/或待蝕刻的材料之材料成分，以決定粒子束平均入射角的減小。此外，該評估單元可具體實施為根據該掃描資料，設定粒子束的平均入射角。

【0038】 該粒子束中粒子的動能及粒子束的粒子撞擊到的材料成分會影響粒子束與微影光罩的相互作用區域之大小，從而影響可處理或可能因執行局部沉積處理或局部蝕刻處理而受損的光罩區域。

【0039】 此外，該評估單元可具體實施為決定處理位置周圍之一保護層的面積和材料成分。

【0040】 用於處理微影光罩的裝置可更包括一控制裝置，該控制裝置具體實施為控制該第二構件，用於改變粒子束在該微影光罩表面上的平均入射角。

【0041】 該第一裝置可包括下列群組之至少一元件：至少一供應容器，其具體實施為儲存至少一前驅氣體；至少一控制閥，其具體實施為控制該至少一前驅氣體的氣體質量流；至少一氣體管線系統，其具體實施成將至少一前驅氣體從該至少一供應容器引導到在該微影光罩上的粒子束入射點；

及至少一噴嘴，其具體實施為將該前驅氣體集中在該微影光罩表面上的粒子束入射點處。

【0042】 該至少一前驅氣體可包括選自下列群組之至少一元件：至少一蝕刻氣體、至少一沉積氣體和至少一添加氣體。

【0043】 該至少一蝕刻氣體可包括至少一含鹵素的化合物。一含鹵素的化合物可包括來自下列群組之至少一元素：氟(F₂)、氯(Cl₂)、溴(Br₂)、碘(I₂)、二氟化氙(XeF₂)、四氟化氙(XeF₄)、六氟化氙(XeF₆)、氯化氙(XeCl)、氟化氬(ArF)、氟化氪(KrF)、二氟化硫(SF₂)、四氟化硫(SF₄)、六氟化硫(SF₆)、三氟化磷(PF₃)和五氟化磷(PF₅)。

【0044】 該至少一沉積氣體可包括來自下列群組之至少一元素：金屬烷基、過渡元素烷基、烷基主基團、金屬羰基、過渡元素羰基、羰基主基團、金屬醇鹽、過渡元素醇鹽、醇鹽主基團、金屬複合物、過渡元素複合物、複合物主基團、及有機化合物。

【0045】 該金屬烷基、該過渡元素烷基和該烷基主基團可包括來自下列群組之至少之一者：環戊二烯基(Cp)三甲基鉑(CpPtMe₃)、甲基環戊二烯基(MeCp)三甲基鉑(MeCpPtMe₃)、四甲基錫(SnMe₄)、三甲基鎵(GaMe₃)、二茂鐵(Co₂Fe)和雙芳基鉻(Ar₂Cr)。該金屬羰基、該過渡元素羰基和該羰基主基團可包括來自下列群組之至少之一者：六羰基鉻(Cr(CO)₆)、六羰基鉬(Mo(CO)₆)、六羰基鎢(W(CO)₆)、八羰基二鈷(Co₂(CO)₈)、十二羰基三鈷(Ru₃(CO)₁₂)和五羰基鐵(Fe(CO)₅)。該金屬醇鹽、該過渡元素醇鹽和該醇鹽主基團可包括來自下列群組之至少之一者：原矽酸四乙酯(TEOS, Si(OC₂H₅)₄)和四異丙氧基鈦(Ti(OC₃H₇)₄)。該金屬鹵化物、該過渡元素鹵化物和該鹵化物主基團可包括選自下列群組之至少之一者：六氟化鎢(WF₆)、六氯化鎢(WCl₆)、六氯化鈦(TiCl₆)、三氯化硼(BCl₃)和四氯化矽(SiCl₄)。該金屬複合物、該過渡元素複合物和該複合物主基團可包括選自下列群組之至少之一者：雙(六氟乙酰丙酮)銅(Cu(C₅F₆HO₂)₂)和三氟乙酰丙酮二甲基金

($\text{Me}_2\text{Au}(\text{C}_5\text{F}_3\text{H}_4\text{O}_2)$)。該有機化合物可包括來自下列群組之至少之一元素：一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO_2)、脂族烴、芳族烴、真空泵油的成分和揮發性有機化合物。

【0046】 該至少一添加氣體可包括來自下列群組之至少一元素：氧化劑、鹵化物和還原劑。

【0047】 該氧化劑可包括來自以下群組至少一元素：氧氣(O_2)、臭氧(O_3)、水蒸氣(H_2O)、過氧化氫(H_2O_2)、一氧化二氮(N_2O)、氧化氮(NO)、二氧化氮(NO_2)和硝酸(HNO_3)。該鹵化物可包括來自以下群組至少一元素：氯(Cl_2)、鹽酸(HCl)、二氟化氙(XeF_2)、氫氟酸(HF)、碘(I_2)、碘化氫(HI)、溴(Br_2)、溴化氫(HBr)、亞硝酰氯(NOCl)、三氯化磷(PCl_3)、五氯化磷(PCl_5)和三氟化磷(PF_3)。該還原劑可包括來自以下群組至少一元素：氫(H_2)、氨(NH_3)和甲烷(CH_4)。

【0048】 該粒子束可包括來自下列群組之至少一元素：電子束、離子束、原子束、分子束和光子束。

【0049】 此外，該控制器件可具體實施成控制該第一器件。再者，該控制器件可具體實施成控制粒子束和所述用於在處理位置周圍沉積保護層之第一器件。

【0050】 再者，用於處理微影光罩的裝置可包括至少一偵測器，該偵測器具體實施以偵測源自該微影光罩的粒子，這些粒子是由粒子束所引起。源自該微影光罩的該等粒子可包括該隨時間變化的粒子束之粒子類型。源自該微影光罩的該等粒子可不同於該粒子束的粒子類型。

【0051】 再者，用於處理微影光罩的裝置可具體實施以執行下面定義用於處理微影光罩的方法步驟。

【0052】 在一具體實施例中，用於處理一微影光罩之方法包括下列步驟：(a) 提供至少一前驅氣體；(b) 通過使該隨時間變化的粒子束作用於該前驅氣體上，在該微影光罩上進行局部沉積反應及/或局部蝕刻反應；及(c)

在執行該局部沉積反應及/或該局部蝕刻反應的至少一部分時，減小該隨時間變化的粒子束與該微影光罩表面間之一平均入射角。

【0053】 用於處理一微影光罩之方法可更包括下列步驟：使用該粒子束分析該微影光罩。

【0054】 用於處理一微影光罩之方法可更包括下列步驟：在進行該局部沉積反應及/或該局部蝕刻反應的同時改變該入射角。如上述，球坐標系中的該入射角包括方位角或極角。

【0055】 用於處理一微影光罩之方法可更包括下列步驟：中斷該局部沉積反應及/或該局部蝕刻反應，並使用粒子束分析要產生的結構及/或要蝕刻的位置之產生部分。

【0056】 用於處理微影光罩的方法可在用於該微影光罩的局部處理過程中中斷。該粒子束可用來分析該處理位置。在該處理過程繼續之前，可根據該分析處理來修改該平均入射角。此處理指引允許在處理過程中改變待生產結構的側壁之邊緣斜率。

【0057】 該粒子束在該微影光罩表面上的平均入射角可通過控制器件以自動形式改變。

【0058】 電腦程式可包括指令，當電腦系統執行電腦程式時，該等指令提示根據上述態樣之一者之裝置的電腦系統，以執行上述態樣之一者的方法步驟。

【圖式簡單說明】

【0059】 以下實施方式將參考附圖以描述本發明的目前較佳示範具體實施例，其中：

【0060】 圖 1 描述在上半部影像中通過設計所預先決定的微影光罩圖案元素之一邊緣的示意剖面圖，並且在下半部影像中重顯該上半部影像的圖案元素之一邊緣，該邊緣無缺陷地產生；

【0061】 圖 2 顯示具有過量材料形式缺陷的微影光罩之圖案元件邊緣的示意剖面圖；

【0062】 圖 3 顯示根據先前技術在進行局部修復過程以去除缺陷之後，圖 2 的圖案元件邊緣之示意剖面圖；

【0063】 圖 4 在上半部影像中重顯圖 2，其中具有孔徑角 β 的粒子束入射在該微影光罩上，並且在下半部影像中例示該上半部影像中該粒子束在焦點上的強度分佈；

【0064】 圖 5 描述根據先前技術處理圖 2 中該微影光罩圖案元件的邊緣或側壁時，圖 4 的粒子束之相互作用區域(「散射錐」)；

【0065】 圖 6 示意性顯示根據所要執行的先前技術之粒子束誘導沉積處理；

【0066】 圖 7 顯示用於處理微影光罩的裝置中一些組件之示意剖面圖；

【0067】 圖 8 重顯來自圖 7 中裝置的放大片段，該裝置具有用於使微影光罩相對於圖 7 中裝置的粒子束傾斜之傾斜裝置；

【0068】 圖 9 描述來自圖 7 中裝置的放大片段，其具有用於使圖 7 中裝置的粒子束相對於微影光罩傾斜之樞軸裝置；

【0069】 圖 10 呈現來自圖 7 中裝置的放大片段，該裝置在掃描粒子顯微鏡的電子腔輸出處具有磁偏轉系統形式的偏轉裝置；

【0070】 圖 11 重顯來自圖 7 中裝置的放大片段，該裝置在掃描粒子顯微鏡的電子腔之樣本側末端處具有電偏轉系統形式的偏轉裝置；

【0071】 圖 12 重顯圖 4，其中減小圖 7 中裝置的該隨時間變化的電子束與樣本表面間之平均入射角；

【0072】 圖 13 重顯來自圖 5 的相互作用區域，其中在進行處理過程時，縮小來自圖 7 中裝置的電子束之平均入射角；

【0073】 圖 14 重顯來自圖 6 的該沉積處理，其中減小來自圖 7 中裝

置的該粒子束與微影光罩表面間之平均入射角；

【0074】 圖 15 顯示包括圖案元素的微影光罩之電子顯微鏡記錄的片段，其中該圖案元素具有缺失的圖案材料缺陷；

【0075】 圖 16 是圖 15 中缺失的圖案缺陷修復後的片段；及

【0076】 圖 17 指出用來處理微影光罩的方法流程圖。

【實施方式】

【0077】 下面更詳細解釋根據本發明的裝置及根據本發明用於處理微影光罩的方法之當前較佳具體實施例。使用掃描粒子顯微鏡的範例來描述根據本發明的裝置。然而，根據本發明的裝置並不受限於一掃描粒子顯微鏡。而是，根據本發明的裝置可基於任何掃描粒子顯微鏡，即如本申請案中所定義的裝置可使用任何類型的粒子來處理光罩。此外，根據本發明的裝置和根據本發明的方法之使用不僅僅限於微影光罩的處理。相反，這裡說明的設備和方法可用於處理各種微結構化組件。針對此的範例包括用於奈米壓印微影的模板、晶圓、IC (積體電路)、MEMS (微機電系統)和 PIC (光子積體電路)。

【0078】 圖 1 的上半部影像 105 圖解顯示通過微影光罩 100 的片段之剖面。光罩 100 可為透射式或反射式光罩 100。在圖 1 的範例中，光罩 100 包括一基板 110 及一圖案元件 120 或一結構元件 120。基板 110 可包括一石英基板及/或一具有低熱膨脹係數的材料(LTE (低熱膨脹)基板)。圖案元件 120 可為二元光罩 100 的結構元件 120。在這種情況下，圖案元件 120 可包括一吸收體結構 120 的元件，並且可包括例如鉻。然而，圖案元件 120 也可包括一相移光罩 100 的結構元件 120。舉例來說，可通過將適當圖案蝕刻到光罩 100 的基板 110 中，以製造相移光罩 100。此外，圖案元件 120 可包括結構元件 120，該元件使光化輻射的相位相對於入射在基板 110 上的輻射移位，並且還吸收入射在圖案元件 120 上的一些光化波長的光。此的範例

包括 OMOG (玻璃上不透明 MoSi (矽化鉬(molybdenum silicide)))光罩。

【0079】 圖 1 的上半部影像 105 顯示由設計預先決定的理想邊緣 130 或穿過側壁 140 的截面。圖案元件 120 的邊緣 130 之特徵在於側壁 140 的傾斜角 α 及半徑 150 或曲率半徑 150，藉此邊緣 130 首先合併到光罩 100 的基板 110 之表面 115 中，然後將合併到圖案元件 120 的平面 125 中。通常，該設計規定側壁 140 有大致 90° 的傾斜角 α 。圖案元件 120 的邊緣 130 或側壁 140 的曲率半徑 150 應盡可能小，即盡可能接近零。

【0080】 圖 1 的下半部影像 155 呈現出通過圖案元素 120 的截面，該圖案元素係根據以上討論的設計規定在光罩 100 的基板 110 上產生的。側壁 170 或邊緣 160 的傾斜角 α 基本上為 90° ，因此與設計規定具有良好的對應關係。邊緣 160 的曲率半徑 180 和 185 不是零而是很小，讓圖案元件 120 執行其功能。這意味著如圖 1 中下半部影像 155 所示，其結構元件 120 具有側壁 170 的邊緣 160 或傾斜角 α 之微影光罩 100 滿足規格。

【0081】 圖 2 顯示通過微影光罩 200 的示意剖面圖，該微影光罩包括一基板 110 和一圖案元件 120，其在邊緣 160 或側壁 170 處具有過量材料 250。過量材料 250 可包括圖案元件 120 的材料或基板 110 的材料。然而，過量材料 250 的缺陷也可能是已經沉澱在圖案元件 120 的邊緣 160 處之顆粒。呈顆粒形式的過量材料 250 通常具有不同於光罩 200 的材料成分。

【0082】 在圖 2 重顯的範例中，過量材料 250 的缺陷與圖案元素 120 的高度相同。但是，這並不是使用本申請案中所述裝置來處理過量材料 250 的缺陷之先決條件。相反，所說明的裝置可處理實際上具有任何形式之過量材料 250 的缺陷。

【0083】 圖 3 呈現在藉由局部粒子束誘導蝕刻處理，例如根據先前技術的 EBIE (電子束誘導蝕刻)，已經去除了過量材料 250 或過量材料 250 的缺陷之後，通過來自圖 2 中光罩 200 的片段之剖面。從圖 3 所示已修復的光罩 300 可收集到的是，由於局部蝕刻處理而產生的側壁 370 之傾斜角 α'

明顯偏離了設計所要求的角度 $\alpha=90^\circ$ 。此外，相對於在圖 1 內下半部影像 155 中指定的範例，所產生的圖案元件 320 的邊緣 360 之曲率半徑 380、385 已大大增加。此外，通過局部蝕刻處理，已去除在過量材料 250 先前所覆蓋區域中和周圍的光罩 200 的基板 110 之部分 350。由於局部蝕刻處理的所解釋不利影響之影響，則已修復光罩 300 仍不滿足預定的成像規格。

【0084】 上面使用圖 3 來說明通過執行粒子束誘導的局部蝕刻處理，以處理過量材料 250 的缺陷時之困難。第二類經常發生的微影光罩缺陷是缺少材料的缺陷，例如在二元光罩的情況下(圖 3 中未顯示)缺少吸收材料。像局部蝕刻的情況一樣，在缺少材料(例如，缺少吸收劑材料)的局部沉積範圍內，借助於粒子束誘導沉積處理(例如 EBID (電子束誘導沉積)處理)產生明顯偏離 90° 的已沉積圖案元件側壁之傾斜角。此外，已沉積圖案元素的曲率半徑通常也顯著大於無缺陷光罩 150 的原始生產過程中已沉積圖案元素 120 的曲率半徑 180、185。此外，由於局部沉積處理，在基板 110 的表面 115 之部分上存在不想要的材料堆積，該部分應當沒有沉積的材料。

【0085】 這意味著局部沉積處理會在局部處理位置周圍產生一種暈環類型。因此，另外沉積在基板 110 的表面 115 之部分上的材料和局部 EBID 處理的上述缺陷，通常導致已修復的微影光罩之功能局部受損。

【0086】 下面基於圖 4 和圖 5，解釋導致以上在圖 3 的示圖中所討論問題的至少一些原因。

【0087】 圖 4 的上半部影像 405 重顯圖 2 的微影光罩 100 之片段。具有孔徑角 β 的粒子束 410 撞擊光罩 100 的基板 110。孔徑角 β 可包括從大約 0.1 mrad 到 100 mrad 的角度範圍。粒子束 410 以基本垂直的方式撞擊光罩 100 的基板 110 之表面 115。圖 4 的下半部影像 455 顯示粒子束 410 在其尖端 420 或其焦點 420 內，或在粒子束 410 入射在圖 1 中光罩 100 的基板 110 之表面 115 上入射點處的強度分佈。通常，粒子束 410 在其焦點 420 處具有高斯或類高斯強度分佈。最小可達到的半峰全寬(full width at half

maximum, FWHM)450 取決於粒子束 410 的粒子類型。現階段，電子束有可能聚焦在次奈米範圍內焦點上的光斑直徑上。

【0088】 為了獲得盡可能高的局部處理過程之空間解析度，必須將粒子束 410 聚焦到處理位置的小光斑 450 上。像在光學領域一樣，然而焦點上小光斑直徑的要求對於粒子束 410 而言需要大的孔徑角 β 。如圖 4 的上半部影像 405 中所示，粒子束 410 的大孔徑角 β 削弱了粒子束 410 存取位於圖案元件 120 的邊緣 160 或陡峭側壁 170 附近加工或修復位置之能力。

【0089】 圖 5 呈現圖 2，含圖 4 的粒子束 410 另外入射在微影光罩 100 的材料上。在圖 5 中，參考符號 510 表示當入射到微影光罩 100 的基板 110 上時，粒子束 410 產生的相互作用區域。當粒子束 410 入射到基板 110 上時，該粒子束的粒子(例如，電子)在基板材料 110 的原子核之電磁場中散射。粒子束 410 中的入射粒子的能量在相互作用體積 510 或散射錐 510 中產生次級產物。舉例來說，具有原子核的入射粒子之散射處理將能量轉移到光罩 100 的基板材料 110 之晶格上，由此將基板材料 110 局部加熱。基板材料 110 的電子還可通過散射處理，從入射在基板 110 中的入射點 520 上的粒子束 410 之初級粒子吸收能量，並且可釋放作為二次電子及/或背向散射電子。相互作用區域 510 的尺寸和形狀取決於粒子束 410 的粒子類型，以及入射在基板 110 上的粒子束 410 之粒子動能。此外，基板 110 的材料或材料成分影響散射錐 510 的尺寸和形式。

【0090】 在處理過程期間，前驅氣體分子被吸附在基板 110 上要處理的部位附近之表面 115 處。存在於光罩 100、200 的基板 110 中表面 125 上粒子束 410 的入射點 520 之區域中的前驅氣體分子，通過在相互作用區域 510 中進行的處理，例如，通過吸收二次電子及/或背向散射電子，或該分子觸發被吸附的前驅氣體分子與光罩 100、200 的基板材料之分子或原子間之局部化學反應，而分解成其組成部分。

【0091】 當粒子束 410 入射在基板 110 上時，相互作用區域 510 或散

射錐 510 基本上位於光罩 100 的基板 110 內。如果粒子束 410 入射在光罩 100 的圖案元件 120 之邊緣 160 或側壁 170 上，則僅在相互作用區域 510 中進行的一些處理發生在光罩 100 的圖案元件 120 之材料內。這在圖 5 中通過變形或大體上對分的相互作用區域 550 可見。在變形的相互作用區域 550 中產生的一部分次級或背向散射粒子 560 可離開相互作用區域 550 並到達光罩 100 的基板 110 之表面 115。這在圖 5 是由箭頭 560 表示。不像圖案元件 120 的材料，在真空環境中幾乎沒有任何相互作用過程，通常在處理過程中光罩 100、200 位於真空環境中。

【0092】 如上面已經解釋，在微影光罩 200 的處理過程中，光罩 200 的基板 110 之表面 125 被圖案元素 120 的邊緣 160 或側壁 170 區域中之前驅氣體分子覆蓋。由粒子束 410 在變形的相互作用區域 550 中釋放，並入射在基板 110 的表面 115 上之次級粒子 560，在基板 110 上引發不想要的局部處理過程。如果前驅氣體以蝕刻氣體的形式存在，則這是基板 110 的蝕刻處理，其導致基板 110 中的局部凹陷 350，如圖 3 所示。對照下，以沉積氣體形式存在的前驅氣體通常會導致在微影光罩 200 的基板 110 上發生不必要之局部沉積處理。

【0093】 圖 6 的圖式 600 通過在微影光罩 100 的基板 110 上，沿著圖案元件 120 的側壁 170 沉積材料 650，以對缺失材料的缺陷之校正視覺化。圖 6 例示根據先前技術的 EIBD 處理。在圖 5 的示圖中解釋，電子束 410 在入射到光罩 100 的基板 110 之表面 115 上時，在基板中產生相互作用區域 510。在相互作用區域 510 中進行的處理，促進吸附在基板 110 的表面 115 上之前驅氣體分子之分裂。如果吸附在基板 110 的表面 115 上之前驅氣體的分子是沉積氣體，則可將通過電子束 410 的作用而分裂之沉積氣體構成部分或成分沉積在表面 115 上。因此，例如，羰基金屬通過電子束 410 的直接及/或間接作用，而分裂成金屬原子或金屬離子和一氧化碳。金屬原子可沉積在基板 110 的表面 115 上，而揮發性一氧化碳分子可大部分離開

處理位置。

【0094】 通過在缺陷材料 650 的區域上順序掃描聚焦的電子束 410，在存在沉積氣體的情況下，將缺陷材料逐層沉積在基板 110 上。然而，由電子束 410 在基板或沉積物 650 或沉積材料 650 中產生的相互作用區域 610 之尺寸，阻止沉積側壁 670 或具有大致 90° 傾斜角的邊緣。相反，相互作用區域 610 的尺寸至少部分設置側壁 670 或沉積物 650 的邊緣 660 之傾斜角 α 的尺寸。就像執行局部蝕刻處理時一樣，相互作用區域 610 的大小和形狀取決於電子束 410 內電子的動能及沉積物 650 的材料成分。

【0095】 圖 7 顯示通過裝置 700 的一些重要部件的示意剖面圖，該裝置能夠在局部處理例如微影光罩 200 的樣本 725 時，防止發生上述困難之至少一者。圖 7 的示範裝置 700 包括以掃描粒子顯微鏡(SEM) 710 形式的已改進掃描粒子顯微鏡 710。

【0096】 電子束 715 當成粒子束 715 是有利的，因為其基本上不會損壞樣本或微影光罩 200。然而，也可在裝置 700 中使用離子束、原子束或分子束(圖 6 中未顯示)，以處理樣本 725。

【0097】 掃描粒子顯微鏡 710 由電子槍 705 和電子光柱 715 組成，其中配置有例如為 SEM 710 的電子光學單元形式的電子束光學單元 720。在圖 7 的 SEM 710 中，電子槍 705 產生電子束 715，其當成聚焦電子束 715 引導到樣本 725 上的位置 722 之上，該位置可包括成像元件的微影罩 200，圖 7 中未顯示，其配置在電子腔 720 中。樣本 725 配置在樣本台 730 (或台階)上。此外，SEM 710 的電子腔 720 之成像元件可掃描樣本 725 上的電子束 715。可使用 SEM 710 的電子束 715 檢查樣本 725。此外，電子束 715 可用於引發粒子束誘導的沉積處理(電子束誘導沉積，EBID)及/或粒子束誘導的蝕刻處理(電子束誘導蝕刻，EBIE)。此外，SEM 710 的電子束 715 可用於分析樣本 725 或樣本 725 的缺陷，例如微影光罩 200 上過量材料 250 的缺陷。

【0098】 偵測器 717 記錄通過電子束 715 在樣本 725 的相互作用區域 510、550、610 中產生之背向散射電子和二次電子。配置在電子腔 720 中的偵測器 717 稱為「透鏡組內用型(in-lens)偵測器」。在各種具體實施例中，偵測器 717 可安裝在電子腔 720 中。偵測器 717 將由電子束 715 在測量點 722 處產生的二次電子及/或從樣本 725 背向散射的電子轉換為電量測信號，並將該電量測信號傳輸至裝置 700 的電腦系統 780 之評估單元 785。偵測器 717 可包含濾波器或濾波器系統，以根據能量及/或立體角(在圖 7 中未重顯)來區分電子。偵測器 717 受到裝置 700 的控制器件 790 所控制。

【0099】 裝置 700 可包含一第二偵測器 719。第二偵測器 719 設計用於偵測電磁輻射，特別是在 X 光區域中。因此，偵測器 719 有助於分析在處理樣本 725 之過程中產生的輻射。偵測器 719 同樣受到控制器件 790 的控制。

【0100】 此外，裝置 700 可包括一第三偵測器(圖 7 內未顯示)。第三偵測器通常以 Everhart-Thornley 偵測器的形式具體實施，並且通常配置在電子腔 720 的外部。因此，用來偵測第二電子。

【0101】 裝置 700 可包括離子源，其在樣本 725 的區域中提供具有低動能的離子(圖 7 中未顯示)。動能低的離子可補償樣本 725 的電荷。此外，裝置 700 可在已修改的 SEM 710 之電子腔 720 的輸出上具有網孔(圖 7 中未顯示)。樣本 725 的靜電電荷同樣可通過將電壓施加給網孔而獲得補償。更進一步可讓網孔接地。

【0102】 樣本 725 配置在樣本台 730 或樣本固定器 730 上。樣本台 730 在本領域中也被稱為「台」。如圖 7 中的箭頭所示，例如可通過未在圖 7 中例示的微操縱器，相對於 SEM 710 的電子光柱 715 在三個空間方向上移動樣本台 730。

【0103】 除了平移運動之外，樣本台 730 還可繞彼此垂直的三個軸旋轉。圖 8 的圖式 800 圖解顯示樣品台 730 環繞垂直於圖紙平面的軸旋轉。

作為這些旋轉選項的因此，樣本台 730 實現傾斜裝置 830。相較於圖 7 中電子束 410 的電子在樣本 725 上的基本垂直入射，旋轉樣本台 730 允許減小電子束 715 在樣本 725 的表面 815 上之入射角 φ_1 。傾斜裝置 830 可使樣本台 730 與水平最多傾斜 45° 。此外，傾斜裝置 830 可環繞垂直於樣本台平面的旋轉軸旋轉 360° 。原則上，傾斜裝置 830 可具體實施在至少三個變型形式中。在圖 8 示意說明的第一具體實施例中，傾斜軸是固定並且垂直於圖紙平面。旋轉軸在圖紙平面內，並且垂直於旋轉軸。在第二具體實施例中，傾斜單元或傾斜裝置位於旋轉單元或旋轉設備上。在此示範具體實施例中，旋轉軸靜止。舉例來說，該旋轉軸平行於 z 方向，即平行於電子束 715。在第三具體實施例中，樣本 725(例如，光罩 100、200)是傾斜。舉例來說，這可由兩高度可調整支柱來實現。最後指定的示範具體實施例受限於小傾斜角。

【0104】 通過樣本台 730 繞兩相互垂直的旋轉軸旋轉，及繞著電子束 715 的軸線旋轉樣本 730 的附加選擇，可在樣本 725 上的每個點處，以受控的方式減小樣本 725 的表面 815 上之入射角 φ_1 。裝置 700 的控制器件 790 可控制樣本台 730 的平移和旋轉運動。

【0105】 請即重新參考圖 7，樣本 725 可為任何微結構部件或需要處理的部件，例如局部缺陷 250 的修復。因此，樣本 725 可包括例如透射式或反射式光罩 200 及/或用於奈米壓印技術的模板。透射式和反射式光罩 100、200 可包括所有類型的光罩，例如二元光罩、相移光罩、OMOG 光罩或用於兩次或多次曝光的光罩。

【0106】 此外，圖 7 的裝置 700 可包括一或多個可用於分析及/或處理樣本之掃描探針顯微鏡，例如原子力顯微鏡(AFM)形式(圖 7 中未顯示)。

【0107】 掃描粒子顯微鏡 710 的電子腔 720 可繞至少一軸樞轉或旋轉。圖 900 例示相對於水平放置的樣本台 730 處於樞轉狀態的電子腔 720 之樣本側端。在圖 9 中，樞轉裝置 930 由垂直於圖紙平面的旋轉或樞轉軸線 930

表示。樞轉裝置 930 可沿著至少一方向樞轉 SEM 710 的電子腔 720。然而，也可將樞轉裝置 930 具體化為允許電子腔 720 較佳沿兩相互垂直的樞轉軸線偏轉。因為掃描粒子顯微鏡 710 的電子腔 720 既大且重，所以當前最佳將樞轉裝置 930 具體實施為僅可繞一樞轉軸線旋轉，並且樣本台 730 具體實施為可繞垂直於該樣本台平面的旋轉軸旋轉。在另一示範具體實施例中，可將電子腔 720 以相對於樣本台 730 的表面偏離 90°之固定角度安裝在裝置 700 中。

【0108】 裝置 700 可具有一用於樣本台 730 的傾斜裝置 830 和一用於 SEM 710 的電子腔 720 之樞軸裝置 930 兩者。

【0109】 請即重新參考圖 7，如上所述，除了分析樣本 725 之外，改進的 SEM 710 之電子束 715 還可用於誘發電子束誘導的沉積處理和 EBIE 處理。此外，裝置 700 的 SEM 710 之電子束 715 也可用於執行 EBID 處理。為了執行這些處理，圖 7 的裝置 700 具有三個用於儲存前驅氣體的不同供應容器 740、750 和 760。

【0110】 第一供應容器 740 儲存前驅氣體，例如金屬羰基(metal carbonyl)，例如六羰基鉻(chromium hexacarbonyl)($\text{Cr}(\text{CO})_6$)，或金屬醇鹽(metal alkoxide)主基團，例如 TEOS。借助於儲存在第一供應容器 740 中的前驅氣體，例如在局部化學沉積反應的範圍內，可將微影光罩 200 所缺少的材料沉積在其上。光罩 200 的缺失材料可包括缺失的吸收體材料，例如鉻；缺失的基板材料 110，例如石英；OMOG 光罩的缺失材料，例如矽化鉬(molybdenum silicide)；或反射光罩的多層結構之缺失材料。

【0111】 如以上在圖 5 的示意圖所示，SEM 710 的電子束 715 充當能量供應器，用於在應將材料沉積在樣本 725 上的位置處，將儲存在第一供應容器 740 中的前驅氣體分離。這意味著電子束 715 和前驅氣體的組合準備導致執行 EBID (電子束誘導沉積)處理，以局部沉積缺失的材料，例如從光罩 200 缺失的材料。裝置 700 的已修改 SEM 710 與第一供應容器 740

組合形成沉積設備。

【0112】 電子束 715 可聚焦到數奈米的光斑直徑上。因此，EBID 處理可以通常範圍在 5 nm 至 20 nm 內的空間解析度來局部沉積缺失材料。但是，電子束 715 的較小聚焦直徑與較大的孔徑角 β 有關聯性，如圖 4 的示意圖所示。

【0113】 在圖 7 所示的裝置 700 中，第二供應容器 750 儲存蝕刻氣體，該氣體允許進行局部電子束誘導蝕刻(EBIE)處理。可藉由電子束誘導的蝕刻處理從樣本 725 去除過量材料，例如，從微影光罩 200 的基板 110 之表面 115 去除過量材料 250 或過量材料 250 的缺陷。舉例來說，蝕刻氣體可包括二氟化氙(XeF_2)、鹵素或亞硝酰氯(NOCl)。因此，已修改的 SEM 710 與第二供應容器 750 組合形成局部蝕刻裝置。

【0114】 添加劑或附加氣體可儲存在第三供應容器 760 中，該添加劑在必要時能夠添加到在第二供應容器 750 中保持可用之蝕刻氣體 920，或添加到儲存在第一供應容器 740 中的前驅氣體。另外，第三供應容器 760 可儲存第二前體氣體或第二蝕刻氣體。

【0115】 在圖 7 所例示的掃描粒子顯微鏡 710 中，供應容器 740、750 和 760 之每一者具有其自己的控制閥 742、752 和 762，以監測或控制每單位時間提供的相應氣體量，即在樣本 725 上電子束 715 的入射位置 722 處之氣體體積流量。控制閥 742、752 和 762 由控制器件 790 控制和監控。使用此配置，可設定在處理位置 722 處提供一或多個氣體之分壓條件，以在寬範圍內執行 EBID 及/或 EBIE 處理。

【0116】 此外，在圖 7 中的示範 SEM 710 中，每個供應容器 740、750 和 760 都具有自己的氣體饋線系統 745、755 和 765，其末端是在樣本 725 上的電子束 715 的入射點 722 附近的噴嘴 747、757 和 767。

【0117】 供應容器 740、750 和 760 可具有自己的溫度設定元件及/或控制元件，其允許冷卻和加熱相應的供應容器 740、750 和 760。這使得

可在各自最佳溫度下儲存並且特別是提供前體氣體及/或蝕刻氣體(圖 7 中未顯示)。控制器件 790 可控制供應容器 740、750、760 的溫度設定元件和溫度控制元件。在 EBID 和 EBIE 處理過程期間，供應容器 740、750 和 760 的溫度設定元件可進一步通過適當溫度選擇，用來設定儲存在其中的前體氣體之蒸汽壓力。

【0118】 裝置 700 可包括一個以上的供應容器 740，以儲存兩或更多種前驅氣體。此外，裝置 700 可包括一個以上的供應容器 750，以儲存兩或多個蝕刻氣體(圖 7 未顯示)。

【0119】 圖 7 所例示的掃描粒子顯微鏡 710 在真空室 770 中運作。實施 EBID 和 EBIE 處理需要真空室 770 中相對於環境壓力的負壓。為此目的，圖 7 中的 SEM 710 包括泵系統 772，用於產生和維持真空室 770 中所需的負壓。利用關閉控制閥 742、752 和 762，在真空室 770 中實現 $<10^{-4}$ Pa 的殘餘氣體壓力。泵系統 772 可包括單獨泵系統，用於真空室 770 上半部來提供 SEM 710 的電子束 715 以及用於下半部 775 或反應室 775 (圖 7 未顯示)。

【0120】 裝置 700 包含一電腦系統 780。電腦系統 780 包括一掃描單元 782，其掃描樣本 725 上方的電子束 725。此外，電腦系統 780 包括控制單元 790，該單元用於設定和控制裝置 700 的已改進掃描粒子顯微鏡 710 的各種參數。再者，控制單元 790 可控制樣本台 730 的傾斜裝置 830 和 SEM 710 的電子腔 720 之樞軸裝置 930。

【0121】 此外，電腦系統 780 包括評估單元 785，該單元分析來自偵測器 717 和 719 的量測信號並從中產生影像，該影像顯示在電腦系統 780 的顯示器 795 上。特別是，評估單元 785 設計為從偵測器 717 的量測資料，決定樣本 725 (例如微影光罩 200)中缺失材料之缺陷及/或過量材料 250 的缺陷之位置和輪廓。此外，評估單元 785 包含一或多個演算法，其允許決定與光罩 200 的已分析缺陷 250 相對應的修復形狀。再者，電腦系統 780 的評估單元 785 可包括一或多個演算法。一或多個演算法可根據粒子束 715

的電子動能及/或根據要蝕刻或沉積的材料成分，以確定樣本台 730 的傾斜裝置 830 之角度變化及/或 SEM 710 的電子腔 720 之樞軸裝置 930 的角度變化。再者，評估單元 785 的演算法可確定偏轉裝置的參數。下面根據圖 10 和圖 11 說明電子束 715 的偏轉裝置範例。評估單元 785 的演算法可採用硬體、軟體或其組合實現。

【0122】 評估單元 785 可進一步設計為從偵測器 719 的量測資料中確定臨時保護層相對於待處理位置的面積和位置。在至少部分環繞局部處理位置處施加臨時保護層，可在很大程度上避免不參與正在執行的局部處理過程之樣本 725 區域，例如光罩 200 的基板 110 一部分，避免受到損害或損壞。電腦系統 780 的控制單元 790 控制臨時保護層的沉積及其去除，例如通過執行 EBIE 處理。在替代具體實施例中，在樣本 725 的清潔過程中，例如濕化學清潔過程中，從樣本 725 去除該臨時保護層。

【0123】 電腦系統 780 及/或評估單元 785 可包含一記憶體(圖 7 中未顯示)，最佳是非揮發性記憶體，其儲存用於各種光罩類型的一或多個修復形狀模型。評估單元 785 可設計為根據修復模型，從偵測器 717 的量測資料中計算出微影光罩 200 的缺陷 250 之修復形狀。

【0124】 如圖 7 所示，評估單元 785 可整合到電腦系統 780。然而，也可將評估單元 785 具體實施為裝置 700 內部或外部的獨立單元。特別是，評估單元 785 可設計為藉由專用硬體實施方式來執行其一些任務。

【0125】 電腦系統 780 可整合到裝置 700 中或具體實施為獨立設備(圖 7 中未顯示)。電腦系統 780 可採用硬體、軟體、韌體或其組合建構。

【0126】 圖 10 的圖式 1000 顯示來自圖 2 的微影光罩 200 上電子束 715 的入射點 1022 之區域中的裝置 700 之放大片段。在圖 10 中例示的範例中，微影光罩 200 的基板 110 藉由三點軸承配置於樣本台 1050 上。光罩 200 在重力作用下保持在其位置上。圖式 1000 的部分顯示三點軸承的三個球體 1020 中之兩者。

【0127】 偏轉裝置 1050 安裝在裝置 700 中，在 SEM 710 的電子腔 720 之輸出與光罩 200 之間。偏轉裝置 1050 包括磁偏轉系統 1030，該系統例如可以線圈對或一或多個永久磁體(圖 10 中未顯示)的形式實現。在圖 10 中例示的範例中，磁偏轉系統 1030 產生磁場 1010，該磁場的場線垂直於圖紙平面並指向圖紙平面。當離開電子腔 720 時，電子束 715 的電子被磁偏轉系統 1030 產生的磁場 1010 偏轉，並且該電子在穿過彎曲路徑 1015 之後於入射點 1022 上撞擊微影光罩 200。舉例來說，電子束 715 的電子到達過量材料 250 的缺陷。光罩 200 上電子束 715 的入射點 1022 與圖 7 中裝置 700 的入射點 722 不同。而且，受到磁偏轉系統 1030 的磁場 1010 偏轉之電子束 715 以小於圖 7 中電子束 715 的入射角之角度 ϕ_3 撞擊光罩 200。當聚焦電子束 715 時，考慮已由磁偏轉系統 1030 延長的電子之路徑 1015。

【0128】 磁偏轉系統 1030 可產生均勻或不均勻的磁場 1010。磁場 1010 的強度可由電腦系統 780 的控制單元 785 來設定。

【0129】 在圖 10 中重顯的範例中，磁偏轉系統 1030 產生同質性磁場 1010，該磁場的場線垂直通過圖紙平面。但是，磁偏轉系統 1030 也可產生第二磁場，該磁場的場線平行於例如圖紙的平面延伸。借助於基本上彼此垂直的兩個磁場，磁偏轉系統 1030 不僅可通過改變兩磁場的場強度來設定電子束 715 之極角，而且也可設定其方位角。這允許電子束 715 以入射角 ϕ_3 到達微影光罩 200 中圖案元件 120 的不同側。

【0130】 在圖 10 中，磁偏轉系統 1030 安裝到裝置 700 中成一單元 1050，該單元與 SEM 710 的電子腔 720 分離或獨立。但是，磁偏轉系統 1030 也可在電子腔 720 的輸出處整合至 SEM 710 中。

【0131】 圖 11 呈現出偏轉裝置 1050 的第二示範具體實施例。在圖 11 中重顯的範例中，偏轉裝置 1050 包括一電偏轉系統 1130。在圖 11 中，電偏轉系統 1130 由兩個額外的成對偏轉板 1110 和 1120 來實現，該等偏轉板已安裝在 SEM 710 的電子腔 720 內電子光學物鏡 1150 之上游。第一成對

偏轉板 1110 使電子束 715 從 SEM 710 的軸 1160 或電子光軸 1160 偏轉。第二成對偏轉板 1120 設計和設置成使得偏轉的電子束 1115 大體上穿過電子光學物鏡 1150 的中心。由於電子光學物鏡 1150，此光束引導防止已偏轉的電子束 1115 遭受顯著的成像像差。

【0132】 從圖 11 可收集到的是，由電偏轉系統 1130 偏轉的電子束 1115 以相對於來自圖 7 的入射角顯著減小之角度 ϕ_4 入射在樣本 725 上。此外，已偏轉的電子束 1115 撞擊樣本 725 的表面 815 上之位置 1122，該位置不同於圖 7 中電子束的入射點 722。可通過改變施加到電偏轉系統 1130 的成對偏轉板 1110 和 1120 上之電壓，以設定樣本 725 的表面 815 上之入射角 ϕ_4 。控制器件 790 可控制電偏轉系統 1130。評估單元 785 可基於針對缺陷所確定的修復形狀，以確定電偏轉系統 1130 的設定。

【0133】 在圖 11 中描繪的範例中，電偏轉系統 1130 被實現為在相對於電子光軸 1160 的方向上偏轉電子束 715。本質上，電偏轉系統 1130 也可設計成使得後者可相對於 SEM 710 的電子光軸 1160，往兩不同方向偏轉通過偏轉系統 1130 的電子束 715。

【0134】 此外，磁偏轉系統 1030 和電偏轉系統 1130 可結合在一偏轉裝置 1050 中。再者，傾斜裝置 830 可結合偏轉裝置 1050。再者，樞轉裝置 930 可結合偏轉裝置 1050。

【0135】 圖 12 和圖 13 例示如何通過減小樣本 725 的表面 815 上隨時間變化的粒子束 715 之平均入射角，可在很大程度上消除圖 4 和圖 5 中所解釋在樣本 725 (例如光罩 100) 的局部處理期間出現的困難。圖 12 的上半部影像 1205 可視化了電子束 410 在微影光罩 100 上之入射，相較於圖 2，電子束 410 的入射角已經減小角度 ϕ 。上面在圖 7 至圖 11 中說明減小入射角 $(90^\circ - \phi)$ 的可能性。圖 12 的下半部影像 1255 以類似於圖 4 的方式，呈現出電子束 410 在其焦點 420 中的強度分佈。如圖 12 所示，減小電子束 410 在微影光罩 100 的表面 115 上之平均入射角 $(90^\circ - \phi)$ ，允許電子束 410 聚焦

在焦點上沒有大孔徑角 β 所導致的小光斑直徑 450 上，從而被光罩 100 的圖案元件 120 明顯遮蔽。

【0136】 圖 13 呈現在處理微影光罩 100 的側壁 170 或邊緣 160 時電子束 410 的相互作用區域，其中電子束 410 在光罩 100 的表面 115、125、170 上之平均入射角已減小了角度 ϕ ，如圖 12 所示。關於光罩 100 的基板 110 的處理，參考有關圖 5 的說明。不像圖 5，當以減小的入射角($90^\circ-\phi$)加工邊緣 160 或側壁 170 時，相互作用區域 1450 幾乎不再變形。舉例來說，這意味著可通過 EBIE 處理蝕刻邊緣 160 或側壁 170，而不通過局部 EBIE 處理顯著改變側壁 170 的傾斜角 α 。此外，當進行局部蝕刻處理時，基板 110 的表面 115 沒有明顯受到侵蝕。

【0137】 圖 14 的圖式 1400 通過在微影光罩 100 的基板 110 上，沿著圖案元件 120 的側壁 170 沉積材料 1420，以呈現對缺失材料的缺陷之校正。相較於圖 6 內說明沉積處理，如圖 12 所示，在處理開始之前，減小粒子束 410 在光罩 100 的表面 115、125、170 上之平均入射角($90^\circ-\phi$)，如圖 12 和圖 13 內所示。從圖 14 可得出的結論是，沉積物 1420 以邊緣 1460 或側壁 1470 沉積，該兩者稍微偏離了光罩 100 設計所預先決定的 90° 角。但是，與有關圖 6 的討論範圍內所說明 EBID 處理之傾斜角相比，偏差很小。此外，曲率半徑 1480 和 1485 明顯不大於光罩 100 的無缺陷圖案元件 120 之半徑。此外，在圖 14 的範圍內所解釋之沉積處理在微影光罩 100 的基板 110 之表面 115 上大體上不沉積材料 1420。

【0138】 圖 15 的圖式 1590 顯示微影光罩 1500 的電子顯微鏡記錄之片段 1505。片段 1505 顯示圖案元件 1520 的邊緣 1530，其配置在光罩 1500 的基板 1510 上。圖案元件 1520 及因此的光罩 1500 具有缺圖案材料 1550 的缺陷。黑條 1560 指定電子束 715 的掃描區域寬度，其用於修復缺陷 1550。通過在缺陷區域 1550 中沉積材料來校正缺少的圖案材料 1550 之缺陷，所沉積材料所具有的光學特性與圖案元件 1520 的材料盡可能接近。

【0139】 圖 16 的圖式 1690 呈現在修復缺失圖案材料 1550 的缺陷之後，微影光罩 1500 的片段 1505 之電子顯微鏡記錄。通過借助於 EBID 處理沉積材料來修復缺陷 1550。為了啟動局部電子束誘導的沉積處理，電子束 410 不是以垂直方式而是垂直從正面傾斜引導到缺陷部位 1550 上，使得電子束 715 在基板 1510 的表面 115 上之平均入射角小於 90° 。當記錄片段 1505 時，電子束 410 同樣從正面傾斜入射到微影光罩 1500 上。已修復的缺陷 1550 在圖 16 中用參考符號 1660 標記。相較於圖 15，圖 16 所示圖案元素 1520 的邊緣 1530 之輪廓不那麼清晰。

【0140】 從圖 16 可看出，用於修復缺陷 1550 的 EBID 處理幾乎沒有在微影光罩 1500 的缺陷部位前面區域 1620 中之基板 1510 上沉積任何材料。因此，修復處理不會損害光罩 1500 的基板 1510 之透射。

【0141】 但是，從圖 16 可以清楚看出，缺陷 1550 的修復處理已在圖案元件 1520 上沉積大量材料。從圖 16 中以參考符號 1650 標記的暈環中可明顯看出這一點。

【0142】 如果圖案元件 1520 是二元光罩 1500 的圖案元件，如圖 15 和圖 16 以示範方式例示的光罩 1500 之情況，則圖案元件上暈環 1650 的附加吸收材料不會損害微影光罩 1500 的功能。

【0143】 相反，如果圖案元件 1520 是相移光罩的結構元件 1520，則通過修復處理產生的暈環 1650 將顯著損害該已修復的光罩。為了防止這種情況，在執行用於修復已缺失圖案材料 1550 的缺陷之 EBID 處理之前，圖案元件 1520 可在暈環 1650 的區域中由臨時保護層覆蓋(圖 16 中未顯示)。臨時保護層同樣可藉由粒子束誘導的沉積處理來沉積。選擇一種材料或材料組合物作為用於臨時保護層的材料，使得可輕易將臨時保護層與位於該臨時保護層上的材料一起從已修復微影光罩 1500 上去除，該材料沉積用於修復缺陷。可以通過使用裝置 700 執行 EBIE 處理，以去除臨時保護層。另外，例如，可在用於微影光罩 1500 的清潔處理範圍內，例如通過濕化學清

潔，以實現保護層。

【0144】 最後，圖 17 的流程圖 1700 呈現用於以緊湊形式處理微影光罩 150、200、1500 的方法之基本步驟。該方法從步驟 1710 開始。在下一步驟 1720 中提供至少一前驅氣體。可將一或多個前驅氣體儲存在裝置 700 的供應容器 740、750、760 之一者中，並可通過氣體饋線系統 745、755、765 引導至電子束 410、715 入射於樣本 725 上的位置。隨後，在步驟 1730 中，通過使隨時間變化的粒子束 410、715 作用在前驅氣體上，在微影光罩 150、200、1500 上進行局部沉積反應及/或局部蝕刻反應。在執行至少部分局部沉積反應及/或局部蝕刻時，在步驟 1740 中減小隨時間變化的粒子束 410、715 與微影光罩 150、200、1500 的表面 115 間之平均入射角。該方法結束於步驟 1750。

【符號說明】

100	微影光罩
105	上半部影像
110	基板
115	表面
120	圖案元件
120	結構元件
125	平面
130	理想邊緣
140	側壁
150	曲率半徑
155	下半部影像
160	邊緣
170	側壁

180、185	曲率半徑
200	微影光罩
250	過量材料
300	已修復的光罩
320	圖案元件
350	部分
360	邊緣
370	側壁
380、385	曲率半徑
405	上半部影像
410	電子束 / 粒子束
420	焦點
450	小光斑
455	下半部影像
510	相互作用區域
520	入射點
550	相互作用區域
560	背向散射粒子
610	相互作用區域
650	材料
660	邊緣
670	側壁
700	裝置
705	電子槍
710	電子束 / 掃描粒子顯微鏡
715	電子束 / 粒子束 / 電子光柱

717	偵測器
719	第二偵測器
720	電子束光學單元 / 電子腔
722	位置
725	樣本
730	樣本台
740、750、760	供應容器
742、752、762	控制閥
745、755、765	氣體饋線系統
747、757、767	噴嘴
770	真空室
772	泵系統
775	反應室
780	電腦系統
782	掃描單元
785	評估單元
790	控制器件
795	顯示器
815	表面
830	傾斜裝置
930	樞轉裝置
1010	磁場
1015	彎曲路徑
1020	球體
1022	入射點
1030	磁偏轉系統

1050	樣本台
1050	偏轉裝置
1110、1120	成對偏轉板
1115	偏轉的電子束
1122	位置
1130	電偏轉系統
1150	電子光學物鏡
1160	電子光學軸
1205	上半部影像
1255	下半部影像
1420	沉積物
1460	邊緣
1470	側壁
1480、1485	曲率半徑
1500	微影光罩
1505	片段
1510	基板
1520	圖案元件
1530	邊緣
1550	缺圖案材料
1560	黑條
1650	暈環

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種用於處理至少一微影光罩(150、200、1500)的裝置(700)，其包括：

a. 至少一隨時間變化的粒子束(410、715)，其具體實施用於在該至少一微影光罩(150、200、1500)上的局部沉積反應及/或局部蝕刻反應；

b. 至少一用於提供至少一前驅氣體的第一構件(740、750、760)，其中該前驅氣體具體實施為在該至少一微影光罩(150、200、1500)的一表面(115)上的該局部沉積反應及/或該局部蝕刻反應期間與該隨時間變化的粒子束(410、715)相互作用；

c. 至少一第二構件(830、930、1050)，其減小該隨時間變化的粒子束(410、715)與該至少一微影光罩(150、200、1500)的該表面(115)間之平均入射角(ϕ)；

d. 一控制器件(790)具體實施成控制該至少一第二構件(830、930、1050)，用於減少該隨時間變化的粒子束(410、715)與該至少一微影光罩(150、200、1500)間的該平均入射角(ϕ)；以及

e. 該控制器件(790)進一步實施成控制該隨時間變化的粒子束(410、715)與該至少一前驅氣體相互作用，以實施該局部沉積反應及/或該局部蝕刻反應。

【請求項2】 如申請專利範圍第 1 項所述之裝置(700)，其中該第二構件(830、930、1050)包括至少來自以下群組的一元件：

- 一傾斜裝置(830)，其用於使該至少一微影光罩(150、200、1500)相對於該隨時間變化的粒子束(410、715)傾斜；

- 一光束源(710)的樞軸裝置(930)，其用於使該隨時間變化的粒子束(410、715)相對於該至少一微影光罩(150、200、1500)傾斜；及

- 至少一用於該隨時間變化的粒子束(410、715)的粒子之偏轉裝置(1050)，用於減小該隨時間變化的粒子束(410、715)在該至少一微影光罩(150、200、1500)上的該平均入射角(ϕ)。

【請求項3】 如申請專利範圍第 2 項所述之裝置(700)，其中該偏轉裝置(1050)包括來自以下該群組的至少一元件：一電偏轉系統(1130)和一磁偏轉系統(1030)。

【請求項4】 如申請專利範圍第 2 項所述之裝置(700)，其中該至少一偏轉裝置(1050)為該隨時間變化的粒子束(410、715)的該光束源(710)之一部分。

【請求項5】 如申請專利範圍第 2 項所述之裝置(700)，其中該至少一偏轉裝置(1050)不為該隨時間變化的粒子束(410、715)的該光束源(710)之一部分。

【請求項6】 如申請專利範圍第 3 項所述之裝置(700)，其中該電偏轉系統(1130)包括至少一成對偏轉板(1110、1120)。

【請求項7】 如申請專利範圍第 3 項所述之裝置(700)，其中該磁偏轉系統(1030)包括至少一線圈配置。

【請求項8】 如申請專利範圍第 2 項所述之裝置(700)，其中該傾斜裝置(830)包括用於該至少一微影光罩(150、200、1500)的一樣本台(730)，該樣本台繞著至少兩軸線旋轉，並且其中該等兩軸線位於該至少一微影光罩(150、200、1500)的一平面內，並且彼此不平行。

【請求項9】 如申請專利範圍第 1 或 2 項所述之裝置(700)，其中該第二構件(830、930、1050)將該隨時間變化的粒子束(410、715)與該至少一微影光罩(830、930、1050)的該表面(115)間之該平均入射角減小 $>5^\circ$ 、較佳 $>10^\circ$ 、更佳 $>20^\circ$ 並且最佳 $>30^\circ$ 。

【請求項10】 如申請專利範圍第 1 或 2 項所述之裝置(700)，其中在該至少一微影光罩(150、200、1500)上入射點(722、1022、1122)處的該隨時間變化的粒子束(410、715)具有焦距直徑為 0.2 nm 至 200 nm、較佳為 0.2 nm 至 200 nm、更佳為 0.4 nm 至 50 nm 且最佳為 0.5 nm 至 20 nm。

【請求項11】 如申請專利範圍第 1 或 2 項所述之裝置(700)，其中該隨時間變化的粒子束(410、715)具有孔徑角為 0.2 mrad 至 700 mrad，較佳為 0.2 mrad 至 700 mrad，更佳為 0.5 mrad 至 500 mrad 且最佳為 1 mrad 至 200 mrad。

【請求項12】 如申請專利範圍第 1 或 2 項所述之裝置(700)，更包括：一評估單元(785)，該評估單元具體實施為分析要在該至少一微影光罩(150、200、1500)上處理的位置之掃描資料。

【請求項13】 如申請專利範圍第 12 項所述之裝置(700)，其中該評估單元(785)進一步具體實施為從該已分析的掃描資料，決定該至少一微影光罩(150、200、1500)上的該隨時間變化的粒子束(410、715)的該平均入射角(φ)。

【請求項14】 如申請專利範圍第 1 或 2 項所述之裝置(700)，其中該控制

器件(790)更進一步具體實施成在掃描該至少一微影光罩(150、200、1500)以取得掃描資料的期間，控制該隨時間變化的粒子束(410、715)。

【請求項15】 用於處理至少一微影光罩(150、200、1500)之方法(1700)，該方法包括下列步驟：

- a. 提供(1720)至少一前驅氣體；
- b. 通過使一隨時間變化的粒子束(410、715)作用在該前驅氣體上，在該至少一微影光罩(150、200、1500)上執行(1730)一局部沉積反應及/或一局部蝕刻反應；
- c. 在執行至少部分該局部沉積反應及/或該局部蝕刻時，減小(1740)該隨時間變化的粒子束(410、715)與該至少一微影光罩(150、200、1500)的表面(115)間之一平均入射角(ϕ)；以及
- d. 在實施該局部沉積反應及/或該局部蝕刻反應時，控制該隨時間變化的粒子束(410、715)與該至少一微影光罩(150、200、1500)的表面(115)間之該平均入射角(ϕ)；
- e. 其中所述控制步驟 d.進一步包括控制至少一第二構件(830、930、1050)以減小在該至少一微影光罩(150、200、1500)的表面(115)上的該隨時間變化的粒子束(410、715)的該平均入射角(ϕ)，同時實施該隨時間變化的粒子束(410、715)與該至少一前驅氣體相互作用，以進行局部沉積反應和/或局部蝕刻反應。

【請求項16】 如申請專利範圍第 15 項所述之方法(1700)，其更包括步驟：使用該隨時間變化的粒子束(410、715)分析該至少一微影光罩(150、200、1500)。

【請求項17】 如申請專利範圍第 15 或 16 項所述之方法(1700)，其更包括

步驟：在執行該局部沉積反應及/或該局部蝕刻時變更該入射角(ϕ)。

【請求項18】 如申請專利範圍第 15 或 16 項所述之方法(1700)，其更包括步驟：中斷該局部沉積反應及/或該局部蝕刻反應，並使用該隨時間變化的粒子束(410、715)分析要產生的結構及/或要蝕刻的位置之一產生部分。

【請求項19】 如申請專利範圍第 15 或 16 項所述之方法(1700)，其中通過一控制器件(790)，以自動形式變更該至少一微影光罩(830、930、1050)的該表面(115)上的該隨時間變化的粒子束(410、715)之該平均入射角(ϕ)。

【請求項20】 電腦程式包括指令，當該電腦系統(780)執行該電腦程式時，該指令提示根據如申請專利範圍第 1 至 14 項中任一項所述裝置(700)的電腦系統，以執行如申請專利範圍第 15 至 19 項中任一項之該等方法步驟。

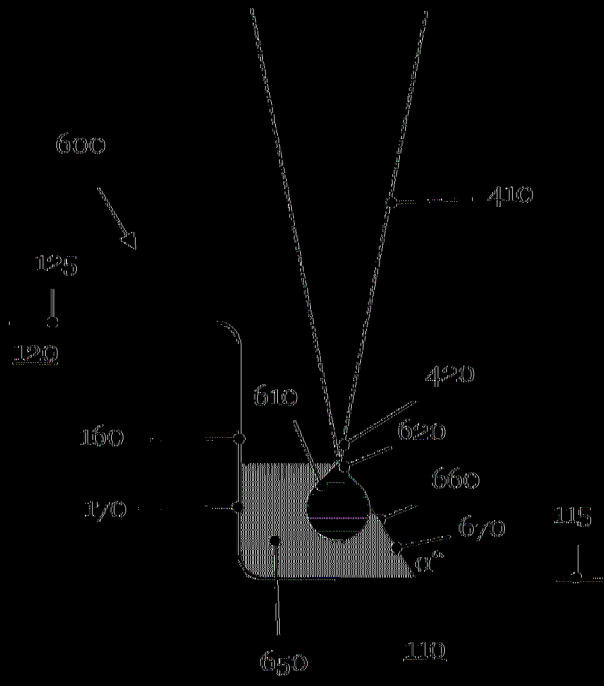


圖 6 (先前技術)

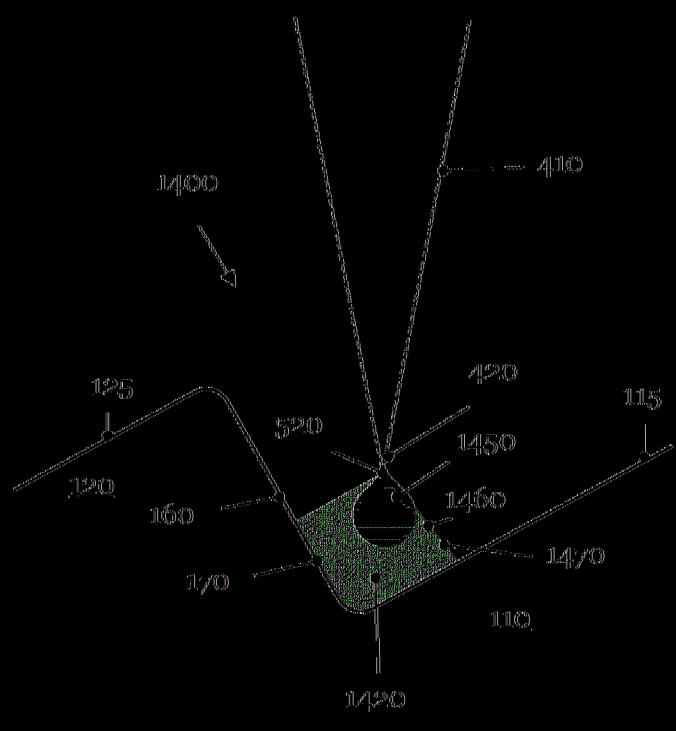


圖 14

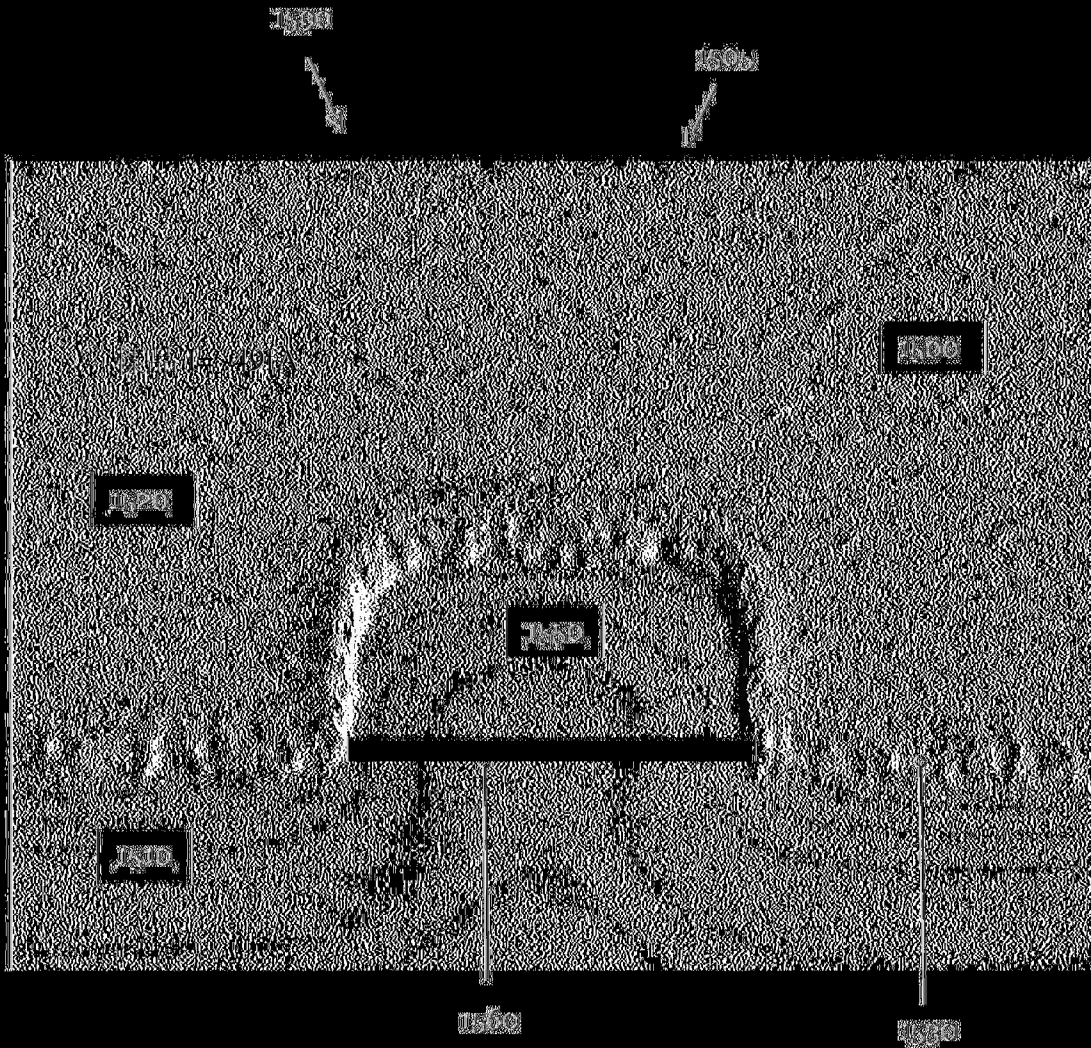
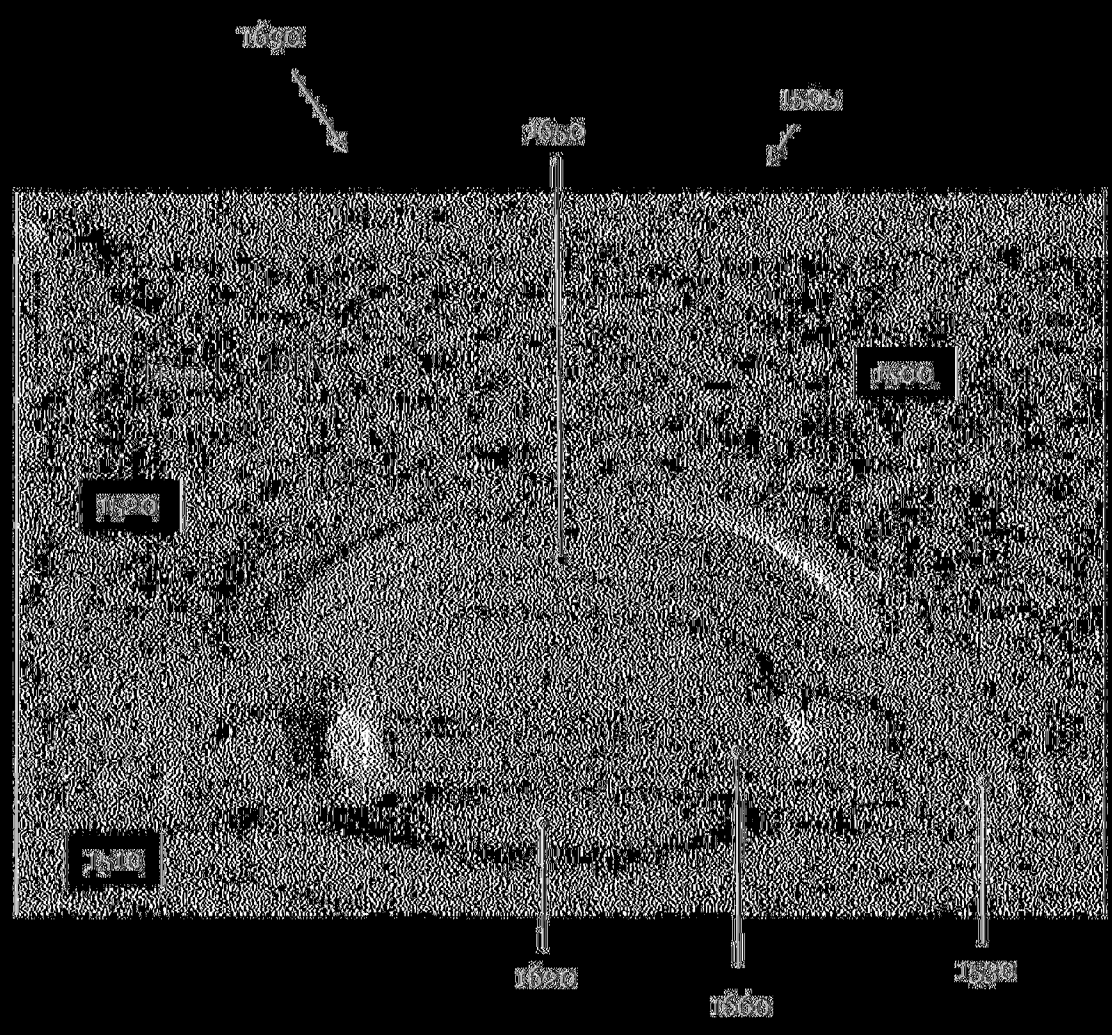


圖 15



16



圖 17