202238249

(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本 (11)公開編號：TW 202238249 A

(43)公開日： 中華民國 111 (2022) 年 10 月 01 日

(21)申請案號：111104880 (22)申請日： 中華民國 111 (2022) 年 02 月 10 日

(51)Int. Cl.： *G03F1/22 (2012.01)* *G03F1/68 (2012.01)*
H01L21/3105(2006.01)

(30)優先權：2021/02/25 美國 63/153,753

(71)申請人：美商應用材料股份有限公司 (美國) APPLIED MATERIALS, INC. (US)
美國

(72)發明人：吳 半秋 WU, BANQIU (US)；馬卡姆瑞 卡里德 MAKHAMREH, KHALID (US)；達根 艾利亞胡薛羅摩 DAGAN, ELIYAHU SHLOMO (US)

(74)代理人：李世章；彭國洋

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：29 項 圖式數：7 共 35 頁

(54)名稱

極紫外光光罩上氧化釕還原的方法和裝置

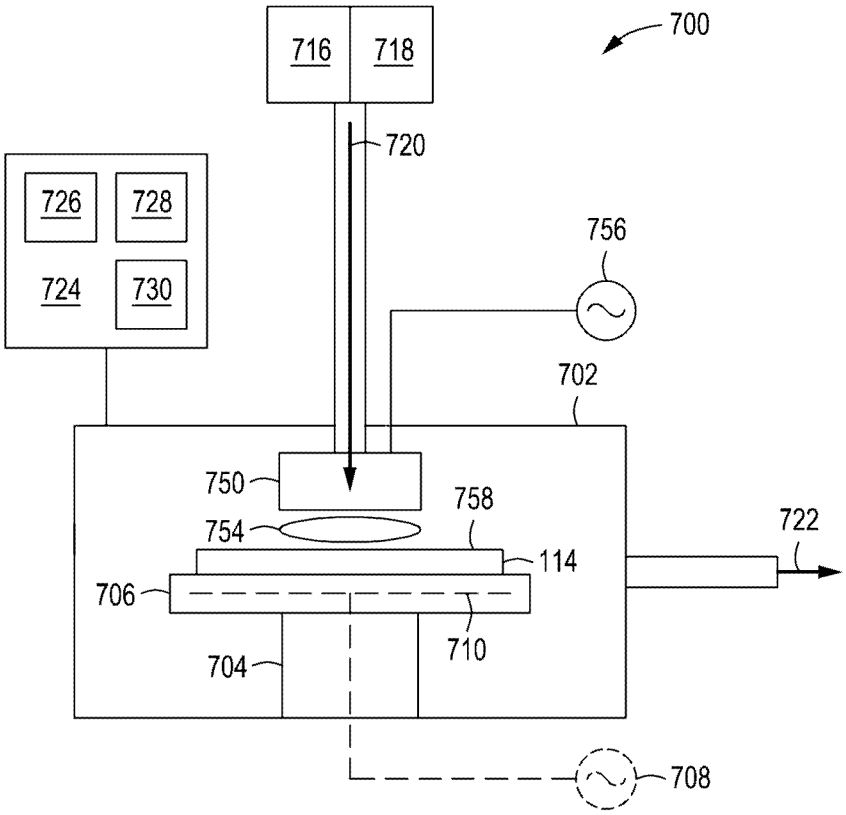
(57)摘要

用於還原極紫外光(EUV)光罩上的氧化釕的方法和裝置利用溫度、電漿和腔室壓力來增加還原。在一些實施例中，一種方法包括將具有釕(Ru)封蓋層的該 EUV 光罩加熱至約 100 攝氏度至該 EUV 光罩的大致熱預算的溫度，該 Ru 封蓋層的頂表面具有氧化釕層；使還原劑氣體流入 EUV 光罩處理腔室；以及將該 EUV 光罩處理腔室加壓至製程壓力，以增該加還原劑氣體與該 Ru 封蓋層上的該氧化釕層之間的還原反應。其他實施例可以結合遠程電漿產生器或大氣壓電漿產生器，以增強該 Ru 封蓋層上氧化釕的還原。

Methods and apparatus for reducing ruthenium oxide on an extreme ultraviolet (EUV) photomask leverage temperature, plasma, and chamber pressure to increase the reduction. In some embodiments, a method includes heating the EUV photomask with a ruthenium (Ru) capping layer with a top surface which has a Ru oxide layer to a temperature of approximately 100 degrees Celsius to approximately a thermal budget of the EUV photomask, flowing a reducing agent gas into an EUV photomask processing chamber, and pressurizing the EUV photomask processing chamber to a process pressure to increase a reducing reaction between the reducing agent gas and a Ru oxide layer on the Ru capping layer. Other embodiments may incorporate remote plasma generators or atmospheric-pressure plasma generators to enhance the reduction of Ru oxides on the Ru capping layer.

指定代表圖：

TW 202238249 A



第7圖

符號簡單說明：

700:剖視圖

702:光罩處理腔室

704:光罩支撐件

706:光罩支撐件主體

708:交流電源

710:加熱器電極

716:還原劑氣體

718:載氣

720:操作

722:操作

724:控制器

726:中央處理單元

728:記憶體

730:支援電路

750:大氣壓(AP)電漿產生器

754:介電質阻障層放電(DBD)電漿

756:電漿電源

758:頂表面

【發明摘要】

【中文發明名稱】極紫外光光罩上氧化釕還原的方法和裝置

【英文發明名稱】METHODS AND APPARATUS FOR RUTHENIUM OXIDE REDUCTION ON EXTREME ULTRAVIOLET PHOTOMASKS

【中文】

用於還原極紫外光(EUV)光罩上的氧化釕的方法和裝置利用溫度、電漿和腔室壓力來增加還原。在一些實施例中，一種方法包括將具有釕(Ru)封蓋層的該EUV光罩加熱至約100攝氏度至該EUV光罩的大致熱預算的溫度，該Ru封蓋層的頂表面具有氧化釕層；使還原劑氣體流入EUV光罩處理腔室；以及將該EUV光罩處理腔室加壓至製程壓力，以增該加還原劑氣體與該Ru封蓋層上的該氧化釕層之間的還原反應。其他實施例可以結合遠程電漿產生器或大氣壓電漿產生器，以增強該Ru封蓋層上氧化釕的還原。

【英文】

Methods and apparatus for reducing ruthenium oxide on an extreme ultraviolet (EUV) photomask leverage temperature, plasma, and chamber pressure to increase the reduction. In some embodiments, a method includes heating the EUV photomask with a ruthenium (Ru) capping layer with a top surface which has a Ru oxide layer to a temperature of approximately 100 degrees Celsius to approximately a thermal budget of the EUV photomask, flowing a reducing agent gas into an EUV photomask processing chamber, and pressurizing the EUV photomask processing chamber to a process pressure to increase a reducing reaction between the reducing agent gas and a Ru oxide layer on the Ru capping layer. Other embodiments may incorporate remote

plasma generators or atmospheric-pressure plasma generators to enhance the reduction of Ru oxides on the Ru capping layer.

【指定代表圖】第（ 7 ）圖。

【代表圖之符號簡單說明】

700：剖視圖

702：光罩處理腔室

704：光罩支撐件

706：光罩支撐件主體

708：交流電源

710：加熱器電極

716：還原劑氣體

718：載氣

720：操作

722：操作

724：控制器

726：中央處理單元

728：記憶體

730：支援電路

750：大氣壓（AP）電漿產生器

754：介電質阻障層放電（DBD）電漿

756：電漿電源

758：頂表面

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】極紫外光光罩上氧化釕還原的方法和裝置

【英文發明名稱】METHODS AND APPARATUS FOR RUTHENIUM OXIDE REDUCTION ON EXTREME ULTRAVIOLET PHOTOMASKS

【技術領域】

【0001】 本原理的實施例大體而言係關於半導體製造。

【先前技術】

【0002】 為了減小電子元件的大小，極紫外光(extreme ultraviolet, EUV)微影有時用於半導體行業中。EUV技術的主要缺陷是曝光工具和耗材（諸如EUV光罩）的高昂費用。EUV包括非常短的波長，該非常短的波長比較長的波長更強地被吸收。EUV微影使用光罩，該光罩藉由用多個交替的鉬層和矽層反射光來起作用。在典型的配置中，EUV光罩可以使用40個或更多個的交替層，該等交替層經由布拉格繞射來反射EUV光。為了保護多個交替層，在頂部上方形成薄釕封蓋層。在使用期間，光阻劑藉由EUV光的吸收而變得被加熱，該EUV光的吸收可導致烴、水和氧氣的脫氣。本發明人已經觀察到，EUV光罩的釕封蓋層在微影術使用時和光罩製造製程期間變得被氧化，從而降低了光罩的反射率。

【0003】 因此，本發明人已經提供了用於還原在EUV光罩的釕封蓋層上形成的氧化物的方法和裝置，從而延長了光罩的效能和壽命。

【發明內容】

【0004】 揭示了用於減少EUV光罩的釕封蓋層上的氧化物形成的方法和裝置。

【0005】 在一些實施例中，一種用於還原極紫外光(EUV)光罩上的氧化釕的方法可包括將具有釕(Ru)封蓋層的該EUV光罩加熱至約100攝氏度至該EUV光罩的大致熱預算的溫度，該Ru封蓋層的頂表面具有氧化釕層；使還原劑氣體流入EUV光罩處理腔室；以及將該EUV光罩處理腔室加壓至製程壓力，以增該加還原劑氣體與該Ru封蓋層上的該氧化釕層之間的還原反應。

【0006】 在一些實施例中，該方法可進一步包括，其中該製程壓力為0 psi至約150 psi，其中該製程壓力為0 psi至約1500 psi，其中該EUV光罩製程腔室為圓柱形腔室並且該製程壓力為0 psi至約2500 psi，其中該製程壓力是藉由調節進入EUV光罩處理腔室的還原劑氣體和流出EUV光罩處理腔室的廢氣的流量來獲得的，其中還原劑氣體是一氧化碳氣體、甲烷氣體或氫氣，使載氣與還原劑氣體一起流動，其中載氣降低了高濃度的爆炸性還原劑氣體的揮發性，及/或其中EUV光罩的熱預算為約150攝氏度。

【0007】 在一些實施例中，一種用於還原EUV光罩上的氧化釕的方法可包括使還原劑氣體和載氣流入遠程電漿產生器中；使用RF電源在遠程電漿產生器中產生電漿，以及使氣體從遠程電漿產生器流入EUV光罩處理腔室，其中在EUV光罩上方形成遠程電漿，以在EUV光罩上產生自偏

壓，並且其中EUV光罩處理腔室中的氣體與Ru封蓋層上的氧化釕層反應，以將氧化釕層還原成Ru金屬。

【0008】 在一些實施例中，該方法可進一步包括其中EUV光罩處理腔室在真空中操作，其中遠程電漿產生器中的電漿為電感耦合電漿，其中還原劑氣體為一氧化碳氣體或甲烷氣體，且載氣為氬氣、氦氣或氮氣，其中RF電源在13.56 MHz的頻率下操作，其中還原劑氣體為氫氣並且遠程電漿被調節到可維持的位準，與此同時提供約5 eV的自偏壓功率位準，從而防止原子氫注入Ru封蓋層，將EUV光罩加熱至約100攝氏度至EUV光罩的大致熱預算的溫度，及/或其中EUV光罩的熱預算為約150攝氏度。

【0009】 在一些實施例中，一種用於還原EUV光罩上的氧化釕的方法可包括使還原劑氣體和載氣流入EUV光罩處理腔室中的大氣壓(atmospheric-pressure, AP)電漿產生器中；使用RF電源，用AP電漿產生器在EUV光罩上方產生電漿；以及使還原劑氣體和載氣流入電漿中並流到EUV光罩的頂表面上，其中還原劑氣體與釕(Ru)封蓋層上的釕氧化物層反應，以將釕氧化物層還原成Ru金屬。

【0010】 在一些實施例中，該方法可進一步包括將該EUV光罩加熱至約100攝氏度至該EUV光罩的大致熱預算的溫度，其中該EUV光罩的熱預算為約150攝氏度，其中該AP電漿產生器中的該電漿為介電質阻障層放電電漿，其中該還原劑氣體為一氧化碳氣體、甲烷氣體或氫氣，並且該載

氣為氫氣、氦氣或氮氣，及/或其中該RF電源以13.56 MHz的頻率操作。

【0011】 在一些實施例中，一種用於還原EUV光罩上的氧化釕的裝置可包括：EUV光罩處理腔室，該EUV光罩處理腔室具有光罩支撐件主體，該光罩支撐件主體附接至光罩支撐件，當存在EUV光罩時，該光罩支撐件主體支撐該EUV光罩；還原劑氣體供應，該還原劑氣體供應流體連接至該EUV光罩處理腔室；加熱器電極，該加熱器電極在該光罩支撐件主體中，該加熱器電極被配置為當存在該EUV光罩時，將該EUV光罩加熱至約100度至約150度的範圍；第一閥，該第一閥控制進入該EUV光罩處理腔室的還原劑氣體；第二閥，該第二閥控制離開該EUV光罩處理腔室的廢氣；以及控制器，該控制器調節該第一閥和該第二閥以調節該EUV光罩處理腔室內部的壓力，其中該壓力可從0 psi調節至2500 psi，並且由該控制器調節以控制還原該EUV光罩上的RU封蓋層上的氧化釕的還原速率。

【0012】 在一些實施例中，一種用於還原EUV光罩上的氧化釕的裝置可包括：EUV光罩處理腔室，該EUV光罩處理腔室具有光罩支撐件主體，該光罩支撐件主體附接至光罩支撐件，當存在EUV光罩時，該光罩支撐件主體支撐該EUV光罩；還原劑氣體供應，該還原劑氣體供應流體連接至該EUV光罩處理腔室；載氣供應，該載氣供應流體連接至該EUV光罩處理腔室；和遠程電漿產生器，該遠程電漿產生器流體連接至該EUV光罩處理腔室，其中該遠程電漿

產生器被配置為當在該遠程電漿產生器中產生電漿時，允許來自該還原劑氣體供應的還原劑氣體和來自該載氣供應的載氣流過該遠程電漿產生器，並且隨後允許該還原劑氣體、該載氣和該電漿流入該EUV光罩處理腔室以在該EUV光罩存在時與該EUV光罩相互作用，從而還原該EUV光罩上的RU封蓋層上的氧化釕。

【0013】 在一些實施例中，該裝置可進一步包括：加熱器電極，該加熱器電極在該光罩支撐件主體中，該加熱器電極被配置為當存在該EUV光罩時，將該EUV光罩加熱至約100度至約150度的範圍，以增強氧化釕的還原速率；控制器，該控制器藉由調節施加到該遠程電漿產生器中的該電漿的功率，或者藉由當該EUV光罩存在時藉由調節到該加熱器電極的功率來調節該EUV光罩的溫度，從而調節該等氧化釕的還原速率。

【0014】 在一些實施例中，一種用於還原EUV光罩上的氧化釕的裝置可包括：EUV光罩處理腔室，該EUV光罩處理腔室具有光罩支撐件主體，該光罩支撐件主體附接至光罩支撐件，當存在EUV光罩時，該光罩支撐件主體支撐該EUV光罩；還原劑氣體供應，該還原劑氣體供應流體連接至該EUV光罩處理腔室；載氣供應，該載氣供應流體連接至該EUV光罩處理腔室；和大氣壓(AP)電漿產生器，該AP電漿產生器在該EUV光罩處理腔室中，其中該AP電漿產生器被配置為當由在該EUV光罩的正上方的該AP電漿產生器產生介電質阻障層放電電漿時，允許來自該還原劑

氣體供應的還原劑氣體和來自該載氣供應的載氣流過該AP電漿產生器，並且隨後允許該還原劑氣體和該載氣流到該EUV光罩的頂表面上，以還原該EUV光罩上的RU封蓋層上的氧化釕。

【0015】 在一些實施例中，該裝置可進一步包括：加熱器電極，該加熱器電極在該光罩支撐件主體中，該加熱器電極被配置為當存在該EUV光罩時，將該EUV光罩加熱至約100度至約150度的範圍，以增強氧化釕的還原速率；及/或控制器，該控制器藉由調節施加到該AP電漿產生器中的該介電質阻障層放電電漿的功率，或者藉由當該EUV光罩存在時藉由調節到該加熱器電極的功率來調節該EUV光罩的溫度，從而調節該等氧化釕的還原速率。

【0016】 下面揭示了其他及進一步的實施例。

【圖式簡單說明】

【0017】 藉由參考附圖中描繪的本原理的說明性實施例，可以理解上面簡要總結並且下面更詳細論述的本原理的實施例。然而，附圖僅示出了本原理的典型實施例，因此不應被認為是對範疇的限制，因為本原理可以允許其他同等有效的實施例。

【0018】 第1圖描繪了根據本發明原理的一些實施例的EUV光罩的俯視圖和剖視圖。

【0019】 第2圖是根據本發明原理的一些實施例還原氧化釕的方法。

【0020】 第3圖描繪了根據本發明原理的一些實施例的光罩處理腔室的剖視圖。

【0021】 第4圖是根據本發明原理的一些實施例還原氧化釕的方法。

【0022】 第5圖描繪了根據本發明原理的一些實施例的光罩處理腔室的剖視圖。

【0023】 第6圖是根據本發明原理的一些實施例還原氧化釕的方法。

【0024】 第7圖描繪了根據本發明原理的一些實施例的光罩處理腔室的剖視圖。

【0025】 為了促進理解，在可能的情況下，使用相同的附圖標記來表示附圖中共用的元件。附圖不是按比例繪製的，並且為了清楚起見可以簡化。一個實施例的元件和特徵可以有益地結合到其他實施例中，而無需進一步敘述。

【實施方式】

【0026】 該等方法和裝置能夠延長EUV微影術中使用的極紫外光(EUV)光罩的壽命和效能。EUV光罩的釕(Ru)封蓋層上氧化物的還原增加了光罩的反射率並降低了Ru封蓋層的電阻率，從而穩定了EUV光罩的效能並延長了其壽命。氧化釕可能由於來自在曝光工具中的EUV吸收期間或在EUV光罩製造期間被加熱的光阻劑材料的水和氧的脫氣而形成。EUV光罩非常昂貴，並且釕封蓋層在使用期間易損壞，因此延長光罩的壽命可以顯著降低EUV相關生產的總成本。將EUV光罩上的氧化釕還原成金屬釕是困難

的，因為還原反應需要高溫來克服活化能。然而，EUV光罩的熱預算為約150攝氏度。本發明人已經發現，在室溫和高於室溫的溫度下，由氫氣還原氧化釕是自發的，但是從動力學上講，使用氫氣太慢而不能使氫的使用實用化，並且在一些情況下，氫氣可能損壞Ru封蓋層。本發明人已經發現了幾種技術來經由使用特定的還原劑氣體、壓力和溫度提供必要的動能，以使得能夠進行EUV光罩上的氧化釕還原，與此同時維持光罩的熱預算並且與此同時在時間上足夠有效，以允許在商業環境中使用。

【0027】 在第1圖的俯視圖100A中，描繪了EUV光罩114的表示。作為簡化的實例，但不意味著限制，EUV光罩114具有正方形/矩形118的交叉影線圖案120，該交叉影線圖案將在EUV曝光工具（未圖示）中被EUV光曝光。在視圖100B中，描繪了EUV光罩114的一部分的橫截面。例如，基板102具有沉積在基板102上的交替的矽層104和鉬層106，以形成布拉格反射器112。矽層104用作間隔層，並且鉬層106用作吸收層。亦可使用除鉬之外的其他材料。Ru封蓋層108用於保護布拉格反射器112，因為鉬可能容易被氧化。Ru封蓋層108的厚度可以為約2 nm至3 nm。在第1圖的實例中，氧化釕層110已經形成在Ru封蓋層108的頂表面上（例如，在曝光工具使用期間等）。氧化釕層110成為EUV光的吸收體，並降低了布拉格反射器112的反射率。氧化釕層110的還原將恢復反射效能，並且亦增強了EUV光罩114的壽命。

【0028】 在第2圖中，使用第3圖的剖視圖300中的裝置描述了氧化釕還原的方法200。在方塊202中，將EUV光罩114加熱至約100攝氏度至約150攝氏度的溫度。溫度範圍的上限受到EUV光罩114的熱預算的限制。若EUV光罩114的熱預算高於150攝氏度，則溫度範圍可以擴展到更高的熱預算。溫度越高，提供的動能就越多，則氧化釕還原速率越高，從而使得能夠實現更高的產量（更快的處理時間）。溫度範圍的下限由提供啟動和維持還原反應的最小動能所需的最低溫度控制。本發明人已經發現，約100攝氏度足以為氧化釕還原的活化提供動能。在一些實施例中，EUV光罩114可以由嵌入光罩處理腔室302中的光罩支撐件304的光罩支撐件主體306中的加熱器電極310加熱。加熱器電極310可以由交流(AC)電源308電加熱。

【0029】 在方塊204中，使還原劑氣體316（氧化物還原劑）和必要時可選的載氣318一起流入320光罩處理腔室302並跨過EUV光罩114。廢氣流出322光罩處理腔室302，與進入光罩處理腔室302的氣體方向相反。可選的載氣318可以是惰性氣體，諸如但不限於氬氣、氦氣或氮氣等。在一些實施例中，本發明人發現還原劑氣體316可以是一氧化碳(CO)、甲烷(CH_4)、或氫氣(H_2)。可選的載氣318對於CO和CH_4不是必須的，但是當使用H_2時必須使用以防止高濃度H_2可能的爆炸。在一些實施例中，可以使用其他還原劑。還原劑氣體316將來自Ru封蓋層108的頂表面的氧化釕和四氧化物還原成Ru金屬。當氧化物被加熱

到氧原子與一氧化碳氣體結合產生二氧化碳的溫度時，CO氣體與氧化釕反應，從而將氧化釕還原成Ru金屬。以經加熱的氧化釕作為氧供體，CH_4氣體與氧化釕反應以產生二氧化碳氣體，從而將氧化釕還原成Ru金屬。以經加熱的氧化釕作為氧供體，H_2氣體與氧化釕反應以產生水(H_2O)，從而將氧化釕還原成金屬釕。

【0030】 在方塊206中，藉由調節光罩處理腔室302的壓力來調節還原率。藉由調節調節氣體入口流量的第一閥312並且藉由調節調節氣體出口流量的第二閥314來控制壓力。較高的入口流率和較低的出口流率會導致光罩處理腔室302內的壓力升高，並且壓力可以相應地調節。在一些實施例中，壓力從0 psi調節至約150 psi。上限是基於安全地使用光罩處理腔室302，並且可以用適當的腔室設計調節得更高以進一步增加還原率。在一些實施例中，壓力可以從0 psi調節至約1500 psi。在一些實施例中，若將圓柱形壓力腔室用於光罩處理腔室302，則壓力可以從0 psi調節至2500 psi。

【0031】 控制器324使用直接控制或替代地藉由控制與光罩處理腔室302相關聯的電腦（或控制器）來控制光罩處理腔室302的操作。在操作中，控制器324使得能夠從系統收集資料和反饋，以最佳化光罩處理腔室302的效能。例如，控制器324可以控制EUV光罩的加熱、還原劑氣體和可選的載氣的濃度和流率，控制和調節光罩處理腔室302內的壓力的閥調等。控制器324通常包括中央處理單元

(Central Processing Unit, CPU) 326、記憶體328和支援電路330。CPU 326可以是可在工業環境中使用的任何形式的通用電腦處理器。支援電路330通常耦合至CPU 326，並且可以包括快取、時鐘電路、輸入/輸出子系統、電源等。諸如上述方法的軟體常式可以儲存在記憶體328中，並且當由CPU 326執行時，將CPU 326轉換成專用電腦（控制器324）。軟體常式亦可由遠離光罩處理腔室302定位的第二控制器（未圖示）儲存及/或執行。

【0032】 記憶體328是包含指令的電腦可讀取儲存媒體的形式，該等指令當由CPU 326執行時促進半導體製程及設備的操作。記憶體328中的指令是程式產品的形式，諸如實施本原理的方法的程式。程式代碼可以符合多種不同程式設計語言中的任何一種程式設計語言。在一個實例中，本揭露案可以被實施為儲存在電腦可讀取儲存媒體上以供電腦系統使用的程式產品。程式產品的程式定義了各態樣（包括本文所述的方法）的功能。說明性的電腦可讀取儲存媒體包括但不限於：不可寫入的儲存媒體（例如，電腦內的唯讀記憶體裝置，諸如可由CD-ROM驅動器讀取的CD-ROM磁碟、快閃記憶體、ROM晶片、或任何類型的固態非揮發性半導體記憶體），該不可寫入的儲存媒體上永久地儲存資訊；以及可寫入的儲存媒體（例如，磁片驅動器或硬碟驅動器中的軟磁碟或任何類型的固態隨機存取半導體記憶體），該可寫入的儲存媒體上儲存可變資訊。

此種電腦可讀取儲存媒體，當攜帶指導本文所述的方法的功能的電腦可讀取指令時，是本原理的各態樣。

【0033】 在第4圖中，使用第5圖的剖視圖500中的裝置描述了氧化釕還原的方法400。在方塊402中，將EUV光罩114視情況加熱至約100攝氏度至約150攝氏度的溫度。溫度範圍的上限受到EUV光罩114的熱預算的限制。若EUV光罩114的熱預算高於150攝氏度，則溫度範圍可以擴展到更高的熱預算。溫度越高，提供的動能就越多，則氧化釕還原速率越高，從而使得能夠實現更高的產量。溫度範圍的下限由提供啟動和維持還原反應的最小動能所需的最低溫度控制。本發明人已經發現，約100攝氏度足以為氧化釕還原的活化提供動能。在一些實施例中，EUV光罩114可以由嵌入在光罩處理腔室502中的光罩支撐件504的光罩支撐件主體506中的可選加熱器電極510加熱。可選加熱器電極510可以由交流電源508電加熱。是否使用可選加熱器電極510取決於氧化釕還原率。當還原率藉由電漿功率被增強而足夠高時，可選加熱器電極510是不必要的。

【0034】 在方塊404中，使還原劑氣體516和載氣518一起流入520遠程電漿產生器532。在方塊406中，由遠程電漿產生器532產生電漿。遠程電漿產生器532具有一或多個線圈540，以在電漿管道534中的遠程電漿產生器532中產生電感耦合電漿或環形電漿。電漿電源542向遠程電漿產生器532供應RF功率以產生電漿536。在一些實施例中，RF功率在13.56 MHz的頻率下操作。較高的RF功率在電漿

536內提供了更多的能量，此隨後為發生在光罩處理腔室502內的氧化物還原提供了更多的能量。若RF功率太高，則產生的熱量可能超過EUV光罩114的熱預算及/或對EUV光罩114造成電弧損壞。

【0035】 在方塊408中，使還原劑氣體和載氣流入光罩處理腔室，以與氧化釕反應並將氧化釕還原成Ru金屬。還原劑氣體516可在電漿536內離解並產生離子或中性粒子，該離子或中性粒子與還原劑氣體516和載氣518一起流過電漿管道534並進入光罩處理腔室502。遠程電漿538存在於光罩處理腔室502中，但是通常比遠程電漿產生器532中產生的電漿536弱得多。遠程電漿538引發EUV光罩114上的自偏壓，以幫助將氧化釕還原成Ru金屬。EUV光罩114的自偏壓導致了EUV光罩114的氧化釕的頂表面上的離子及/或中性粒子轟擊。轟擊可能很弱，但是該轟擊足以增強氧化釕的還原，以有助於提高還原率，從而逐漸去除氧化釕層。光罩處理腔室502在處理期間保持在真空下。隨後，廢氣流出522光罩處理腔室502。

【0036】 載氣518可以是惰性氣體，諸如但不限於氬氣、氦氣或氮氣等。在一些實施例中，本發明人發現還原劑氣體516可以是一氧化碳(CO)、甲烷(CH_4)、或氫氣(H_2)。在一些實施例中，可以使用其他還原劑。當氧化物被加熱到氧原子與一氧化碳氣體結合產生二氧化碳的溫度時，CO氣體與氧化釕反應，從而將氧化釕還原成Ru金屬。以經加熱的氧化釕作為氧供體，CH_4氣體與氧化釕反應以產生二

氧化碳氣體，從而將氧化釕還原成Ru金屬。以經加熱的氧化釕作為氧供體，H_2氣體與氧化釕反應以產生水(H_2O)，從而將氧化釕還原成金屬釕。本發明人已發現，當還原劑氣體是H_2時，H_2將被電漿536解離成原子氫(H)。隨後，原子氫將轟擊EUV光罩114，並可能在某些條件下將H注入Ru封蓋層，從而造成損傷。亦已知原子氫會導致分層，並可能導致Ru封蓋層剝離。本發明人發現使用氫氣需要小心控制處理環境。在一些實施例中，使用遠程電漿獲得的自偏壓功率通常為約10電子伏特(eV)至約20 eV。若電漿經調節為使得自偏壓功率可以被控制到小於5 eV，則可以防止原子氫注入。然而，本發明人已經發現，在5 eV或更低的自偏壓功率下，電漿變得不穩定並且不可持續。實現接近但高於5 eV的嚴格控制和監測可以提供可持續的電漿，而不會導致氫注入Ru封蓋層，從而允許在一些條件下使用氫氣。

【0037】 控制器524使用直接控制或替代地藉由控制與光罩處理腔室502相關聯的電腦（或控制器）來控制光罩處理腔室502的操作。在操作中，控制器524使得能夠從系統收集資料和反饋，以最佳化光罩處理腔室502的效能。例如，控制器524可以控制EUV光罩的加熱、還原劑氣體和載氣的濃度和流率、電漿功率和隨後的自偏壓功率等。控制器524通常包括中央處理單元(CPU) 526、記憶體528和支援電路530。CPU 526可以是可在工業環境中使用的任何形式的通用電腦處理器。支援電路530通常耦合至

CPU 526，並且可以包括快取、時鐘電路、輸入/輸出子系統、電源等。諸如上述方法的軟體常式可以儲存在記憶體528中，並且當由CPU 526執行時，將CPU 526轉換成專用電腦（控制器524）。軟體常式亦可由遠離光罩處理腔室502定位的第二控制器（未圖示）儲存及/或執行。

【0038】 記憶體528是包含指令的電腦可讀取儲存媒體的形式，該等指令當由CPU 526執行時促進半導體製程及設備的操作。記憶體528中的指令是程式產品的形式，諸如實施本原理的方法的程式。程式代碼可以符合多種不同程式設計語言中的任何一種程式設計語言。在一個實例中，本揭露案可以被實施為儲存在電腦可讀取儲存媒體上以供電腦系統使用的程式產品。程式產品的程式定義了各態樣（包括本文所述的方法）的功能。說明性的電腦可讀取儲存媒體包括但不限於：不可寫入的儲存媒體（例如，電腦內的唯讀記憶體裝置，諸如可由CD-ROM驅動器讀取的CD-ROM磁碟、快閃記憶體、ROM晶片、或任何類型的固態非揮發性半導體記憶體），該不可寫入的儲存媒體上永久地儲存資訊；以及可寫入的儲存媒體（例如，磁片驅動器或硬碟驅動器中的軟磁碟或任何類型的固態隨機存取半導體記憶體），該可寫入的儲存媒體上儲存可變資訊。此種電腦可讀取儲存媒體，當攜帶指導本文所述的方法的功能的電腦可讀取指令時，是本原理的各態樣。

【0039】 在第6圖中，描述了在非真空環境中使用第7圖的剖視圖700中的裝置還原氧化釕的方法600。在方塊602

中，將EUV光罩114視情況加熱至約100攝氏度至約150攝氏度的溫度。溫度範圍的上限受到EUV光罩114的熱預算的限制。若EUV光罩114的熱預算高於150攝氏度，則溫度範圍可以擴展到更高的熱預算。溫度越高，提供的動能就越多，則氧化釕還原速率越高，從而使得能夠實現更高的產量。溫度範圍的下限由提供啟動和維持還原反應的最小動能所需的最低溫度控制。本發明人已經發現，約100攝氏度足以提供用於氧化釕還原的動能。在一些實施例中，EUV光罩114可以由嵌入在光罩處理腔室702中的光罩支撐件704的光罩支撐件主體706中的加熱器電極710加熱。加熱器電極710可以由交流電源708電加熱。是否使用可選加熱器電極710取決於氧化釕還原率。當還原率藉由電漿功率被增強而足夠高時，可選加熱器電極710是不必要的。

【0040】 在方塊604中，使還原劑氣體716和載氣718一起穿過大氣壓(AP)電漿產生器750流入720光罩處理腔室702，該AP電漿產生器緊鄰EUV光罩的頂表面758。在方塊606中，由AP電漿產生器750產生介電質阻障層放電(dielectric barrier discharge, DBD)電漿754，以將氧化釕還原成Ru金屬。電漿電源756向AP電漿產生器750供應RF功率，以產生DBD電漿754。在一些實施例中，RF功率在13.56 MHz的頻率下操作。較高的RF功率在DBD電漿754中提供了更多的能量，此可以將更多的能量提供到氧化釕中。若RF功率太高，則由於AP電漿產生

器750緊鄰EUV光罩114的頂表面758，所產生的熱量可能超過EUV光罩114的熱預算及/或對EUV光罩114造成電弧損壞。隨後，廢氣流出722光罩處理腔室702。載氣718可以是惰性氣體，諸如但不限於氬氣、氦氣或氮氣等。在一些實施例中，本發明人發現還原劑氣體716可以是一氧化碳(CO)、甲烷(CH_4)、或氫氣(H_2)。在一些實施例中，可以使用其他還原劑。當氧化物被加熱到氧原子與一氧化碳氣體結合產生二氧化碳的溫度時，CO氣體與氧化釕反應，從而將氧化釕還原成Ru金屬。以經加熱的氧化釕作為氧供體，CH_4氣體與氧化釕反應以產生二氧化碳氣體，從而將氧化釕還原成Ru金屬。以經加熱的氧化釕作為氧供體，H_2氣體與氧化釕反應以產生水(H_2O)，從而將氧化釕還原成金屬釕。AP電漿氣體具有比遠程真空電漿小得多的平均自由程，因此在沒有H_2注入的情況下轟擊是低的，但是轟擊能量高到足以藉由還原劑增強氧化釕的還原。

【0041】 控制器724使用直接控制或替代地藉由控制與光罩處理腔室702相關聯的電腦（或控制器）來控制光罩處理腔室702的操作。在操作中，控制器724使得能夠從系統收集資料和反饋，以最佳化光罩處理腔室702的效能。例如，控制器324可以控制EUV光罩的加熱、還原劑氣體和載氣的濃度和流率、供應以形成電漿的RF功率等。控制器724通常包括中央處理單元(CPU) 726、記憶體728和支援電路730。CPU 726可以是可在工業環境中使用的任何形式的通用電腦處理器。支援電路730通常耦合至CPU

726，並且可以包括快取、時鐘電路、輸入/輸出子系統、電源等。諸如上述方法的軟體常式可以儲存在記憶體728中，並且當由CPU 726執行時，將CPU 726轉換成專用電腦（控制器724）。軟體常式亦可由遠離光罩處理腔室702定位的第二控制器（未圖示）儲存及/或執行。

【0042】 記憶體728是包含指令的電腦可讀取儲存媒體的形式，該等指令當由CPU 726執行時促進半導體製程及設備的操作。記憶體728中的指令是程式產品的形式，諸如實施本原理的方法的程式。程式代碼可以符合多種不同程式設計語言中的任何一種程式設計語言。在一個實例中，本揭露案可以被實施為儲存在電腦可讀取儲存媒體上以供電腦系統使用的程式產品。程式產品的程式定義了各態樣（包括本文所述的方法）的功能。說明性的電腦可讀取儲存媒體包括但不限於：不可寫入的儲存媒體（例如，電腦內的唯讀記憶體裝置，諸如可由CD-ROM驅動器讀取的CD-ROM磁碟、快閃記憶體、ROM晶片、或任何類型的固態非揮發性半導體記憶體），該不可寫入的儲存媒體上永久地儲存資訊；以及可寫入的儲存媒體（例如，磁片驅動器或硬碟驅動器中的軟磁碟或任何類型的固態隨機存取半導體記憶體），該可寫入的儲存媒體上儲存可變資訊。此種電腦可讀取儲存媒體，當攜帶指導本文所述的方法的功能的電腦可讀取指令時，是本原理的各態樣。

【0043】 根據本原理的實施例可以用硬體、韌體、軟體或其任意組合來實施。實施例亦可以實施為使用一或多個電

腦可讀取媒體儲存的指令，該等指令可以由一或多個處理器讀取及執行。電腦可讀取媒體可以包括用於以機器（例如，計算平臺或在一或多個計算平臺上運行的「虛擬機」）可讀的形式儲存或傳輸資訊的任何機構。例如，電腦可讀取媒體可包括任何合適形式的揮發性或非揮發性記憶體。在一些實施例中，電腦可讀取媒體可以包括非暫時性電腦可讀取媒體。

【0044】 儘管前面是針對本原理的實施例，但是在不脫離本原理的基本範疇的情況下，可以設計本原理的其他及進一步的實施例。

【符號說明】

【0045】

100A：俯視圖

100B：視圖

102：基板

104：矽層

106：鉬層

108：Ru封蓋層

110：氧化釕層

112：布拉格反射器

114：EUV光罩

118：正方形/矩形

120：交叉影線圖案

200：方法

202：方塊

204：方塊

206：方塊

300：剖視圖

302：光罩處理腔室

304：光罩支撐件

306：光罩支撐件主體

308：交流電源

310：加熱器電極

312：第一閥

314：第二閥

316：還原劑氣體

318：載氣

320：操作

322：操作

324：控制器

326：中央處理單元

328：記憶體

330：支援電路

400：方法

402：方塊

404：方塊

406：方塊

408：方塊

500：剖視圖

502：光罩處理腔室

504：光罩支撐件

506：光罩支撐件主體

508：交流電源

510：加熱器電極

516：還原劑氣體

518：載氣

520：操作

522：操作

524：控制器

526：中央處理單元

528：記憶體

530：支援電路

532：遠程電漿產生器

534：電漿管道

536：電漿

538：遠程電漿

540：線圈

542：電漿電源

600：方法

602：方塊

604：方塊

606：方塊

700：剖視圖

702：光罩處理腔室

704：光罩支撐件

706：光罩支撐件主體

708：交流電源

710：加熱器電極

716：還原劑氣體

718：載氣

720：操作

722：操作

724：控制器

726：中央處理單元

728：記憶體

730：支援電路

750：大氣壓(AP)電漿產生器

754：介電質阻障層放電(DBD)電漿

756：電漿電源

758：頂表面

【生物材料寄存】

國內寄存資訊(請依寄存機構、日期、號碼順序註記)

無

國外寄存資訊(請依寄存國家、機構、日期、號碼順序註記)

無

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種用於還原一極紫外光(EUV)光罩上的氧化釕的方法，包括以下步驟：

將具有一釕(Ru)封蓋層的該EUV光罩加熱至約100攝氏度至該EUV光罩的大致一熱預算的一溫度，該Ru封蓋層的一頂表面具有一氧化釕層；

使一還原劑氣體流入一EUV光罩處理腔室；以及

將該EUV光罩處理腔室加壓至一製程壓力，以增加該還原劑氣體與該Ru封蓋層上的該氧化釕層之間的一還原反應。

【請求項2】 如請求項1所述之方法，其中該製程壓力從零至約150 psi。

【請求項3】 如請求項1所述之方法，其中該製程壓力從零至約1500 psi。

【請求項4】 如請求項1所述之方法，其中該EUV光罩處理腔室是一圓柱形腔室，並且該製程壓力從零至約2500 psi。

【請求項5】 如請求項1所述之方法，其中該製程壓力是藉由調節進入該EUV光罩處理腔室的該還原劑氣體和流出該EUV光罩處理腔室的廢氣的一流量來獲得的。

【請求項6】 如請求項1所述之方法，其中該還原劑氣體是一氧化碳氣體、甲烷氣體或氫氣。

【請求項7】 如請求項1所述之方法，進一步包括以下步驟：

使一載氣與該還原劑氣體一起流動，其中該載氣降低高濃度的爆炸性還原劑氣體的揮發性。

【請求項8】 如請求項1所述之方法，其中該EUV光罩的該熱預算為約150攝氏度。

【請求項9】 一種用於還原一極紫外光(EUV)光罩上的氧化釕的方法，包括以下步驟：

使一還原劑氣體和一載氣流入一遠程電漿產生器；

使用一RF電源在該遠程電漿產生器中產生一電漿；以及

使氣體從該遠程電漿產生器流入一EUV光罩處理腔室，其中一遠程電漿在該EUV光罩上方形成以在該EUV光罩上產生一自偏壓，並且其中該EUV光罩處理腔室中的該等氣體與一釕(Ru)封蓋層上的一氧化釕層反應以將該氧化釕層還原成Ru金屬。

【請求項10】如請求項9所述之方法，其中該EUV光罩處理腔室在一真空中操作。

【請求項11】如請求項9所述之方法，其中該遠程電漿產生器中的該電漿是電感耦合電漿。

【請求項12】如請求項9所述之方法，其中該還原劑氣體是一氧化碳氣體或甲烷氣體，並且該載氣是氬氣、氦氣或氮氣。

【請求項13】如請求項9所述之方法，其中該RF電源在13.56 MHz的一頻率下操作。

【請求項14】如請求項9所述之方法，其中該還原劑氣體

是氫氣，並且將該遠程電漿調節至一可維持位準，與此同時提供約 5 eV 的一自偏壓功率位準，從而防止將原子氫注入到該 Ru 封蓋層中。

【請求項15】如請求項 9 所述之方法，進一步包括以下步驟：

將該 EUV 光罩加熱至約 100 攝氏度的一溫度，以達到該 EUV 光罩的大致一熱預算。

【請求項16】如請求項 15 所述之方法，其中該 EUV 光罩的該熱預算為約 150 攝氏度。

【請求項17】一種用於還原一極紫外光(EUV)光罩上的氧化釕的方法，包括以下步驟：

使一還原劑氣體和一載氣流入一 EUV 光罩處理腔室中的一大氣壓(AP)電漿產生器中；

使用一 RF 電源，用該 AP 電漿產生器在該 EUV 光罩上方產生一電漿；以及

使該還原劑氣體和該載氣流入該電漿中並流到該 EUV 光罩的一頂表面上，其中該還原劑氣體與一釕(Ru)封蓋層上的一氧化釕層反應，以將該氧化釕層還原成 Ru 金屬。

【請求項18】如請求項 17 所述之方法，進一步包括以下步驟：

將該 EUV 光罩加熱至約 100 攝氏度至該 EUV 光罩的大致一熱預算的一溫度，

【請求項19】如請求項 18 所述之方法，其中該 EUV 光罩

的該熱預算為約150攝氏度。

【請求項20】如請求項17所述之方法，其中該AP電漿產生器中的該電漿是介電質阻障層放電電漿。

【請求項21】如請求項17所述之方法，其中該還原劑氣體是一氧化碳氣體、甲烷氣體或氫氣，並且該載氣是氬氣、氦氣或氮氣。

【請求項22】如請求項17所述之方法，其中該RF電源在13.56 MHz的一頻率下操作。

【請求項23】一種用於還原一極紫外光(EUV)光罩上的釕(RU)氧化物的裝置，包括：

一EUV光罩處理腔室，該EUV光罩處理腔室具有一光罩支撐件主體，該光罩支撐件主體附接至一光罩支撐件，當存在一EUV光罩時，該光罩支撐件主體支撐該EUV光罩；

一還原劑氣體供應，該還原劑氣體供應流體連接至該EUV光罩處理腔室；

一加熱器電極，該加熱器電極在該光罩支撐件主體中，該加熱器電極被配置為當存在該EUV光罩時，將該EUV光罩加熱至約100度至約150度的一範圍；

一第一閥，該第一閥控制進入該EUV光罩處理腔室的一還原劑氣體；

一第二閥，該第二閥控制離開該EUV光罩處理腔室的廢氣；以及

一控制器，該控制器調節該第一閥和該第二閥以調節

該 EUV 光罩處理腔室內部的一壓力，其中該壓力可從 0 psi 調節至 2500 psi，並且由該控制器調節以控制還原該 EUV 光罩上的一 RU 封蓋層上的氧化釕的一還原速率。

【請求項24】一種用於還原一極紫外光(EUV)光罩上的釕(RU)氧化物的裝置，包括：

一 EUV 光罩處理腔室，該 EUV 光罩處理腔室具有一光罩支撐件主體，該光罩支撐件主體附接至一光罩支撐件，當存在一 EUV 光罩時，該光罩支撐件主體支撐該 EUV 光罩；

一還原劑氣體供應，該還原劑氣體供應流體連接至該 EUV 光罩處理腔室；

一載氣供應，該載氣供應流體連接至該 EUV 光罩處理腔室；和

一遠程電漿產生器，該遠程電漿產生器流體連接至該 EUV 光罩處理腔室，其中該遠程電漿產生器被配置為當在該遠程電漿產生器中產生電漿時，允許來自該還原劑氣體供應的一還原劑氣體和來自該載氣供應的一載氣流過該遠程電漿產生器，並且隨後允許該還原劑氣體、該載氣和該電漿流入該 EUV 光罩處理腔室以在該 EUV 光罩存在時與該 EUV 光罩相互作用，從而還原該 EUV 光罩上的一 RU 封蓋層上的氧化釕。

【請求項25】如請求項 24 所述之裝置，進一步包括：

一加熱器電極，該加熱器電極在該光罩支撐件主體中，

該加熱器電極被配置為當存在該 EUV 光罩時，將該 EUV 光罩加熱至約 100 度至約 150 度的一範圍，以增強氧化釕的一還原速率。

【請求項26】如請求項 25 所述之裝置，進一步包括：

一控制器，該控制器藉由調節施加到該遠程電漿產生器中的該電漿的一功率，或者藉由當該 EUV 光罩存在時藉由調節到該加熱器電極的功率來調節該 EUV 光罩的一溫度，從而調節該等氧化釕的一還原速率。

【請求項27】一種用於還原一極紫外光(EUV)光罩上的釕(RU)氧化物的裝置，包括：

一 EUV 光罩處理腔室，該 EUV 光罩處理腔室具有一光罩支撐件主體，該光罩支撐件主體附接至一光罩支撐件，當存在一 EUV 光罩時，該光罩支撐件主體支撐該 EUV 光罩；

一還原劑氣體供應，該還原劑氣體供應流體連接至該 EUV 光罩處理腔室；

一載氣供應，該載氣供應流體連接至該 EUV 光罩處理腔室；和

一大氣壓(AP)電漿產生器，該 AP 電漿產生器在該 EUV 光罩處理腔室中，其中該 AP 電漿產生器被配置為當由在該 EUV 光罩的正上方的該 AP 電漿產生器產生介電質阻障層放電電漿時，允許來自該還原劑氣體供應的一還原劑氣體和來自該載氣供應的一載氣流過該 AP 電漿產生器，並且隨後允許該還原劑氣體和該載氣流到

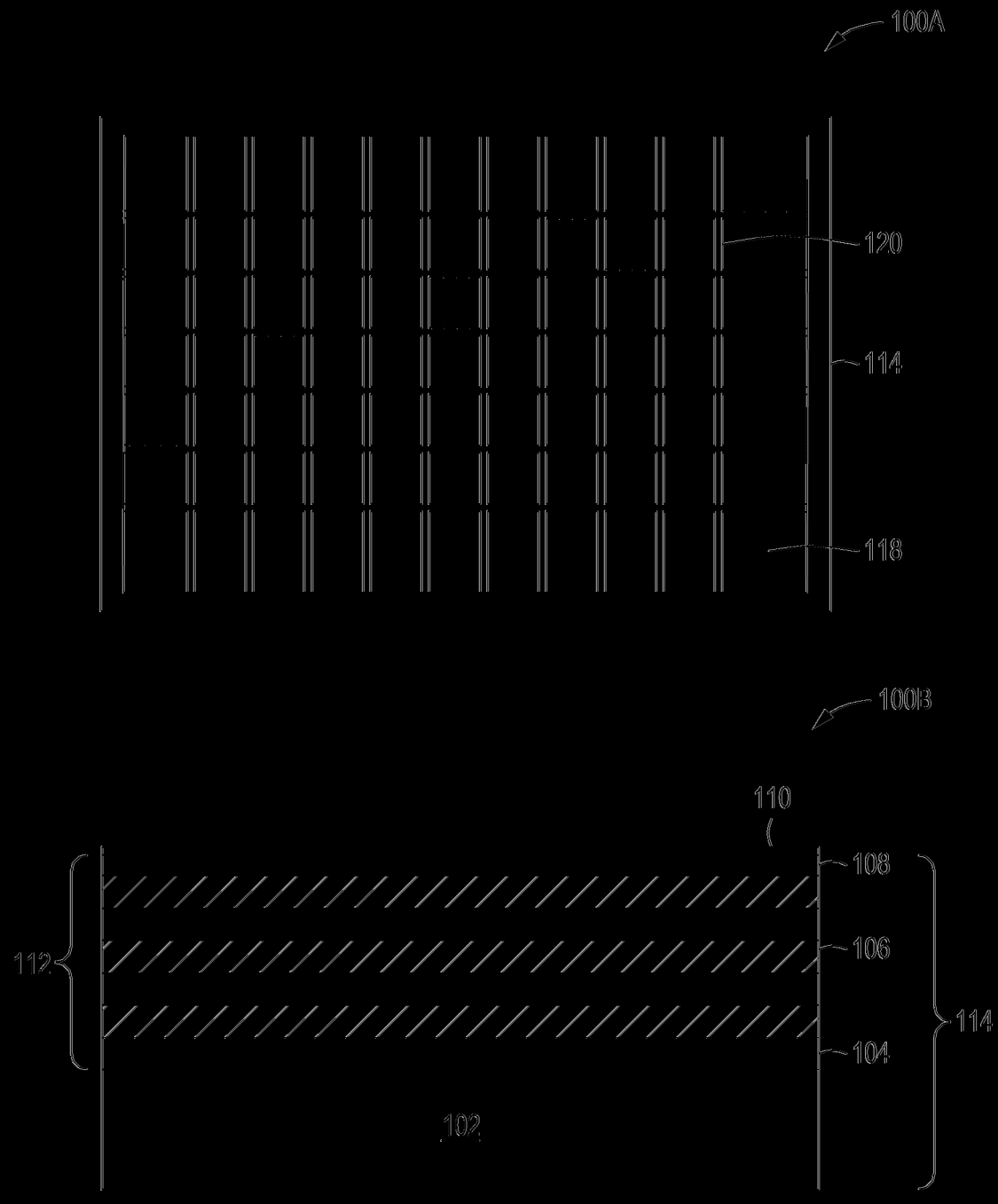
該 EUV 光罩的一頂表面上，以還原該 EUV 光罩上的一 RU 封蓋層上的氧化釕。

【請求項28】如請求項 27 所述之裝置，進一步包括：

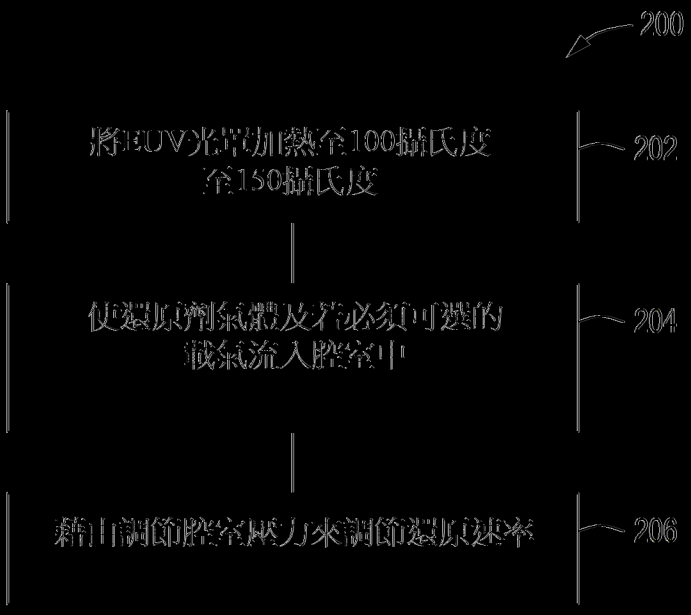
一加熱器電極，該加熱器電極在該光罩支撐件主體中，該加熱器電極被配置為當存在該 EUV 光罩時，將該 EUV 光罩加熱至約 100 度至約 150 度的一範圍，以增強氧化釕的一還原速率。

【請求項29】如請求項 28 所述之裝置，進一步包括：

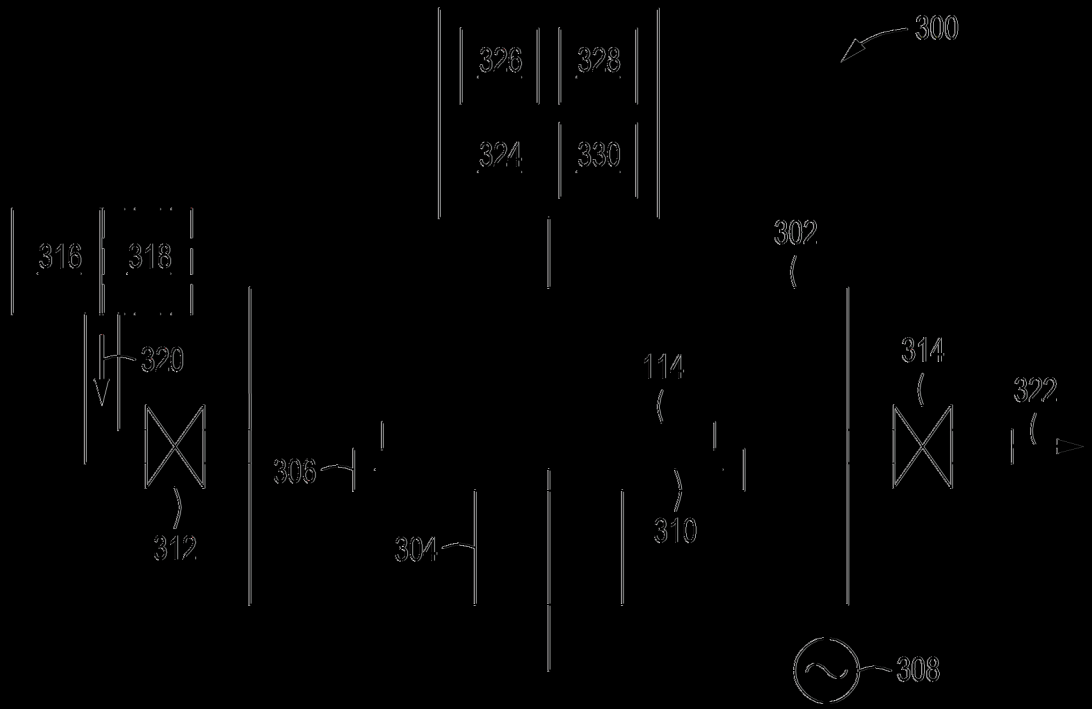
一控制器，該控制器藉由調節施加到該 AP 電漿產生器中的該介電質阻障層放電電漿的一功率，或者藉由當該 EUV 光罩存在時藉由調節到該加熱器電極的功率來調節該 EUV 光罩的一溫度，從而調節該等氧化釕的一還原速率。



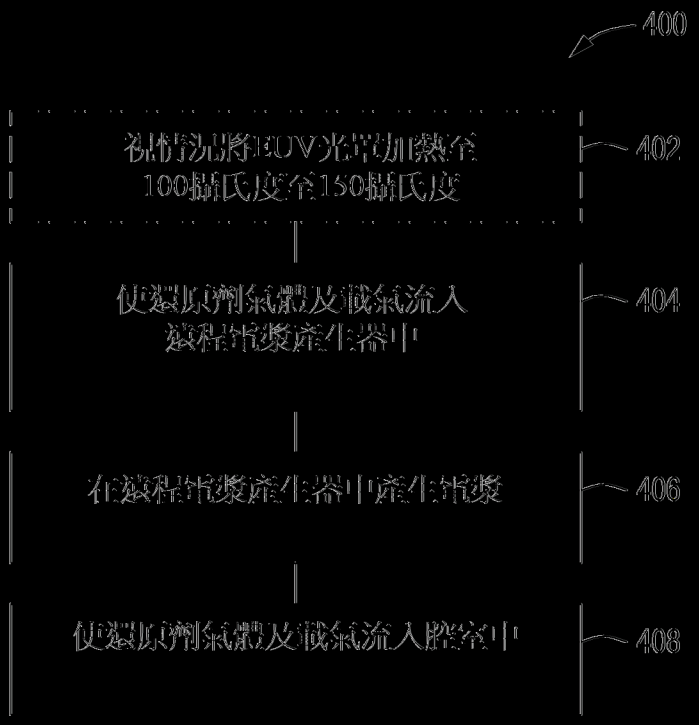
第1圖


200
將EUV光罩加熱至100攝氏度至150攝氏度
202
使還原劑氣體及若必須可選的載氣流入腔室中
204
藉由調節腔室壓力來調節還原速率
206

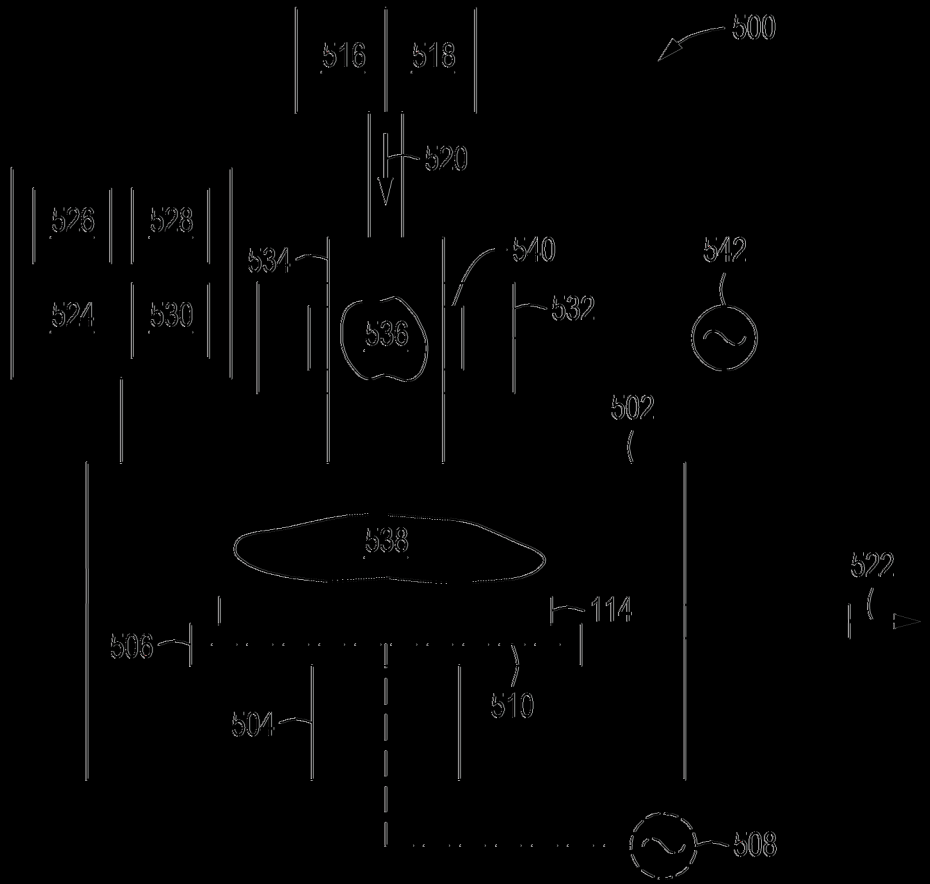
第2圖


300
326
328
324
330
316
318
320
312
306
304
114
310
302
314
322
308

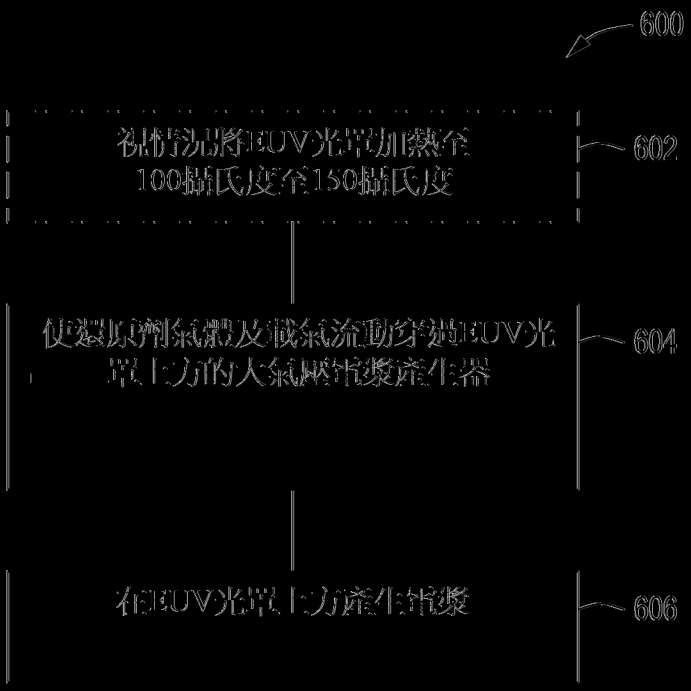
第3圖


400
視情況將EUV光罩加熱至
100攝氏度至150攝氏度
402
使還原劑氣體及載氣流入
遠程電漿產生器中
404
在遠程電漿產生器中產生電漿
406
使還原劑氣體及載氣流入腔室中
408

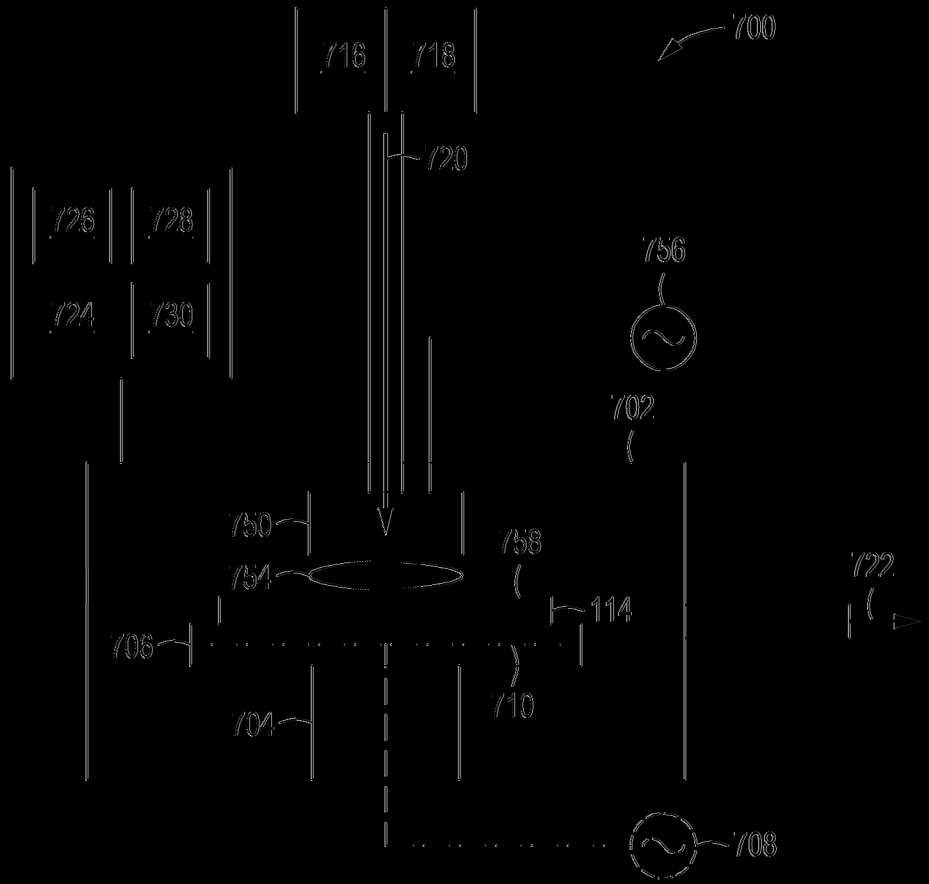
第4圖


500
516
518
520
526
528
524
530
534
536
540
532
542
502
538
522
114
506
504
510
508

第5圖


600
視情況將EUV光罩加熱至100攝氏度至150攝氏度
602
使還原劑氣體及載氣流動穿過EUV光罩上方的大氣壓電漿產生器
604
在EUV光罩上方產生電漿
606

第6圖


700
716
718
720
726
728
724
730
756
702
750
754
758
722
114
706
710
704
708

第7圖