I643418

公告本

發明摘要

※ 申請案號： 104102119

※ 申請日： 104/01/22 ※IPC 分類： H01S 3/09 (2006.01)
H01S 3/095 (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

光學放大器之氣體介質的催化性轉化技術

CATALYTIC CONVERSION OF AN OPTICAL AMPLIFIER GAS MEDIUM

【中文】

一極紫外光系統係包括一光學放大器系統及一催化性轉化系統。光學放大器系統的各光學放大器係包括一氣體混合物形式之一增益介質，該增益介質生成一經放大的光束。光學放大器系統係包括一供氣體混合物流過之流體輸入及一流體輸出。催化性轉化系統係流體性連接至光學放大器系統的流體輸出及光學放大器系統的流體輸入。催化性轉化系統係包括一催化性轉化器，其包括一殼體；一位於殼體內的基材，其包括可供氣體混合物流過之開口；及一催化劑，其作爲一塗覆物被施加至基材的開口之內部表面，催化劑係包括金屬粒子。金屬粒子可爲貴金屬的奈米粒子。

【英文】

An extreme ultraviolet light system includes an optical amplifier system and a catalytic conversion system. Each optical amplifier of the optical amplifier system includes a gain medium in the form of a gas mixture that produces an amplified light beam. The optical amplifier system includes a fluid input and a fluid output through which the gas mixture flows. The catalytic conversion system is fluidly connected to the fluid output of the optical amplifier system and to the fluid input of the optical amplifier system. The catalytic conversion system includes a catalytic converter that includes a housing; a substrate within the housing including openings through which the gas mixture can flow; and a catalyst applied as a coating to the interior surfaces of the openings of the substrate, the catalyst including particles of metal. The particles of metal can be nanoparticles of precious metal.

S

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ 3A ）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

105…光源/驅動雷射系統
106…光學放大器系統
107…催化性轉化系統
108…光學放大器
109…控制器
110…經放大光束
118…經包圍容積
128…增益介質
300…催化劑元件/氣體預加熱器
305…催化性轉化器
310…熱交換器/催化劑元件
315,320…經包圍硬管或管
325…支撐結構/基材
330…活性催化劑

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

發明專利說明書

（本說明書格式、順序，請勿任意更動）

【發明名稱】（中文/英文）

光學放大器之氣體介質的催化性轉化技術

CATALYTIC CONVERSION OF AN OPTICAL AMPLIFIER GAS MEDIUM

【技術領域】

參考相關申請案

[0001]本申請案係對於2014年1月31日提申名為“極紫外光源中的一光學放大器氣體介質之催化性轉化技術”的美國申請案號61/934,143作權利主張，其整體內容以引用方式併入本文。

技術領域

[0002]所揭露的標的物係有關一用於一驅動雷射系統中的一增益介質之一氣體混合物的催化性轉化之系統及方法，其用以生成一極紫外光(EUV)雷射系統的一經放大光束。

【先前技術】

背景

[0003]極紫外(EUV)光、例如具有約50nm或更小波長的電磁輻射(有時亦稱為軟x射線)、且包括處於約13nm波長的光係可使用於光微影術製程中，以在例如矽晶圓等基材中生成極小的形貌體。

[0004]用以生成EUV光之方法係包括但未必限於將一材料轉化成一電漿狀態，其係具有一位於EUV範圍的一發

射線之元素，例如氙、鋰或錫。在一種常稱為雷射生成式電漿(LPP)的此等方法中，可藉由以一可稱為驅動雷射的經放大光束輻照例如呈現一微滴、流束、或叢簇材料形式的一標靶材料，藉以生成所需要的電漿。對於此程序，電漿典型係生成於一密封容器、例如一真空腔室中並利用不同類型的量測設備作監測。

[0005]用以輸出約10600nm波長的經放大光束之CO_2放大器及雷射係可在一LPP程序中作為輻照標靶材料之驅動雷射時擁有特定的優點。對於特定標靶材料、例如對於含錫的材料可能尤其如此。例如，一項優點係在於生成驅動雷射輸入功率與輸出EUV功率之間的相對高轉化效率之能力。CO_2驅動放大器及雷射的另一優點係在於相較於198nm的深UV而言之相對長波長光以從諸如已塗覆有錫雜屑的反射性光學件等相對粗糙表面作反射之能力。10600nm輻射的此性質係可容許在電漿附近採用反射性面鏡，用以例如駕馭、聚焦及/或調整經放大光束的焦功率(focal power)。

【發明內容】

[0006]在部分一般形態中，一極紫外光系統係包括一光學放大器系統及一催化性轉化系統。光學放大器系統係包括一或多個光學放大器。各光學放大器係包括一氣體混合物形式之增益介質，當自一能量供源供應能量以泵送該增益介質時，該增益介質生成一經放大的光束。光學放大器系統係包括一供氣體混合物流過之流體輸入及一流體輸出。催化性轉化系統係流體性連接至光學放大器系統的流體輸

出及光學放大器系統的流體輸入。催化性轉化系統係包括一催化性轉化器，其包括一殼體；一位於殼體內的基材，其包括可供氣體混合物流過之開口；及一催化劑，其作為一塗覆物被施加至基材的開口之內部表面，催化劑係包括金屬的奈米粒子。

[0007]實行方式係可包括下列特徵中的一或多者。例如，基材的開口可具有一蜂巢幾何結構。金屬可為一貴金屬。

[0008]系統係可包括與催化性轉化器分離之一熱交換器，熱交換器係包括供氣體混合器流過之管件，管件被一外部排熱器所冷卻。熱交換器的管件可在其內表面上塗覆有一催化劑，其係利於氣體混合器內的經解離分子之氧化。

[0009]系統可包括一標靶材料輸送系統，其係組構以在一標靶區位處生成一標靶材料，其中經放大光束被導引朝向標靶區位使得該經放大的光束與標靶材料之間作交互作用以產生一電漿，該電漿係發射極紫外(EUV)光。

[0010]催化劑係可包括金的奈米粒子。基材可由一陶瓷材料製成。

[0011]催化性轉化系統係可與從光學放大器系統的流體輸入及流體輸出所形成之一流體線路以併列方式作流體性配置。

[0012]催化性轉化系統係可與從光學放大器系統的流體輸入及流體輸出所形成之流體線路以序列方式作流體性配置。

[0013]在其他一般形態中，一用於生成極紫外光之方法係包括將泵送能量供應至一光學放大器系統中之至少一光學放大器的一增益介質，以生成一經放大的光束，增益介質呈現一包括各種分子之氣體混合物的形式，其至少部分係在一管內之經放大光束的生成期間解離；將從管所輸出的氣體混合物導引經過一被固定於一殼體內且塗覆有金屬奈米粒子的一催化劑之基材，以藉此氧化氣體混合物的經解離分子；將經氧化氣體混合物導引回到管中；在一標靶區位處生成一標靶材料；及將經放大的光束聚焦至一焦點區位上，使得該經放大的光束與標靶材料之間作光學交互作用以造成標靶材料被轉化成一發射極紫外光之電漿。

[0014]實行方式係可包括下列特徵。例如，方法係可包括將從管所輸出的氣體混合物導引經過一溫度控制式管件，以在將經氧化氣體混合物導引回到管中之前從氣體混合物移除熱量。

[0015]該方法係可包括以一被塗覆在管件的一內部表面上之催化劑至少部份地氧化氣體混合物的經解離分子。

[0016]該方法係可包括調節從管輸出之氣體混合物的一溫度。可藉由將氣體混合物的一溫度維持在從管輸出之氣體混合物的溫度以上，來調節氣體混合物的溫度。

[0017]在其他一般形態中，一催化性轉化系統係為一極紫外光系統之一光學放大器系統的一部份。催化性轉化系統係包括一輸入，其流體性連接至光學放大器系統以接收一包括增益介質的經解離分子之氣體混合物；一輸出，其

流體性連接至光學放大器系統；一殼體，其位於輸入與輸出之間；一位於殼體內之基材，其包括可供氣體混合物流過之開口；及一催化劑，其作為一塗覆物被施加至基材的開口之內部表面，催化劑包括金屬的奈米粒子。

[0018]實行方式係可包括下列特徵中的一或多者。例如，基材的開口係可為六角形。殼體可流體性連接至輸入及輸出。金屬可為一貴金屬。

[0019]在其他一般形態中，一催化性轉化系統係為一極紫外光系統之一氣體放電光學放大器系統的一部份。催化性轉化系統係包括一熱量調節系統，其係增高從光學放大器系統所輸出之一氣體混合物的一溫度，氣體混合物係包括一增益介質的經解離分子，其被激發以從光學放大器系統生成一經放大光束；及一催化性轉化器，其係接收從熱量調節系統所輸出之處於一增高溫度的氣體混合物。催化性轉化器係包括一基材，其位於一殼體內且包括可供氣體混合物流過的開口；及一催化劑，其作為一塗覆物被施加至基材的開口之內部表面。催化劑包括金屬粒子，其係加速氣體混合物內之經解離分子的氧化。

[0020]實行方式係可包括下列特徵中的一或多者。例如，基材的開口係可為六角形。金屬粒子可為貴金屬的奈米粒子。

[0021]在其他一般形態中，一催化性轉化系統係為一極紫外光系統之一氣體放電光學放大器系統的一部份。催化性轉化系統係包括一催化性轉化器，其接收從光學放大器

系統所輸出的一氣體混合物，氣體混合物係包括一增益介質的經解離分子，其被激發以從光學放大器系統生成一經放大光束，及一熱交換器，其與催化性轉化器分離。催化性轉化器係包括一基材，其位於一殼體內且包括可供氣體混合物流過的開口；及一催化劑，其作為一塗覆物被施加至基材的開口之內部表面，催化劑包括金屬粒子，其係加速氣體混合物內之經解離分子的氧化。熱交換器係包括可供氣體混合物流過之管件，管件被一外部排熱器所冷卻。

[0022]實行方式係可包括下列特徵中的一或多者。例如，熱交換器的管件係可在其內表面上塗覆有一催化劑，其係加速氣體混合物內之經解離分子的氧化。金屬粒子可為貴金屬的奈米粒子。

【圖式簡單說明】

[0023]圖1是一極紫外(EUV)光系統之方塊圖，其包括被耦合至光源的一光學放大器系統之身為一光源的一部分之一催化性轉化系統；

圖2A是不使用催化性轉化系統之來自光學放大器系統的一光學放大器的功率輸出vs.該光學放大器的一任務循環之圖形；

圖2B是使用圖1的催化性轉化系統之來自光學放大器系統的一光學放大器的功率輸出vs.該光學放大器的任務循環之圖形，且來自圖2A的圖形係鋪覆於頂上以供比較；

圖3A是包括光學放大器系統及催化性轉化系統之光源的方塊圖；

圖3B是沿著圖1及3A的催化性轉化系統內之一催化性轉化器的氣體混合物的流方向(線3B-3B)所取之橫剖視圖，其包括催化性轉化器的一段之近寫圖；

圖4是可使用於圖1及3A的EUV光系統中之一示範性光學放大器系統的方塊圖；

圖5是一示範性光微影術系統的方塊圖，其包括圖1及3A的EUV光系統；

圖6是一示範性系統的方塊圖，其包括圖1及3A的EUV光系統；及

圖7A及7B是示範性光學放大器及示範性催化性轉化系統的方塊圖。

【實施方式】

描述

[0024]參照圖1，一極紫外(EUV)光系統100係包括一光源(或驅動雷射系統)105，其生成一經放大光束110，一標靶材料輸送系統115，其係組構以生成一標靶材料120，及一束輸送系統125，其係組構以接收從驅動雷射系統105所發射的經放大光束110且將經放大光束110導引朝向一標靶區位130，其係接收標靶材料120。束輸送系統125係包括一束運送系統135及一最終聚焦總成140，其將經放大光束110聚焦於一焦點區位145處。經放大光束110與標靶材料120之間的交互作用係生成用以發射EUV光或輻射150之電漿121。一光收集器155係收集並導引經收集的EUV光160朝向一光學裝備165、諸如一微影術工具。

[0025]驅動雷射系統105係包括一光學放大器系統106，連帶具有其他光學組件諸如預放大器。光學放大器系統106係包括至少一光學放大器108，至少一光學放大器108係具有一身為能夠以高增益光學放大所欲波長之分子的一氣體混合物之增益介質128，一激發源、諸如一電源，以及內部光學件。光學放大器108內的增益介質128係被含容於一經包圍容積118、諸如一管內。在光學放大器108的增益介質128之電性泵送期間，增益介質128的至少部分分子係解離成未涉及光學放大之一或多個分子或元素，且因此，光學放大器108係生成較少功率，其係指經放大光束110具有一較低功率。在此實例中，經放大光束110與標靶材料120之間的交互作用終將生成較少電漿121，其係降低所發射的EUV光150量，其係降低可被光學裝備165使用之所收集EUV光160。在電源被接通時間期間與其被關斷時間呈現交綴之一脈衝式系統中，此效應係益加顯著。

[0026]參照圖2A，隨著光學放大器108的任務循環增加(藉由增加電源的任務循環)，增益介質128中之分子的解離係上升且來自光學放大器108的功率輸出200係下降。任務循環係為一循環中被施加至電極之輸入功率的時間[T(on)]除以該循環中的總時間[T(on+off)]之比值：T(on)/T(on+off)。例如，光學放大器108可包括一氣體混合物作為增益介質128，其係包括二氧化碳(CO_2)混合有其他分子或元素諸如氦(He)，氮(N_2)，氫(H_2)，或水(H_2O)。當光學放大器108利用一氣體放電被電性泵送時，能量係被轉移至CO_2分子，且

隨著任務循環增加，這些CO_2分子有愈來愈多解離成一氧化碳(CO)及氧(O_2)。

[0027]除非經解離分子轉化回到用於光學放大之氣體混合物的原始分子，驅動雷射系統105的輸出功率將保持不可接受地低，特別是隨著任務循環增加時尤然。經解離分子轉化回到原始分子之程序係經由催化性轉化予以達成。極紫外光系統100或驅動雷射系統105係包括一催化性轉化系統107，其係從光學放大器108接收包括經解離分子之氣體混合物，進行一或多個涉及分子催化性轉化(例如氧化)成為有助於光學放大的原始分子之步驟，並將此氣體混合物重新導入回到光學放大器108中。催化性轉化系統107係在一第一端被流體性連接至容置有增益介質128之經包圍容積118，以能夠使增益介質128的氣體混合物(其係含有過多的經解離分子)從光學放大器108流至催化性轉化系統107，且在一第二端係能夠使氣體混合物(其已被氧化)從催化性轉化系統107來到光學放大器108。參照圖2B，以此方式，氣體混合物係被有效地維持具有有助於光學放大的原始分子，且來自驅動雷射系統105的光學輸出205可被維持在一適當位準，即使當任務循環增加時亦然。並且，可維持功率輸出而不必升高被施加至光學放大器108的激發源之能量量值且不必將具有經氧化分子的額外氣體混合物添加至流體線路(例如，容置有光學放大器108的增益介質之管)中。圖2B所示的虛線係顯示來自圖2A的功率輸出200鋪覆於圖形上以供比較。

[0028]驅動雷射系統105亦可包括一控制器109，其進行不同任務諸如監測光學放大器108及催化性轉化系統107內的組件，以經監測資訊為基礎進行分析或計算，及以分析或計算的結果為基礎將指令提供至驅動雷射系統105內的組件。

[0029]參照圖3A，一示範性催化性轉化系統107係可設計成一用以從光學放大器108操作期間所生成的氣體混合物移除過多熱量之外部冷卻器或熱交換器系統的一部分或其組合。在此範例中，系統107係選用性包括一氣體預加熱器300，一催化性轉化器305，及一熱交換器310。來自光學放大器108的氣體混合物係經過一經包圍硬管或管315流出光學放大器108的經包圍容積118外朝向系統107，且來自系統107的氣體混合物係流過經包圍硬管或管320且進入光學放大器108的經包圍容積118中以在操作及經放大光束110生成期間被重新使用。硬管315、320可由例如不銹鋼、鋁或金屬合金等一材料製成，其對於流過硬管315、320的氣體混合物不起反應。

[0030]氣體預加熱器300係可用來升高及調節氣體混合物在進入催化性轉化器305之前與進入時的溫度，藉此改良催化性轉化器305內的轉化效率。特別來說，藉由加熱進入催化性轉化器305之前的經解離氣體混合物，經解離氣體混合物的溫度係可維持在催化性轉化器305內的催化劑330對於造成或加速氣體混合物內的經解離分子氧化而言最為有效之一溫度。因此，例如，控制器109可監測硬管315內之

氣體混合物的溫度，決定該溫度是否處於催化劑330最為有效的一最適數值，且如果該溫度低於該最適數值，控制器109可將一信號送到預加熱器300以使氣體混合物的溫度升高至一特定數值。

[0031]一般來說，氣體混合物的溫度愈高，則催化性效率亦愈高。例如，一氣體混合物內的催化性反應速率係可隨著被施加至氣體混合物的溫度每上升10℃則加倍。若催化性元件被裝設於一CO_2雷射或放大器內側，則依據雷射組態而定，氣體混合物的溫度可升高至60℃。在另一應用中，雷射氣體混合物的一比例部分(例如小於約10%)可經過一外部催化性轉化器在一閉路流通系統中被放除，在該實例中，氣體混合物的溫度可升至任何所欲位準(例如100℃)。部分催化性轉化器(諸如汽車業或早期CO_2雷射系統中者)係以遠大於此位準的溫度運作，例如約240℃。對於催化劑採用高效率材料係可藉此降低具有高氣體溫度以實行高催化性轉化效率之要求。在系統100及本文所描述方法中，對於氣體混合物所提出的溫度係取決於催化性轉化系統107內的熱交換器310效率與增高CO及O_2催化性轉化至CO_2的速率的需求之間的平衡。可藉由執行從光學放大器108之功率輸出的系統性研究予以達成，功率輸出係為從熱交換器310輸出之氣體混合物的溫度、及CO及/或O_2濃度vs.對於催化性轉化器305的輸入處之氣體混合物溫度之一函數。

[0032]亦參照圖3B，催化性轉化器305係包括一支撐結構325，其具有一表面積以與氣體混合物作接觸，以及一催

化劑330被施加至支撐結構325的該表面。催化劑330係為一種造成或加速化學反應(其在此實例中係為催化性轉化或氧化)而本身不受影響之物質。因此，催化劑330參與該反應，但既非其所催化的反應之反應物且亦非產物。催化劑330係可為一金屬物質諸如鉑、銠、鈀、及金中的任一或多者。例如，催化劑330可包括鉑混合有金。

[0033]支撐結構325可為一陶瓷結構諸如例如Al_2O_3，SiO_2，或TiO_2。催化劑330可被塗覆至支撐結構325上藉以生成一使催化劑的大部分表面積曝露於氣體混合物之結構325，同時亦降低所需要的催化劑數量。支撐結構325可為一蜂巢結構，其具有一種身為可供氣體混合物流過之一陣列的中空胞室之幾何結構。胞室可為圓柱形狀或六角形狀。

[0034]在一實行方式中，催化劑330係由被施加至一蜂巢支撐結構325的一金屬(諸如一貴金屬諸如金、銀、鈀或鉑)的粒子(例如奈米粒子)製成。若使用金作為催化劑，則其可以奈米粒子形式作使用。所採用金屬係可具延展性且具有高光澤。金屬的粒子可利用例如電解鍍覆等任何適當技術被施加至結構325。對於催化劑330可採用的金屬係可具有一相對高的功函數(work function)以利於催化性反應。除了催化劑330所使用的實際元素外，功函數係依據催化劑330表面處的原子組態而定。一相對高的功函數係指功函數夠高使得金屬令所屬化學反應(氧化)加速，且金屬不被氧化所消耗；因此，金屬可在其已被用來加速或催化之氧化結

束時化學性不變地收回。貴金屬係為用作催化劑330時適合的金屬。如同提及，金屬粒子可為奈米粒子，這係指粒子具有100奈米(nm)或更小的尺寸。

[0035]熱交換器310係可為可從氣體混合物移除熱量之任何適當裝置。在部分實行方式中，熱交換器310係為供氣體混合物流過之中空管件，中空管件的外部表面係藉由一諸如水等流體被冷卻。在部分實行方式中，熱交換器310可進一步在其內部塗覆有一諸如金等催化劑，以提供流過熱交換器310的管件之氣體混合物某量值的催化性轉化。因此，位於中空管件內部上的催化劑塗覆物係加速或造成氣體混合物內之經解離分子的氧化。典型地，因為與氣體混合物交互作用之催化劑的表面積及經解離分子接觸於催化劑的時間量可低於完全地轉化氣體混合物的經解離分子所需，在熱交換器310內發生之催化性轉化並不足夠。然而，熱交換器310可提供氣體混合物的經解離分子之氧化。

[0036]因此，綜言之，催化性轉化系統107係含有氣體預加熱器300以將氣體混合物加熱至一穩定溫度(並使其維持在此穩定溫度)，故催化性轉化器305內的催化性效率係接近於或處於其最高點；催化性轉化器305係在諸如氣體預加熱器300下游的基材325等之一蜂巢基材上含有一活性催化劑330。氣體預加熱器300及催化性轉化器305皆可放置於鍍金的熱交換器310下游，其可因此作為系統107內之催化性轉化的第二階段。由於其塗覆方法及相對小的催化性表面積(相較於催化性轉化器305的催化性表面積時)，鍍金的

熱交換器310並不如此系統107中的第一階段(包括催化性轉化器305及選用性地氣體熱交換器300)般有效。鍍金的熱交換器310之催化性表面積係為管件的內部表面且此表面積係小於催化性轉化器305的催化性表面積。催化性轉化器305的催化性表面積係為較高，原因在於其是一種在結構中具有許多孔隙而比起塗金的熱交換器310的平坦表面而言容許反應物(例如CO及O_2)更容易接觸於催化劑330之蜂巢設計。作為一示範性比較，鍍金的熱交換器310之總催化性表面積係可位於約10m^2的級數，而基材325(其係為一蜂巢結構)則可對於相同足跡或機械容積提供大於約100m^2的表面積。

[0037]催化性轉化器305係可為諸如由維吉尼亞州漢普敦的STC催化劑公司(STC Catalysts, Inc.)(STC)製造的一系統。STC係製造環境溫度催化劑，其不需要氣體預加熱器300即可使用。令STC的催化劑成為潛在適合之處係在於其可在比其他催化劑更低的溫度工作之事實，使其能夠被使用在一容置有光學放大器108之容器內側，其係可使用CO_2作為增益介質128且較佳位於一內部熱交換器之前。然而，催化劑材料在升高溫度可表現更好(包括STC製造者)，且多次使用在外部氣體流通雷射系統中(外部催化劑)。對於EUV光系統100之特定應用，在一低溫運作的STC催化劑係足以將少量的CO及O_2轉化至CO_2。然而，對於EUV光源應用，來自CO_2雷射的功率輸出要求係高到使得一在較高溫度運作的催化性轉化器成為有益的，即便使用STC催化劑亦

然。

[0038]催化性轉化器305係可被預製並得自於諸如下列公司：紐約州康寧的康寧公司(Corning Incorporated)；恩苟哈德(Engelhard)，其現在為紐澤西州依司林的BASF公司；及聯合信號(Allied Signal)。

[0039]接著提供關於EUV光系統100的其他組件之額外細節。

[0040]光學放大器108係可具有或不具有用以形成一雷射腔穴之雷射面鏡或其他回饋裝置。因此，驅動雷射系統105由於光學放大器108的增益介質中的居量反轉而生成經放大光束110，縱使沒有雷射腔穴亦然。並且，驅動雷射系統105可生成一經放大光束110，若有一雷射腔穴提供足夠回饋至驅動雷射系統105，其係為一同調性雷射束。“經放大光束”用語係涵蓋下列的一或多者：僅被放大但未必為同調性雷射振盪之來自驅動雷射系統105的光，及被放大且亦為同調性雷射振盪之來自驅動雷射系統105的光。

[0041]驅動雷射系統105中的光學放大器108可包括一充填氣體作為增益介質128，其包括CO_2並可放大處於約9100與約11000nm之間、且特別是處於約10600nm波長的光。使用於驅動雷射系統105中之適當的放大器及雷射係可包括一脈衝式雷射裝置，例如一脈衝式氣體放電CO_2雷射裝置，其例如以例如10kW或更高的相對高功率及例如50kHz或更大的高脈衝重覆率操作、例如以DC或RF激發生成約9300nm或約10600nm的輻射。驅動雷射系統105中的光學放

大器108係亦可包括一冷卻系統，諸如可在以較高功率操作驅動雷射系統105時使用的一液體冷卻系統。液體冷卻係可採用水，其可被保持在比光學放大器更低的一溫度。

[0042]在部分實行方式中，諸如圖4所示，一示範性光學放大器系統106係包括一第一放大器，其作為一預放大器400，以及複數個405光學放大器408。預放大器400係可為一擴散冷卻式CO_2雷射，諸如康乃迪克州法明頓的TRUMPF Inc.所生產的TruCoax CO_2雷射。複數個405內之光學放大器408係可為具有無磨耗氣體流通及電容性射頻激發的快速軸向流高功率CO_2雷射，諸如康乃迪克州法明頓的TRUMPF Inc.所生產的TruFlow CO_2雷射。

[0043]最終聚焦總成140係聚焦經放大光束110俾使束110的直徑在焦區145中處於一最小值。易言之，最終聚焦總成140造成經放大光束110中的輻射隨著其在一傳播方向112傳播朝向焦區145而收斂。若缺乏一標靶材料120，經放大光束110中的輻射係隨著束110在方向112傳播遠離焦區145而發散。

[0044]最終聚焦總成140係為用來修改經放大光束110的波前以改變其束發散並使其聚焦於焦區位145處之束輸送系統125的部分。因此，若進入最終聚焦總成140之經放大光束110的波前具有零曲率(且因此被準直)，則最終聚焦總成140的輸出係為一具有正曲率的經放大光束，其係指波前中心係指向經放大光束傳播方向的相反方向，亦即，波前係在與一波前邊緣作比較時受到阻滯。因此，最終聚焦

總成140係相對於進入最終聚焦總成140的經放大光束110而言正性地更改從總成140所輸出的經放大光束110的波前之曲率，俾使經放大光束110被聚焦於焦區位145。最終聚焦總成140係可包括一或多個各具有一彎曲表面之透射性光學元件，或一或多個各具有一彎曲表面之反射性光學元件。

[0045]光收集器155係擷取從電漿121發射之至少部分的EUV光150並將所擷取光160導引至一光學裝備165，光學裝備165在一特定應用中使用所擷取的極紫外光160。光收集器155係具有位於或接近於標靶區位130或焦區位145之一第一焦點，及位於一中間區位161之一第二焦點(亦稱為一中間焦點)，其中EUV光160可從極紫外光系統100輸出並可輸入至光學裝備165。

[0046]經放大光束110係為一脈衝式光束且其包括被聚焦於焦區位145之至少一第一組的脈衝，以能夠使經放大光束110與標靶材料120之間作交互作用以造成標靶材料120轉化成發射極紫外光150的電漿121。焦區位145需足夠靠近於標靶材料120以能夠以一造成標靶材料120轉化成發射極紫外光150的電漿之方式使經放大光束110與標靶材料120作交互作用。因此，係可能使焦區位145重疊於標靶區位130，但未實際地重疊於標靶材料120。在其他實行方式中，焦區位145係重疊於標靶材料120。

[0047]經放大光束110可選用性地包括一第二組的脈衝，其係以某方式調控標靶材料120，但並未交互作用造成標靶

材料120轉化成一發射極紫外光150的電漿。此第二組的脈衝係可沿著相同束路徑空間性與時間性交綴於第一組的脈衝。例如，第二組的脈衝係可組構以在抵達標靶材料130之前與標靶材料120交互作用，藉以在其觸及標靶區位130之前修改標靶材料120的一幾何分佈。第二組的脈衝係可稱為“預脈衝”或預脈衝束。

[0048]並且，雖然圖1中僅顯示一個經放大光束110被導引至標靶區位130，在其他實行方式中，驅動雷射系統105可沿著空間性不同的束路徑或彼此呈時間性位移的重疊束路徑生成兩或更多個經放大光束110。例如，一預脈衝束可被導引朝向一第一標靶區位，且一主束可被導引朝向最終聚焦總成140的輸出處之一第二標靶區位(標靶區位130)。

[0049]參照圖5，在部分實行方式中，極紫外光系統100係使用在一光微影術系統500中以將極紫外(EUV)光160供應至一光學裝備，諸如一微影術曝光裝備565。光微影術系統500係包括被連接至一或多個控制或致動系統581之一或多個控制器580，一或多個控制或致動系統581係連接至極紫外光系統100內的組件，如參照圖6作更詳細討論。

[0050]EUV光160被導引至微影術曝光裝備565，其使用此光160生成一晶圓566上的一圖案。EUV光160可被導引經過一照射器567，照射器567可包括光學元件、諸如用以修改諸如EUV光160的波前曲率等形態之反射性光學元件。例如，照射器567可包括一或多個反射器，反射器係塗覆有一能夠反射盡量多EUV光160之特殊塗覆物(諸如多層塗覆物)。

因為此等反射器傾向於吸收部分的EUV光160，盡量少予以使用可能是有利的。

[0051]離開照射器567的EUV光160係被導引至一反射性遮罩570。離開反射性遮罩570的EUV光160係被導引經過一組568的投射光學件，其包括一或多個反射器，反射器係塗覆有一用於反射EUV光160的特殊塗覆物且亦組構成將EUV光160聚焦至晶圓566。投射光學件組568係調整衝擊在晶圓566上的EUV光160之角度範圍，並使得從反射性遮罩570至晶圓566上的光阻之影像轉移能夠發生。例如，投射光學件組568係可包括一系列的四至六個彎曲面鏡，而降低影像尺寸並將影像聚焦至晶圓566上。這些面鏡各者係略微地彎折EUV光160以形成將被轉移至晶圓566上之影像。

[0052]並且，微影術曝光裝備567係可包括一微影術控制器572，空氣調控裝置，及用於不同電組件的電源供應器，以及其他特徵。在部分實行方式中，晶圓566係被攜載於一晶圓階台(wafer stage) 573上，並可供應一浸入介質574以覆蓋晶圓566供浸入微影術用。在其他實行方式中，晶圓566未被一浸入介質574所覆蓋。

[0053]晶圓566可利用任何數目的程序步驟作處理，其係可為諸如蝕刻、沉積等程序步驟、及具有一不同遮罩之微影術程序的一組合中之一或多者，以在晶圓的材料或沉積於晶圓上的材料中中生成一圖案的開口(諸如溝槽、通路或孔)。這些開口係可充填有絕緣性、傳導性或半傳導性材料以在晶圓上建造微電子形貌體之層。晶圓隨後被單化以

形成個別晶片，其可被併入至諸如電腦及其他消費或工業電子裝置等廣泛不同的電子產品中。

[0054]參照圖6，在部分實行方式中，極紫外光系統100係為一系統中之包括有諸如一真空腔室600、一或多個控制器580、一或多個致動系統581及一引導雷射582等其他組件之一部份。

[0055]真空腔室600係可為單一單元性結構，或者其可以容置有特定組件之分離的次腔室作建置。真空腔室600係為至少一部份剛性包圍件，藉由一真空泵自其移除空氣及其他氣體，而導致腔室600內的一低壓力環境。腔室600的壁係可由適合於真空使用(可承受較低壓力)之任何適當金屬或合金製成。

[0056]此外，最終聚焦總成140係可被完全定位於真空腔室600外側，可被部份定位於真空腔室600內側(所以總成140的部分組件位於低壓力環境內側，而其他組件則位於低壓力環境外側，或可完全位於真空腔室600內側。或者，最終聚焦總成140係可部份位於真空腔室600的一次腔室601內側。例如，如圖6所示，最終聚焦總成140係部份位於真空腔室600的一次腔室601內側。

[0057]標靶材料輸送系統115將標靶材料120輸送至標靶區位130。位於標靶區位的標靶材料120係可呈現下列形式：液體微滴，一液體流束，固體粒子或叢簇，被包含在液體微滴內的固體粒子或被包含在一液體流束內的固體粒子。標靶材料120可例如包括水，錫，鋰，氙，或當轉化至

一電漿狀態時具有EUV範圍中的一發射線之任何材料。例如，元素錫可以純錫(Sn)、錫化合物諸如$SnBr_4$、$SnBr_2$、SnH_4、錫合金諸如錫鎵合金、錫銦合金、錫銦鎵合金、或這些合金的任一組合作使用。標靶材料120係可包括一塗覆有上述元素中的一者、諸如錫之引線。若標靶材料120處於固態，其可具有任何適當形狀，諸如一環、球體或立方體。標靶材料120可由標靶材料輸送系統115被輸送至腔室800的內部中及來到標靶區位130。標靶區位130亦稱為輻照部位，即標靶材料120與經放大光束110作光學交互作用以生成電漿之地點。

[0058]光收集器155可為一收集器面鏡655，其係具有一開孔640以容許經放大光束110通過並觸及焦區位145。收集器面鏡655可例如為一橢面面鏡，其係具有位於標靶區位130或焦區位145的一第一焦點，及位於一中間區位661的一第二焦點(亦稱為中間焦點)，其中EUV光160可從極紫外光系統輸出並可輸入至光學裝備165。

[0059]一或多個控制器580係連接至一或多個致動系統或診斷系統，例如一微滴位置偵測回饋系統，一雷射控制系統，及一束控制系統，及一或多個標靶或微滴成像器。標靶成像器係提供一指示出一微滴例如相對於標靶區位130的位置之輸出並將此輸出提供至微滴位置偵測回饋系統，其可例如運算出一微滴位置及軌跡，可以逐一微滴基礎或平均式自其運算出一微滴位置誤差。微滴位置偵測回饋系統因此將微滴位置誤差以一輸入提供至控制器580。控

制器580可因此將一雷射位置、方向及擇時修正信號例如提供至雷射控制系統，其可例如用來控制雷射擇時電路及/或提供至束控制系統以控制束運送系統的一經放大光束位置及定形以改變腔室600內的束焦斑之區位及/或焦功率。

[0060]標靶材料輸送系統115係包括一標靶材料輸送控制系統，其可回應於來自控制器580的一信號而操作，以例如修改微滴在被一內部輸送機構釋放時的釋放點以修正微滴抵達所欲標靶區位130中之誤差。

[0061]此外，極紫外光系統100係可包括一光源偵測器，其係測量一或多個EUV光參數，包括但不限於脈衝能量、身為波長的函數之能量分佈、一特定波長帶內之能量、一特定波長帶外之能量、及EUV強度及/或平均功率之角度性分佈。光源偵測器係產生一回饋信號以供控制器580使用。回饋信號可例如指示出諸如雷射脈衝的擇時及焦點等參數中之誤差，以在對的地點與時間妥當地交截微滴以具有有效且有效率的EUV光生成。

[0062]在部分實行方式中，驅動雷射系統105具有一主振盪器/功率放大器(MOPA)組態，其係擁有多重階段的放大並具有以低能量及高重覆率例如能夠作100kHz操作由一Q切換式主振盪器(MO)所引發的一種子脈衝。從MO，雷射脈衝可例如利用RF泵送式快速軸向流CO_2放大器被放大，以生成沿著一束路徑移行的經放大光束110。

[0063]雖然可使用三個光學放大器，在此實行方式中係可能使用少到一個的放大器或多於三個的放大器。在部分

實行方式中，CO_2放大器的各者係可為一具有由內部面鏡所摺疊的10公尺放大器長度之RF泵送式軸向流CO_2雷射立方體。

[0064]替代性地，驅動雷射系統105係可組構成一所謂“自我標定(self-targeting)”雷射系統，其中標靶材料120作為光學腔穴的一面鏡。在部分“自我標定”配置中，可能不需要主振盪器。驅動雷射系統105係包括一鏈串的放大器腔室，沿著一束路徑呈序列式配置，各腔室有其自身的增益介質及激發源，例如泵送電極。各放大器腔室可為一RF泵送式快速軸向流CO_2放大器腔室，其具有例如1,000至10,000的一經組合的單通增益以供放大例如10600nm的波長λ之光。放大器腔室的各者可設計成不具有雷射腔穴(共振器)面鏡，俾當單獨建置時使其不包括令經放大光束不只一次通過增益介質所需要之光學組件。然而，如上文提及，可如下形成一雷射腔穴。

[0065]在此實行方式中，可藉由將一後部份反射光學件添加至驅動雷射系統105並將標靶材料120放置於標靶區位130處而形成一雷射腔穴。光學件可例如為一扁平面鏡，一彎曲面鏡，一相位共軛面鏡，或對於約10600nm波長(若採用CO_2放大器腔室之經放大光束110的波長)具有約95%反射率(reflectivity)之一角落反射器。標靶材料120及後部份反射光學件係用來將部分經放大光束110反射回到驅動雷射系統105中以形成雷射腔穴。因此，標靶120出現於標靶區位130處係提供足夠回饋以造成驅動雷射系統105生成同調

性雷射振盪，且在此實例中，經放大光束110可被視為一雷射束。當標靶120未出現於標靶區位130處時，驅動雷射系統105可仍被泵送以生成經放大光束110，但除非某其他組件提供足夠回饋否則其將未生成一同調性雷射振盪。此配置可稱為一“自我標定”雷射系統，其中標靶材料120作為光學腔穴的一面鏡(所謂電漿面鏡或機械q開關)。

[0066]依據應用而定，其他類型的放大器或雷射亦可能為適合，例如以高功率及高脈衝重覆率操作的一受激準分子或分子性氟雷射。範例係包括一MOPA組構式受激準分子雷射系統，例如美國專利案號6,625,191；6,549,551；及6,567,450中所示；一受激準分子雷射，其具有一或多個腔室，例如一振盪器腔室及一或多個放大腔室(具有併列或序列式的放大腔室)；一主振盪器/功率振盪器(MOPO)配置，一功率振盪器/功率放大器(POPA)配置；或一固態雷射，其係種化一或多個受激準分子或分子性氟放大器或振盪器腔室，係可為適合。其他設計亦為可能。

[0067]在輻照部位，利用被最終聚焦總成140適當地聚焦之經放大光束110來生成具有依據標靶材料120組成物而定的特定特徵之電漿。這些特徵係可包括電漿所生成之EUV光160的波長以及從電漿所釋放之雜屑的類型及數量。經放大光束110係蒸發標靶材料120，並將經汽化的標靶材料加熱至一使電子脫落(電漿狀態)的臨界溫度，而留下離子，其被進一步加熱直到開始發射具有極紫外範圍的波長之光子為止。

[0068]參照圖7A，在一實行方式中，光學放大器108係設計成一軸向流系統700，其中氣體混合物係經過一氣體泵送及供應線路710被泵送至一氣體放電管705的一端701中且離開管705的另一端702。在其他實行方式中，光學放大器108可設計成一橫向氣體流系統，其中分子性氣體雷射係流動橫越氣體放電管(諸如管705、755)，而非順著管往下流(如同圖7A及7B中)。以此方式，可對於分子性氣體的連續雷射操作獲得較高的功率額定。

[0069]在軸向流抑或橫向流實行方式中，係提供新鮮氣體以取代由於氣體分子解離而匱乏的氣體分子。在其中光學放大器108身為二氧化碳分子性氣體雷射的一範例中，氣體混合物係包括CO_2，且將He及N_2添加至氣體混合物以促進效率。雖然討論一軸向流系統700，此設計亦可適用於一橫向氣體流系統。軸向(或橫向)流系統700係包括一再流通泵(或鼓風機)以及包括一再流通泵(或鼓風機)之氣體供應系統715，以從管705推押氣體混合物且經過線路710，以及一氣體供源，其係取代由於解離而匱乏的氣體分子。催化性轉化系統107可被放置於此軸向(或橫向)流系統700之氣體線路710的內部(或呈現序列)。在光學放大器系統106可容忍高位準的氧之情況中，催化性轉化系統107的此置放方式(亦即位於氣體線路710內且因此與氣體線路710呈現序列)係可為適合。

[0070]參照圖7B，在一軸向(或橫向)流系統750的其他實行方式中，催化性轉化系統107被放置於軸向(或橫向)流

系統750之氣體線路760的外部(亦即呈現併列)，其係包括一容置有氣體混合物的氣體放電管755。在光學放大器系統106無法容忍氣體混合物中的高位準的氧之情況中、例如若氧必須小於總氣體混合物的0.2%，對於催化性轉化系統107的此放置方式(亦即氣體線路760的外側且併列)係可為適合。

[0071]典型地，氣體混合物的一比例部分(例如約1至20%、或5%左右)係可從管755的放電區(其中O_2濃度為高)之下游抽取，被導引經過氣體線路760，且在(管755之放電區的上游)將氣體混合物重新導入回到氣體線路760中之前被傳送經過催化性轉化系統107的催化劑元件300、305、310(以藉由氧化來移除O_2)。在此實行方式中，催化性轉化系統107亦可包括一控制閥770及一再流通泵或鼓風機775。

[0072]在圖7B的外部催化劑組態中，可藉由一氣體熱交換器(諸如熱交換器310)抑或一逆流氣體熱交換器來調節氣體混合物的溫度。此外部組態係可提供對於氣體混合物的溫度之較大控制，原因是可在氣體線路760外側調整溫度。一種替代方式係為加熱催化劑本身。對於一EUV光源應用，諸如圖1所示者，由於氣體混合物的加熱係可導致氣體混合物流束內及催化劑表面上之較為均勻的溫度分佈，加熱氣體混合物可能是所欲的。

[0073]其他實行方式係位於下列申請專利範圍的範疇內。

【符號說明】

100…極紫外(EUV)光系統
105…光源/驅動雷射系統
106…光學放大器系統
107…催化性轉化系統
108,408…光學放大器
109…控制器
110…經放大光束
112…傳播方向
115…標靶材料輸送系統
118…經包圍容積
120…標靶材料
121…電漿
125…束輸送系統
128…增益介質
130…標靶區位
135…束運送系統
140…最終聚焦總成
145…焦區/焦區位
150…EUV光或輻射
155…光收集器
160…極紫外(EUV)光
161,661…中間區位
165…光學裝備
200…功率輸出
205…光學輸出
300…催化劑元件/氣體預加熱器
305…催化性轉化器
310…熱交換器/催化劑元件
315,320…經包圍硬管或管
325…支撐結構/基材
330…活性催化劑
400…預放大器
405…複數個
500…光微影術系統
565…微影術曝光裝備
566…晶圓
567…照射器
568…投射光學件組
570…反射性遮罩
572…微影術控制器
573…晶圓階台
574…浸入介質
580…控制器
581…致動系統
581…控制或致動系統

582…引導雷射

600…真空腔室

601…次腔室

640…開孔

655…收集器面鏡

700…軸向流系統

701…氣體放電管705的端

702…管705的另一端

705,755…氣體放電管

705…管

710…氣體泵送及供應線路

715…氣體供應系統

750…軸向(或橫向)流系統

760…氣體線路

770…控制閥

775…再流通泵或鼓風機

800…腔室

申請專利範圍

1. 一種極紫外光系統，其包含：

一光學放大器系統，其包含一或多個光學放大器，各光學放大器係包括一氣體混合物形式之增益介質(gain medium)，當自一能量供應源(energy supply)供應能量以根據一工作週期(duty cycle)泵送(pump)該增益介質時，該增益介質生成一脈衝式(pulsed)經放大的光束，該光學放大器系統係包含一該氣體混合物所流過之流體輸入及一流體輸出；

一催化性轉化(catalytic conversion)系統，其係流體性地連接至該光學放大器系統的流體輸出、及該光學放大器系統的流體輸入，該催化性轉化系統係包含一催化性轉化器(converter)，其包含：

一殼體；

一位於該殼體內的基材，其包括可供該氣體混合物流過之開口；及

一催化劑(catalyst)，其作為一塗覆物(coating)被施加至該基材的開口之內部表面，該催化劑係包含金屬的奈米粒子；及

一熱交換器，其與該催化性轉化器分離，該熱交換器包含供該氣體混合物所流過之管件(tubing)，該熱交換器之該管件係在其內表面上塗覆有一催化劑，該催化劑加速(facilitates)該氣體混合物內之經解離分子

(dissociated molecules)的氧化(oxidation)。

2. 如請求項1之系統，其中該基材的開口係具有一蜂巢(honeycomb)幾何結構。
3. 如請求項1之系統，其中該管件被一外部排熱器(heat sink)所冷卻。
4. 如請求項1之系統，其進一步包含一標靶材料輸送系統，其係組構以在一標靶區位處生成一標靶材料，其中該經放大的光束被導引朝向該標靶區位使得該經放大的光束與該標靶材料之間作交互作用以產生一電漿，該電漿係發射極紫外(EUV)光。
5. 如請求項1之系統，其中該催化劑係包含金的奈米粒子。
6. 如請求項1之系統，其中該基材係由一陶瓷材料所製成。
7. 如請求項1之系統，其中該催化性轉化系統係與從該光學放大器系統的流體輸入及流體輸出所形成之一流體線路以併列方式(in parallel)作流體性配置。
8. 如請求項1之系統，其中該催化性轉化系統係與從該光學放大器系統的流體輸入及流體輸出所形成之一流體線路以序列方式(in series)作流體性配置。
9. 如請求項1之系統，其中該金屬係一貴金屬。
10. 一種用於生成極紫外光之方法，該方法係包含：

將泵送能量供應至一光學放大器系統中之至少一光學放大器的一增益介質，以生成一脈衝式經放大的光

束，該增益介質呈現一包括多種分子之氣體混合物的形式，其至少部分係在一管(tube)內之該經放大的光束生成期間解離(dissociate)；

調節從該管輸出之該氣體混合物的溫度；

將經調節溫度之該氣體混合物導引經過一被固定於一殼體內且塗覆有金屬奈米粒子的一催化劑之基材，以藉此氧化該氣體混合物的經解離分子；

將該經氧化氣體混合物導引回到該管中；

在一標靶區位處生成一標靶材料；及

將該經放大的光束聚焦至一焦點區位(focal location)上，使得該經放大的光束與該標靶材料之間作光學交互作用以造成該標靶材料被轉化成一發射極紫外光之電漿。

11. 如請求項10之方法，其進一步包含將從該管所輸出的氣體混合物導引經過一溫度控制式(temperature controlled)管件，以在將該經氧化氣體混合物導引回到該管中之前從該氣體混合物移除熱量。

12. 如請求項10之方法，其進一步包含以一被塗覆在該管件的一內部表面上之催化劑至少部份地氧化該氣體混合物的經解離分子。

13. 如請求項10之方法，其中調節該氣體混合物的溫度係包含將該氣體混合物的溫度維持在從該管輸出之該氣體混合物的溫度以上。

14. 如請求項10之方法，其中該金屬係一貴金屬。

15. 一種用於一極紫外光系統的一光學放大器系統之催化性轉化系統，該催化性轉化系統係包含：

一催化性轉化器，其包含：

一輸入，其流體性地連接至該光學放大器系統以接收一包括在該光學放大器系統中之一增益介質的經解離分子之氣體混合物；

一輸出，其流體性地連接至該光學放大器系統；

一殼體，其位於該輸入與該輸出之間；

一位於該殼體內之基材，其包括可供該氣體混合物流過之開口；及

一催化劑，其作為一塗覆物被施加至該基材的開口之內部表面，該催化劑包括金屬的奈米粒子；及

一熱交換器，其與該催化性轉化器分離，該熱交換器包括供該氣體混合物從該催化性轉化器流過之管件，該管件係在其內表面上塗覆有一催化劑，該催化劑加速該氣體混合物內之經解離分子的氧化。

16. 如請求項15之催化性轉化系統，其中該基材的開口係為六角形。

17. 如請求項15之催化性轉化系統，其中該殼體係流體性地連接至該輸入及該輸出。

18. 一種用於一極紫外光系統的一氣體放電光學放大器系統之催化性轉化系統，該系統係包含：

一熱量調節系統，其增高從該光學放大器系統所輸出之一氣體混合物的一溫度，該氣體混合物係包括一增益介質的經解離分子，其被激發以從該光學放大器系統生成一經放大的光束；及

一催化性轉化器，其係接收從該熱量調節系統所輸出之於一增高溫度的該氣體混合物，該催化性轉化器係包含：

一基材，其位於一殼體內且包括可供該氣體混合物流過的開口；及

一催化劑，其作為一塗覆物被施加至該基材的開口之內部表面，該催化劑包含金屬粒子，該金屬粒子加速該氣體混合物內之經解離分子的氧化。

19. 如請求項18之催化性轉化系統，其中該基材的開口係六角形。

20. 如請求項18之催化性轉化系統，其中該金屬粒子係貴金屬的奈米粒子。

21. 一種用於一極紫外光系統的一氣體放電光學放大器系統之催化性轉化系統，該催化性轉化系統係包含：

一催化性轉化器，其接收從該光學放大器系統所輸出的一氣體混合物，該氣體混合物係包括一增益介質的經解離分子，其被激發以從該光學放大器系統生成一經放大的光束，該催化性轉化器係包含：

一基材，其位於一殼體內且包括可供該氣體混合物流過的開口；及

一催化劑，其作為一塗覆物被施加至該基材的開口之內部表面，該催化劑包括金屬粒子，該金屬粒子加速該氣體混合物內之經解離分子的氧化；及

一熱交換器，其與該催化性轉化器分離，該熱交換器係包含該氣體混合物所流過之管件，該管件被一外部排熱器所冷卻且在其內表面上塗覆有一催化劑，該催化劑加速該氣體混合物內之經解離分子的氧化。

22. 如請求項21之催化性轉化系統，其中該金屬粒子係貴金屬的奈米粒子。