



Europäisches
Patentamt
European
Patent Office
Office européen
des brevets



(11)

EP 3 586 986 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
04.09.2024 Patentblatt 2024/36

(21) Anmeldenummer: **18179810.9**

(22) Anmeldetag: **26.06.2018**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B08B 7/00 (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B08B 7/0057; B08B 7/0035; B08B 7/005

(54) **VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR SUBMOLEKULAREN TROCKENREINIGUNG
UND/ODER ZUR HYDROPHILISIERUNG DER OBERFLÄCHE VON FESTKÖRPERN**

DEVICE AND METHOD FOR SUB-MOLECULAR DRY CLEANING AND/OR FOR COATING WITH A
HYDROPHILIC COMPOSITION THE SURFACE OF SOLID BODIES

DISPOSITIF ET PROCÉDÉ DE NETTOYAGE À SEC SOUS-MOLÉCULAIRE ET / OU DE
HYDROPHILISATION DE LA SURFACE DES CORPS SOLIDES

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
01.01.2020 Patentblatt 2020/01

(73) Patentinhaber: **Helmholtz-Zentrum für
Umweltforschung GmbH-UFZ
04318 Leipzig (DE)**

(72) Erfinder: **STRYHANYUK, Hryhoriy
04155 Leipzig (DE)**

(74) Vertreter: **Gulde & Partner
Patent- und Rechtsanwaltskanzlei mbB
Wallstraße 58/59
10179 Berlin (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A1- 2 177 278 EP-A2- 0 510 503
JP-A- S60 212 226 US-A- 4 368 080
US-A- 5 992 429 US-A1- 2002 129 833
US-A1- 2005 242 379 US-A1- 2006 175 291
US-A1- 2012 274 924**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingereicht, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur submolekularen Trockenreinigung und/oder zur Hydrophilisierung der Oberfläche von Festkörpern.

[0002] Durch eine Abscheidung von Molekülen aus der Luft unter Normalbedingungen oder auch aus Restgas im Vakuum wird die Oberfläche von Festkörpern kontinuierlich verschmutzt. Selbst nach einer Nassreinigung der Oberfläche mit Reinigungs-/Lösungsmittel und Wasser finden sich noch Moleküle der Verunreinigung und zudem des Reinigungsmittels auf der Oberfläche.

[0003] Die auf der Oberfläche von Festkörpern abgeschiedenen, üblicherweise organischen Moleküle verändern die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Oberfläche, d. h. diese verfälschen deren Zusammensetzung, reduzieren eine Adhäsion, verursachen Hydrophobizität und dergleichen, so dass bei vielen industriellen Verfahren, denen Festkörper unterzogen werden können, wie beispielsweise Dünnschichtabscheidung, Verklebung und Lithographie, eine störende und zerstörende Wirkung gegeben ist.

[0004] Um die Reste der organischen Reinigungsmittel sowie die adsorbierten Molekülen der ursprünglichen Verunreinigung zu eliminieren und damit eine saubere und hydrophilisierte Oberfläche für beispielsweise eine Beschichtung optischer Elemente, eine Verklebung, d. h. eine Beschichtung mit einem Kleber, Aufbringung einer Lithographiestruktur, empfindliche Analytik und chemische Mikroskopieverfahren bereitzustellen, werden nach dem Stand der Technik VUV-UV Licht und freie sauerstoffhaltige Radikale eingesetzt.

[0005] Solche Reinigungsprozesse sind als beispielsweise "Ozon-Reinigung", "UV-Ozon-Reinigung" oder eine "UV-Licht-Reinigung" bekannt. Bei diesen Reinigungsprozessen sind UV-Strahlung, Ozon (Os), mit der UV-Strahlung aktivierte Sauerstoffradikale (O^{\cdot}) oder auch andere sauerstoffhaltige Radikale wie das hochreaktive Hydroxyl-Radikal ($\cdot OH$) beteiligt.

[0006] Durch Absorption harter VUV/Vakuum-Ultravioletter-Strahlung durch O_2 -Moleküle (Absorptionskante des Sauerstoffs definiert die 196 nm Grenze des Vakuum-Ultraviolett-Spektralbereiches, VUV) entsteht atomarer Sauerstoff in Form einzelner Sauerstoffatome, der schnell mit O_2 Molekülen reagiert und O_3 Ozonmoleküle bildet. Die O_3 Ozonmoleküle sind relativ stabil und weisen unter Normalbedingungen eine Lebensdauer von ca. 20 min auf. Bei der Bestrahlung der Ozon-Moleküle mit UV-Licht mit einer Wellenlänge innerhalb des Spektralbereiches von 200-300 nm findet deren starke Photodissoziation statt (Hartley-Absorptionsbande mit ca. 250 nm Maximum). Bei der Photodissoziation des Ozons (O_3) entstehen wesentlich mehr freie Sauerstoffradikale (O^{\cdot}) als bei der Photodissoziation des Sauerstoffs (O_2). Das Hydroxyl-Radikal ($\cdot OH$) entsteht aus Ozon und Wassermolekülen beim Auftreffen von UV-Strahlen.

[0007] Mit der VUV-UV-Strahlung aktivierte freie Sau-

erstoffradikale (O^{\cdot}) sind reaktiv und können Oberflächen organischer Proben sowie auf einer Oberfläche adsorbierte organische Moleküle oxidieren und diese sogar vollständig bis zu flüchtigen CO_2 und H_2O umsetzen.

[0008] Jedoch ist die auf dem Markt verfügbare Ausrüstung zu diesen Verfahren nicht zur Reinigung der Oberfläche empfindlicher Substrate, wie beispielsweise bei Dünnschicht-Polymeren, wie Formvar (Polyvinylformal) und Quantifoil®, die zudem hydrophilisiert werden sollen, geeignet. Diese Polymerfolien werden beispielsweise auf TEM-Netzchen (TEM: Transmissionselektronenmikroskopie) mit einem Durchmesser von 3,05 mm) aufgebracht, um darauf mikrobielle Zellen zu immobilisieren. Dazu wird eine Zellsuspension auf das Dünnschicht-Polymer aufgebracht und anschließend einer Tauchfrierung unterzogen. Die polymere Dünnschicht muss dabei hydrophilisiert vorliegen, da sonst die Zellen nicht haften. Bei den UV-Ozon-Reinigungsverfahren mit auf dem Markt verfügbaren Geräten werden die polymeren Dünnschichten sowie die Oberflächen organischer Proben mit kontinuierlicher UV-Strahlung üblicherweise thermisch überlastet, beschädigt und sogar zerstört.

[0009] Eine Nassreinigung ist für die mit Formvar oder Quantifoil® bedeckten TEM-Netzchen ausgeschlossen, weil die Polymerdünnschicht sehr leicht durch die Kräfte der Oberflächenspannung des Wassers zerstört wird.

[0010] Plasmareinigungsverfahren haben den Nachteil, dass eine Übertragung des Plasmaumgebungsmaterials auf die Oberfläche des Netzchens erfolgt, so dass keine wirklich gereinigte Oberfläche vorliegt. Zudem bleibt die Oberfläche nach der Reinigung nur ca. 30 bis 60 sec hydrophil.

[0011] Konventionelle Vorrichtungen zur submolekularen Trockenreinigung und/oder Hydrophilisierung der Oberfläche von Festkörpern werden in JP S60 212226 A, EP 2 177 278 A1, EP 0 510 503 A2, US 2002/129833 A1 und US 2012/274924 A1 offenbart. JP S60 212226 A offenbart eine Vorrichtung zur submolekularen Trockenreinigung und/oder Hydrophilisierung der Oberfläche von Festkörpern gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein zugehöriges Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 10.

[0012] Es ist daher Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Reinigung von Oberflächen von Festkörpern zu schaffen, die bzw. das zumindest teilweise die Nachteile des Standes der Technik überwindet.

[0013] Die Aufgabe wird durch eine Vorrichtung und ein Verfahren mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet. Die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren bieten vorteilhafterweise eine Optimierungsmöglichkeit des Reinigungsprozess für verschiedene Materialien und auch eine Optimierungsmöglichkeit der Prozessparameter während des Verfahrens. Nachstehend werden diese Aspekte noch eingehend erläutert.

[0014] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ei-

nen Gegenstand, der in den beigefügten Ansprüchen definiert ist. Die nachfolgende Beschreibung unterliegt dieser Einschränkung. Jegliche Offenbarung, die außerhalb des Anwendungsbereichs der Ansprüche liegt, ist nur für illustrative und vergleichende Zwecke gedacht.

[0015] Trockenreinigung bedeutet, dass die Oberfläche nicht mit Lösungsmitteln oder dgl. gereinigt wird, sondern dass eine Entfernung bzw. Zersetzung der Verunreinigungen auf der Oberfläche des zu reinigenden Festkörpers mittels der Prozessgase in Verbindung mit einer geeigneten Strahlung erfolgt.

[0016] Nachstehende Ausführungen betreffen, auch wenn es nicht explizit beschrieben ist, die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren gleichermaßen.

[0017] Submolekular bedeutet in diesem Kontext, dass die auf der zu reinigenden Oberfläche befindlichen organischen Moleküle (Verunreinigung) und auch deren bei der Reinigung entstehenden Fragmente durch vollständige Oxidation zu CO₂ und H₂O entfernt werden.

[0018] In die Prozesskammer ist erfindungsgemäß eine Prozesszelle eingebracht.

[0019] Der Vorteil der Verwendung einer Prozesszelle besteht darin, dass insbesondere empfindliche, organische Materialien, beispielsweise in Form von Dünnschichten, da ausschließlich eine Oberflächenoxidation erfolgt, gereinigt werden können, ohne dass es zu einer wie auch immer gearteten Schädigung des organischen Festkörpers durch UV-Bestrahlung kommen kann. Auch kann die Prozesszelle vorteilhafterweise für die UV-Licht stimulierte Abscheidung von Dünnschichten, beispielsweise Kohlenstoffschichten oder organische Dünnschichten, verwendet werden. Harte Proben oder sonstige unempfindliche, zu reinigende Materialien, beispielsweise Messer oder anorganische Substrate für spezielle Anwendungen, können in der Prozesskammer auch ohne die Prozesszelle gereinigt werden.

[0020] Die Funktion der Prozesszelle wird im Rahmen der Beschreibung noch näher erläutert.

[0021] Als Prozessgase werden Sauerstoff und Stickstoff, Argon oder ein anderes inertes Gas als Stoßpartner für die Bildung von Ozon und Radikalen verwendet.

[0022] Optional wird über einen Precursorspender Wasserdampf als weitere Prozessgaskomponente zur Erzeugung von Hydroxyl-Radikalen (·OH) oder Dampf niedermolekularer Ketone (Aceton) zur UV-induzierten Abscheidung Kohlenstoff-Dünnschichten in die Prozessgase eingemischt. Andere Beimischungen können je nach Bedarf zur Erzeugung spezifischer Schichten vorgenommen werden.

[0023] Die Prozessgase werden vorzugsweise vor Einleitung in die Prozesskammer in erforderlicher Weise mittels einer Mischeinrichtung gemischt und vorzugsweise mittels eines Wärmetauschers oder dergleichen temperiert.

[0024] Um einen übermäßigen Temperaturabfall beim Auftreffen der Prozessgase auf den zu reinigenden Festkörper, insbesondere zum Anfang des Reinigungsver-

fahrens zu vermeiden, kann der Probentisch ebenfalls über eine Heizungseinrichtung temperierbar sein. Zudem können dadurch Materialspannungen im Festkörper vermieden werden.

[0025] Vorteilhafterweise wird durch den erfindungsgemäß vorgesehenen Spektralbereich der Bereich von 140 bis 160 nm abgedeckt, in dem der Absorptionskoeffizient von Sauerstoff (O₂) bis zu 100x größer als bei einer Wellenlänge von 183 nm ist, einer Wellenlänge, die beispielsweise mit einer Quecksilberlampe bereitgestellt werden kann. Zudem ist bei einer kontinuierlichen Quecksilberlampe nachteilig, dass damit empfindliche Materialien, wie organische Dünnschichten, leicht überhitzt und zerstört werden können. Erzeugung des Ozons durch die elektrischen Entladungen zwischen Elektroden ist mit Staubproduktion und damit Materialübertragungen begleitet, d. h., dass Verunreinigungen auf den Festkörper gelangen können.

[0026] Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform liegt der Spektralbereich zwischen 120 und 300 nm und besonders bevorzugt wird dazu eine Xe-Lampe eingesetzt, deren Emission den Bereich von 120 bis 196 nm abdeckt, also den Bereich, in dem ein besonders hoher Absorptionskoeffizient molekularen Sauerstoffs gegeben ist. Gleichzeitig wird während der Sauerstoffspaltung produziertes Ozon in dem Spektralbereich von 200 bis 300 nm aufgespalten und sauerstoffhaltige Radikale gebildet. Dabei wird durch Begrenzung des Spektralbereichs der effektive Energieeintrag in den Festkörper limitiert, so dass dieser materialschonend gereinigt werden kann.

[0027] Diese schonende Behandlung kann zudem durch eine gepulste Strahlung optimiert werden. Daher ist eine Xe-Blitzlampe besonders bevorzugt. Erfindungsgemäß ist aber auch eine Lampe mit einer kontinuierlichen Strahlung geeignet.

[0028] Durch den Einsatz von gepulstem Licht kann zudem die Reaktionsführung beeinflusst werden, da eine Abstimmung von Wiederholungsrate, Energie des Lichtpulses und dem Prozessgasfluss dazu führt, dass gebildetes Ozon in der Prozesskammer bzw. der Prozesszelle nicht frühzeitig, sondern erst an der Oberfläche des Festkörpers durch die Bestrahlung zu sauerstoffhaltigen Radikalen umgesetzt werden kann.

[0029] Die Pulsdauer liegt vorzugsweise zwischen 1 und 8 µs, besonders bevorzugt zwischen 2 und 4 µs und weist eine einstellbare Pulsenegie im Bereich von 0.08 bis 0.5 J auf und vorzugsweise eine einstellbare Puls-wiederholungsrate im Bereich von 1 bis 250 Hz.

[0030] Die Prozesskammer der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist erfindungsgemäß zwischen einem Lampenmodul, in dem die Lampe angeordnet ist, und einem Probentisch zur unmittelbaren oder mittelbaren Aufnahme des Festkörpers ausgebildet, wobei die Prozesskammer vorzugsweise mittels eines flexiblen Kammerbalgs, der an dem Lampenmodul und dem Probentisch dichtend anliegt, gegenüber der Umgebung abdichtbar ist. Vorzugsweise ist der Kammerbalg am Lampenmodul

über geeignete Mittel festgelegt und dichtet beim Aufsetzen auf dem Probentisch ab.

[0031] Bei der mittelbaren Anordnung des Festkörpers kann dieser beispielsweise auf einem Träger oder der gleichen in die Prozesskammer eingebracht und entnommen werden, um die Handhabung bei Bedarf zu erleichtern.

[0032] Vorzugsweise ist der flexible Kammerbalg aus einem polymeren Werkstoff ausgebildet, der gegenüber den aktivierten/aggressiven Prozessgasen (Ozon, sauerstoffhaltige Radikale) innerhalb der Prozesskammer beständig sein muss. Vorzugsweise sind dies ein Silikon oder andere transparente Materialien, die gegenüber Ozon und sauerstoffhaltigen Radikalen beständig sind.

[0033] Das Lampenmodul dient, wie bereits ausgeführt, der reversiblen Festlegung bzw. Aufnahme einer Lampe, wobei über das Lampenmodul auch eine elektrische Kontaktierung der Lampe erfolgt.

[0034] Eine Halterung zur Fixierung der Lampe, vorzugsweise in einem Lampengehäuse, sowie elektrische Anschlüsse sind vorzugsweise im Inneren des Lampenmoduls vorgesehen. Der eigentliche Lampenkörper, der das Licht abgibt, ragt aus dem Lampenmodul heraus.

[0035] Um die Ausbeute an Licht zu optimieren, weist die Lampe im Lampengehäuse auf der von dem Festkörper abgewandten Seite ein Element, vorzugsweise einen Reflektor auf, der den entsprechenden Teil des Lichts, vorzugsweise im gesamten Spektralbereich reflektiert und in Richtung des Festkörpers umlenkt.

[0036] Zudem ist das Lampenmodul Teil des Gasführungssystems, das über mindestens eine, bevorzugt zwei symmetrisch platzierte Durchgangsöffnungen im Lampenmodul die schon temperierte Prozessgasmischung in die Prozesskammer leitet. Daher weist das Lampenmodul mindestens einen Anschluss auf, über den das gemischte Prozessgas zugeführt wird.

[0037] Vorzugsweise kann das Lampenmodul ein Manometer aufweisen, vorzugsweise ein digitales Manometer, das über das Lampenmodul mit der Prozesskammer verbunden ist.

[0038] Die Lampe bzw. das Lampengehäuse weist ein Fenster auf, durch das das Licht in die Prozesskammer austritt. Als Fenstermaterial wird vorzugsweise MgF₂ gewählt, das für das Licht mit Wellenlänge ab 120 nm durchlässig ist.

[0039] Die bereits genannte Prozesszelle, die vorteilhafterweise in der Prozesskammer, vorzugsweise mit Hilfe einer Schnellkupplung (Magnetkupplung) oder der gleichen angeordnet werden kann, ist zur Führung der Prozessgase zum Festkörper, zur Halterung eines Zwischenfilterelements im Strahlengang ausgebildet und dient somit der Umwandlung der Zusammensetzung der Prozessgase und der spektralen Zusammensetzung ausgehend von der Lampe in Richtung des zu reinigenden Festkörpers.

[0040] So kann vorzugsweise mittels der Prozesszelle zumindest ein Zwischenfilterelement im Strahlengang der Lampe und dem Festkörper angeordnet werden.

[0041] Das Zwischenfilterelement kann aus unterschiedlichen Materialien bestehen, vorzugsweise ist das Material ausgewählt aus nachfolgender Gruppe: MgF₂ (transparent ab 120 nm), Quarz (transparent ab 160 nm), Saphir (transparent ab 210 nm) und Bandpassfilter (210 bis 300 nm).

[0042] Durch das Zwischenfilterelement wird der Strahlengang bzw. der Raum zwischen der Lampe, gegebenenfalls deren Fenster und dem Festkörper (der Oberfläche des zu reinigenden Objekts) in zwei Bereiche mit unterschiedlichen Funktionen eingeteilt.

[0043] In dem ersten Bereich zwischen der Lampe, gegebenenfalls dem Fenster und dem Zwischenfilterelement wird molekularer Sauerstoff (O₂) mit harter VUV-Strahlung (120 bis 196 nm), vorzugsweise von der Xe-Blitzlampe in atomaren Sauerstoff aufgespalten. Der atomare Sauerstoff (O) reagiert in diesem Bereich schnell mit anderen Sauerstoffmolekülen und Stickstoff oder einem anderen als dritten Stoßpartner fungierendem Gas und bildet Ozon-Moleküle (O₃). Das Ozon verlässt diesen ersten Bereich und wird in den zweiten Bereich zwischen dem Zwischenfilterelement und dem Festkörper geleitet. Das Zwischenfilterelement (Quartz, Saphir oder Bandpassfilter) lässt die Strahlung ab ca. 160 nm bzw. 210 nm durch, um beispielsweise eine empfindliche organische Probe nicht direkt mit der harten VUV-Strahlung zu beschädigen. Das Zwischenfilterelement beschränkt den Raum der Prozessgasmischung auf eine Höhe von vorzugsweise ca. 3 bis 5 mm des ersten Bereichs, dies entspricht einem zu ionisierendem Gasvolumen von ca. 2 ml, und sichert somit eine effektive Ionisierung des Sauerstoffs und Ozonbildung in der Prozessgasmischung sowie eine Abschwächung der harten VUV-Strahlung bei einem Gasfluss von vorzugsweise 0,2 bis 5 L/min und einer Blitzwiederholungsrate von vorzugsweise 5 bis 50 Hz.

[0044] Die mit dem Zwischenfilterelement durchgelassene Strahlung ab 160 nm bzw. ab 210 nm bewirkt in dem zweiten Bereich der Prozesszelle über der Oberfläche des Festkörpers die Aufspaltung von Ozon-Molekülen. Das Licht der Wellenlänge bis 300 nm wird durch das Ozon absorbiert und abgeschwächt und dadurch entstehen Sauerstoffradikale, welche die Verunreinigungen an der Oberfläche des Festkörpers/zu reinigenden Objektes oxidieren.

[0045] Bei der Verwendung eines Bandpassfilters (210 bis 300 nm) als Zwischenfilterelement wird ein unnötiger Energieeintrag in den Festkörper durch die Lichteinstrahlung (>300 nm) vermieden, sodass dieser ausschließlich durch die Oberflächenoxidierung gereinigt und damit eine Schädigung aufgrund der Bestrahlung mit dem VUV-UV und sichtbaren Licht verhindert wird.

[0046] Die Prozesszelle ist nach einer bevorzugten Ausführungsform aus einem vorzugsweise zylindrischen Hohlkörper ausgebildet, der an gegenüberliegenden Seiten offen ist und der vorzugsweise an den freien Enden einen Flansch oder dergleichen aufweist, um eine Sicherheit gegen ein Verkippen bei der Montage zu haben

und im montierten Zustand die Prozesskammer zwischen Lampenmodul und Probentisch abzudichten.

[0047] Die Lampe bzw. deren Lampengehäuse ragen vorzugsweise in die Prozesszelle hinein, wobei vorzugsweise das Lampengehäuse mit dem Querschnitt, vorzugsweise dem Innendurchmesser des zylindrischen Hohlkörpers korrespondiert, so dass sich das Lampengehäuse in den Hohlkörper erstreckt.

[0048] Dies erleichtert vorteilhafterweise die Montage und Demontage der Prozesszelle und gibt eine präzise Anordnung der Prozesszelle vor.

[0049] Vorzugsweise wird die Prozesszelle am Lampenmodul über ein Mittel zur Fixierung gehalten, vorzugsweise erfolgt dies über magnetische Mittel.

[0050] In der Mantelfläche des Hohlkörpers sind zu mindest 1, vorzugsweise 2 oder mehrere radialverteilte Einlassöffnungen mit vorzugsweise zumindest 70 mm^2 Gesamtquerschnitt vorgesehen, durch die die Prozessgase aus der Prozesskammer in den Hohlkörper der Prozesszelle unterhalb der Lampe bzw. des Lampengehäuses eintreten können.

[0051] Benachbart zu den Einlassöffnungen auf der der Lampe abgewandten Seite ist vorzugsweise ein Mittel vorgesehen, um die eintretenden Prozessgase zu lenken, vorzugsweise in die Mitte des Hohlkörpers, so dass diese direkt in den Strahlengang des Lichtes gelangen. Vorzugsweise ist dieses Mittel ein umlaufender Absatz, so dass im Zentrum Raum bleibt, um die Prozessgase weiter in Richtung Probentisch zu leiten.

[0052] In Richtung des Probentisches wird dieser Raum durch das Zwischenfilterelement begrenzt, das durch Mittel im Innenraum des Hohlkörpers gehalten wird. Diese Mittel können unterschiedlich ausgestaltet sein, wesentlich dabei ist, dass zwischen dem Zwischenfilterelement und der Innenwandung des Hohlkörpers Platz verbleibt, in dem zumindest eine, vorzugsweise zwei oder mehrere Durchgangsöffnungen in Richtung des Probentisches befindlich sind. Vorzugsweise ist dieses Mittel wiederum ein umlaufender Absatz, auf dem das Zwischenfilterelement aufliegt und in dem zumindest eine, vorzugsweise zwei oder mehrere Durchgangsöffnungen mit vorzugsweise zumindest 45 mm^2 Gesamtquerschnitt vorgesehen sind. Durch die axialen Durchgangsöffnungen dringen die Prozessgase weiter bis zum Festkörper vor. Auch hier werden die Prozessgase vorzugsweise durch ein Mittel in Richtung des Festkörpers, also in das Zentrum gelenkt. Vorzugsweise ist dies wiederum ein umlaufender Absatz, der vorzugsweise eine abgeschrägte Seite zur Leitung der Prozessgase aufweist.

[0053] Das Gasführungssystem der Vorrichtung ist vorzugsweise derart ausgebildet, dass die Zusammensetzung des oder der Prozessgase, deren Druck und deren Temperatur vor und während des Verfahrens steuerbar ist, wobei die Prozessgase in die bzw. aus der Prozesskammer zu- bzw. abgeführt werden.

[0054] Dazu weist das Gasführungssystem verschiedene Mittel, wie vorzugsweise Mischeinrichtungen, Gas-

flussmesser, Wärmetauscher, Ventile, Pumpen und der gleichen auf.

[0055] Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform weist das Gasführungssystem einen Anschluss für eine oder mehrere Analyseeinrichtungen, vorzugsweise eines Spektralphotometers und Restgasanalysators (RGA) zur Analyse der Reaktionsprodukte bei der Optimierung der Reinigungs- und Dünnschichtabscheidungsprozesse in der Reaktionskammer/-zelle des Gerätes auf.

[0056] Vorzugsweise weist das Gasführungssystem Gasflussmesser auf, mit denen die Flüsse von jedem Prozessgas separat sowie der Ablassfluss einstellbar sind. Vorzugsweise liegen die Gasflüsse im Bereich von 15 0,2 bis 15 Umin. Eine Optimierung des Gasflusses und der Wiederholungsrate des Lichtpulses erfolgt in Abhängigkeit vom Ozongehalt im abgeleiteten Prozessgas. Bei der Optimierung können auch der Gasdruck und der Arbeitsabstand zwischen der Lampe und dem Festkörper angepasst werden.

[0057] Die Prozessgase werden vorzugsweise nach der Prozesskammer über Gasflussmesser entweder mit Hilfe einer Saugdüse abgesaugt oder frei abgelassen.

[0058] Vorzugsweise kann mit Ventilen, vorzugsweise Nadelventilen, und der Saugdüse der Druck in der Prozesskammer eingestellt werden.

[0059] Eine Spül-/Schildgasmischung (1/1, z. B. O₂/N₂ oder O₂/Ar) mit einem Durchfluss von bis ca. 15 L/min kann mit dem Öffnen der Einzelgasventile der unterschiedlichen Prozessgase direkt an den Anschluss der Prozesskammer zur deren Spülung und zum Schutz der Probe geleitet werden.

[0060] Das Einleiten der Prozessgase dauert von ein paar Sekunden (zum Schutz der Probe während der Ein- und Ausschleusung / Anordnung und Entnahme) bis mehreren Stunden (Spülung). Die Dauer der Schildgasströmung kann auf z. B. 2 min mit einem geeigneten Mittel, beispielsweise mittels eines Zeitrelais beschränkt werden, um im Fall der Ausschleusung/Entnahme der Probe die Hände frei zu haben.

[0061] Die Vorrichtung weist vorzugsweise Mittel zur Steuerung der einzelnen Komponenten der Vorrichtung auf, die manuell oder auch durch eine rechnergestützte Steuereinrichtung bedient werden können.

[0062] Besonders vorteilhaft ist dabei die Steuerung in Abhängigkeit von den Ergebnissen einer Spektralanalyse der Lichtabsorption in der Abgasleitung und/oder einer Restgasanalyse mit z. B. einem Quadrupolmassenspektrometer, also der Prozessgase sowie der Desorptions- und Reaktionsprodukte, die aus der Prozesskammer abgeleitet werden. Anhand der Zusammensetzung des Abgases kann eine Zusammensetzung der obersten Probenbeschicht analysiert, das Verfahren optimiert und auch ein Ende des Reinigungs- und/oder Hydrophilsierungs-vorganges bestimmt werden.

[0063] Weiterhin dient die Steuereinrichtung zur Steuerung des Gasführungssystems und der Lampe, um ein auf den entsprechenden Festkörper ausgerichtetes Vor-

gehen beim Verfahren zu gewährleisten.

[0064] Vorzugsweise verfügt die Vorrichtung über ein Stativ, an dem das Lampenmodul und der Probentisch angeordnet sind und das derart ausgebildet ist, den Abstand zwischen dem Lampenmodul und dem Probentisch zu variieren. Vorzugsweise liegt der einstellbare Arbeitsabstand, d. h. der Abstand zwischen der Lampe und der Probe zwischen 1 und 25 mm.

[0065] Bei dem angegebenen Arbeitsbereich liegt der Kammerbalg stets dichtend am Lampenmodul, an dem der Kammerbalg vorzugsweise festgelegt ist, und dem Probentisch an.

[0066] Der Arbeitsbereich ist jedoch nicht durch das Stativ limitiert, sondern durch den elastischen Kammerbalg, der natürlich durch eine entsprechende Ausbildung der Geometrie angepasst werden kann.

[0067] Der gesamte Einstellbereich des Stavts, der größer als der Arbeitsbereich ist, ermöglicht eine Anordnung und Entnahme des Festkörpers vom Probentisch und/oder der Prozesszelle, da dafür der Abstand derart vergrößerbar ist, dass sich der Kammerbalg vom Probentisch abhebt und der Festkörper bzw. Prozesszelle zugänglich sind.

[0068] Die Vorrichtung weist verschiedene Mittel auf, die dem Fachmann grundsätzlich bekannt sind und die dieser auswählt, um vorbeschriebene Vorrichtung mit den erforderlichen Funktionen bereitzustellen und das Verfahren auszuführen.

[0069] Die erfindungsgemäße Vorrichtung und das Verfahren lassen sich vorteilhafterweise in vielfältiger Weise einsetzen, so beispielsweise zur Reinigung eines Si-Substrates vor dessen Rotationsbeschichtung oder Beladung mit Dünnschnitten, zur Hydrophilisierung von Quantifoil-TEM-Grids und zur Reinigung/Hydrophilisierung eines Messers für Ultramikrotomie.

[0070] Die verschiedenen in dieser Anmeldung genannten Ausführungsformen sind, sofern im Einzelfall nicht anders ausgeführt, mit Vorteil miteinander kombinierbar, wobei die Erfindung durch die Ansprüche beschränkt wird.

[0071] Die Erfindung wird nachfolgend anhand einer Zeichnung näher erläutert. Es zeigt

Figur 1 eine Prozesskammer der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur submolekularen Trockenreinigung.

[0072] In Figur 1 ist eine Prozesskammer 10 für eine erfindungsgemäße, ansonsten nicht dargestellte Vorrichtung, gezeigt. Die Prozesskammer 10 ist zwischen einem Lampenmodul 12 und einem Probentisch 14 ausgebildet und durch einen elastischen Kammerbalg 16, vorzugsweise aus Silicon, gegenüber der Umgebung abgegrenzt und abgedichtet. Das Lampenmodul 12 weist zwei Gaseinlässe 13 für Prozessgase (Gasströme sind durch Pfeile dargestellt) auf, die vor dem Einleiten in die Prozesskammer 10 gemischt und temperiert werden.

[0073] Im Inneren der Prozesskammer 10 ist eine Pro-

zesszelle 18, die aus einem zylindrischen Hohlkörper 20 ausgebildet ist, angeordnet. In der Prozesszelle 18 ist der zu behandelnde Festkörper 22 auf dem Probentisch 14 liegend angeordnet. Der zylindrische Hohlkörper 20 weist an beiden Enden, die zum Lampenmodul 12 bzw. dem Probentisch 14 ausgerichtet sind, jeweils einen Flansch 24 auf, um einen sicheren Stand und eine sichere Abstützung ohne Verkanten gegenüber dem Lampenmodul 12 und dem Probentisch 14 zu gewährleisten.

[0074] An dem Lampenmodul 12 ist eine Lampe 26, vorzugsweise eine Xe-Blitzlampe, die in einem zylindrischen Lampengehäuse 28 angeordnet ist, vorgesehen, wobei der Durchmesser des Lampengehäuses 28 dem Innendurchmesser des zylindrischen Hohlkörpers 20 entspricht, so dass sich das Lampengehäuse 28 in den zylindrischen Hohlkörper 20 erstreckt. Zur Erleichterung der Montage bzw. der Demontage der Prozesszelle 18 in der Prozesskammer 10 wird die Prozesszelle 18 am Lampenmodul 12 über magnetische Mittel 19 gehalten. Die Positionierung der Prozesszelle 18 erfolgt durch das Aufschieben auf das Lampengehäuse 28. So kann die Prozesszelle 18 ohne Werkzeug leicht positioniert und wieder aus der Prozesskammer 10 entfernt werden.

[0075] Die Lampe 26 weist zwei Elektroden 30 auf, zwischen denen die Blitzentladung 32 erfolgt. Auf der zum Lampenmodul 12 gewandten Seite der Lampe 26 ist ein Reflektor 34 angeordnet, so dass das erzeugte Licht 36 (angedeutet durch Pfeile) entweder direkt oder durch Reflexion in Richtung des Probentischs 14 geleitet wird. Im Lampengehäuse 28 ist in Richtung des Probentischs 14 zum Austritt des Lichts 36 eine Austrittsöffnung 38 vorgesehen, die mit einem Fenster 39 aus MgF₂ verschlossen ist, um den Spektralbereich der Lampenemission ab 120 nm zu leisten.

[0076] Der zylindrische Hohlkörper 20 weist in seiner Mantelfläche unterhalb des Lampengehäuses 28 Einlassöffnungen 40 für die Prozessgase auf, die aus der Prozesskammer 10 in den Innenraum der Prozesszelle 18 eintreten. In Richtung des Probentischs 14 sind im Inneren der Prozesszelle 18 bzw. im zylindrischen Hohlkörper 20 drei zueinander beabstandet umlaufende Absätze 42, 44, 46 ausgebildet, wobei lediglich im Bereich der Absätze 42, 44, 46 der Innendurchmesser des Hohlkörpers 20 verringert ist.

[0077] Der erste Absatz 42 ist in Richtung des Probentischs 14 unterhalb der Einlassöffnungen 40 angeordnet, so dass die durch die Einlassöffnungen 40 einströmenden Prozessgase zur Mitte, d. h. in den Bereich unterhalb der Austrittsöffnung 38 für das Licht 36 geführt. Der durch den ersten Absatz 42 verringerte Innendurchmesser entspricht dem Durchmesser der Austrittsöffnung 38 für das Licht 36. Unterhalb des ersten Absatzes 42 wird der Raum für die eintretenden Prozessgase durch ein Zwischenfilterelement 48 begrenzt, das mit seinem Rand auf dem zweiten Absatz 44 aufliegt. In dem zweiten Absatz 44 sind zwischen der Innenwandung des zylindrischen Hohlkörpers 20 und dem Zwischenfilterelement 48, d. h. dem Bereich des zweiten Absatzes 44, der nicht

vom Zwischenfilterelement 48 überdeckt wird, Durchgangsöffnungen 50 vorgesehen, die die Prozessgase weiter in Richtung des Festkörpers 22 auf dem Probentisch 14 führen. Dazu treffen die Prozessgase nach dem Durchtritt durch die Durchgangsöffnungen 50 senkrecht auf den dritten Absatz 46, dessen zum zweiten Absatz gewandte Seite angeschrägt ausgebildet ist. Durch diese Anschrägung des dritten Absatzes 46 werden die Prozessgase in die Mitte der Prozesszelle 18 geführt und treffen dadurch auf den Festkörper 22. Unterhalb des dritten Absatzes 46 gelangen die Prozessgase nach Überstreichen des Festkörpers 22 zu im Probentisch 14 vorgesehenen Auslassöffnungen 52, durch die die Prozessgase aus der Prozesskammer 10 abgeleitet werden und vorzugsweise hier nicht dargestellten analytischen Einrichtungen zur Bestimmung der Zusammensetzung der abgeleiteten Prozessgase mit Desorptions- und Reaktionsprodukten zugeführt werden.

[0078] Der Reinigungsvorgang erfolgt in der oben beschriebenen Reinigungskammer im Detail wie folgt.

[0079] Molekularer Sauerstoff (O_2) (Bestandteil der Prozessgasmischung) wird mittels harter VUV-Strahlung 36, die von der Xe-Blitzlampe 26 erzeugt wird, innerhalb der Prozesszelle 18 in atomaren Sauerstoff aufgespalten.

[0080] Der atomare Sauerstoff (O) reagiert in dem Bereich der Prozesszelle 18 zwischen dem Fenster 39 und dem Zwischenfilterelement 48 schnell mit anderen Sauerstoffmolekülen und mit Stickstoff (Bestandteil der Prozessgase) als dritten Stoßpartner und bildet Ozon-Moleküle (O_3).

[0081] Das Ozon verlässt zusammen mit den anderen Bestandteilen des Prozessgases diesen Bereich und gelangt durch die Durchgangsöffnungen 50 im dritten Absatz 46 rund um das Zwischenfilterelement 48. Das Zwischenfilterelement 48, beispielsweise aus Quarz oder Saphir, lässt hauptsächlich nur die UV-Strahlung, d. h. ab 160 nm oder 210 nm durch, um den Festkörper 22, der eine empfindliche organische Probe sein kann, nicht direkt mit der harten VUV-Strahlung zu schädigen.

[0082] Das Zwischenfilterelement 48 beschränkt die Höhe des Bereichs zwischen dem Fenster 39 und dem Zwischenfilterelement 48, beispielsweise auf ca. 3 bis 5 mm. Dadurch bietet dieser Bereich beispielsweise Raum für ca. 2 mL Prozessgas zur Ionisierung und ermöglicht somit eine effektive Ionisierung des Prozessgases und eine Abschwächung der harten VUV-Strahlung bei einem Gasfluss von beispielsweise 0,5 bis 5 L/min und beispielsweise einer Blitzwiederholungsrate von 5 bis 50 Hz.

[0083] Für eine Optimierung des Verfahrens kann das Material des Zwischenfilterelements 48 beispielsweise zwischen MgF_2 , Quarz, Saphir oder auch einem Bandpassfilter (210 bis 300 nm) gewählt werden.

[0084] Die von dem Zwischenfilterelement 48 durchgelassene UV-Strahlung wird in dem vorbeschriebenen Bereich die Ozon-Moleküle aufspalten. Dadurch entstehende Sauerstoffradikale oxidieren die Verunreinigun-

gen auf der Oberfläche des Festkörpers 22.

[0085] Harte Proben verschiedener Geometrie werden in der Prozesskammer auch ohne die Prozesszelle gereinigt. Die Prozesszelle 18 wird nur bei der Reinigung empfindlicher organischen Proben sowie bei der UV-Licht-stimulierten Abscheidung organischer Dünnsschichten verwendet.

[0086] Die einzelnen Merkmale der voranstehend beschriebenen Ausführungsform der Prozesskammer bzw. des Lampenmoduls können mit den Merkmalen der Vorrichtung in der allgemeinen Beschreibung kombiniert und skaliert werden und sind nicht auf die konkrete in der Figurenbeschreibung beschriebene Ausführungsform beschränkt.

15

Patentansprüche

- 20 1. Vorrichtung (100) zur submolekularen Trockenreinigung und/oder Hydrophilisierung der Oberfläche von Festkörpern aufweisend eine gegenüber der Umgebung gasdicht abgeschlossene oder abschließbare Prozesskammer (10) zur Aufnahme eines Festkörpers (22), eine Lampe (26) mit einem Spektralbereich von 120 bis 800 nm, die eingerichtet ist, in die Prozesskammer (10) einzustrahlen, und ein Gasführungssystem, das zur Zu- und Ableitung von einem oder mehreren Prozessgasen in die und aus der Prozesskammer (10) eingerichtet ist, wobei zumindest ein Zwischenfilterelement (48) zwischen Lampe (26) und Festkörper (22) im Strahlungsgang der Lampe (26) angeordnet ist, das ausgewählt ist, aus nachfolgender Gruppe: MgF_2 , Quarz, Saphir und Bandpassfilter, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (100) über eine Prozesszelle (18) verfügt, die in der Prozesskammer (10) und zwischen einem Lampenmodul (12) und einem Probentisch (14) angeordnet ist, wobei die Prozesszelle (18) ausgebildet ist, die Prozessgase zu führen und zur Halterung des zumindest einen Zwischenfilterelements (48), und wobei die Prozesszelle (18) durch das zumindest eine Zwischenfilterelement (48) in zwei Bereiche geteilt ist, die gasleitend miteinander verbunden sind.
- 25 2. Vorrichtung (100) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gasführungssystem ausgebildet ist, Zusammensetzung, Fluss, Druck und Temperatur des einen oder der mehreren Prozessgase in der Prozesskammer (10) zu steuern.
- 30 3. Vorrichtung (100) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lampe (26) gepulst oder kontinuierlich Licht abstrahlt.
- 35 4. Vorrichtung (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lampe (26) eine Xe-Lampe ist, deren Strahlung vor-
- 40
- 45
- 50
- 55

zugsweise gepulst ist.

5. Vorrichtung (100) nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Pulsdauer zwischen 1 und 8 μs liegt, vorzugsweise zwischen 2 und 4 μs liegt, und/oder eine Pulsenergie im Bereich von 0.08 bis 0.5 J aufweist und/oder eine Pulswiederholungsrate im Bereich von 1 bis 250 Hz aufweist. 5
 6. Vorrichtung (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Prozesskammer (10) zwischen einem Lampenmodul (12), in dem die Lampe (26) angeordnet ist, und einem Probentisch (14) zur Aufnahme des Festkörpers (22) ausgebildet ist, wobei die Prozesskammer (10) mittels eines flexiblen Kammerbalgs (16), der an dem Lampenmodul (12) und dem Probentisch (14) dichtend anliegt, gegenüber der Umgebung abdichtbar ist. 10 15
 7. Vorrichtung (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gasführungssystem mit einer Analyseeinrichtung verbunden ist, um die aus der Prozesskammer (10) abgeleiteten Prozessgase, Reaktanten und Produkte zu bestimmen. 20 25
 8. Vorrichtung (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung über eine Steuereinrichtung verfügt. 30
 9. Vorrichtung (100) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Prozesszelle (18) aus einem Hohlkörper (20) ausgebildet ist, dass die Prozesszelle (18) in einer Mantelfläche unterhalb des Lampengehäuses (28) zumindest eine, vorzugsweise zwei oder mehr Einlassöffnungen (40) aufweist, dass im Inneren der Prozesszelle (18) drei zueinander beabstandet umlaufende Absätze (42, 44, 46) ausgebildet sind, dass der erste Absatz (42) ist in Richtung des Probentischs (14) unterhalb der Einlassöffnungen (40) angeordnet, dass unterhalb des ersten Absatzes (42) das Zwischenfilterelement (48) vorgesehen ist, das mit seinem Rand auf dem zweiten Absatz (44) aufliegt, wobei in dem zweiten Absatz (44) zwischen der Innenwandung des zylindrischen Hohlkörpers (20) und dem Zwischenfilterelement (48) zumindest eine, vorzugsweise zwei oder mehr Durchgangsöffnungen (50) vorgesehen sind. 35 40 45
 10. Verfahren zur Reinigung und/oder zur Hydrophilisierung der Oberfläche von Festkörpern aufweisend die nachfolgenden Schritte in der angegebenen Reihenfolge: 50 55
- Bereitstellen des Festkörpers (22),
Herstellen einer den Festkörper (22) umgebenden Gasatmosphäre aus Sauerstoff und Stick-

stoff sowie optional Wasserdampf, Aufrechterhalten der Gasatmosphäre während des nachfolgenden Verfahrensschritts Bestrahlung der Gasatmosphäre mit Licht im Spektralbereich von 120 bis 800 nm und des zu reinigenden Festkörpers (22), wobei das Licht vor Auftreffen auf den Festkörper (22) durch ein Zwischenfilterelement (48) geleitet wird, das aus MgF₂, Quarz, Saphir oder einem Bandpassfilter besteht, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einem ersten Bereich zwischen einer Lampe (26) und dem Zwischenfilterelement (48) der molekulare Sauerstoff durch harte Vakuum-Ultraviolette-Strahlung mit einer Wellenlänge zwischen 120 bis 196 nm, in atomaren Sauerstoff aufgespalten wird, der mit anderen Sauerstoffmolekülen und Stickstoff oder einem anderen als dritten Stoßpartner fungierendem Gas Ozon-Moleküle bildet, die in einen zweiten Bereich zwischen dem Zwischenfilterelement (48) und dem Festkörper geleitet werden, wobei das Zwischenfilterelement (48) aus MgF₂ für Strahlung ab 120 nm durchlässig ist, oder das Zwischenfilterelement (48) aus Quarz für Strahlung ab 160 nm durchlässig ist, oder das Zwischenfilterelement (48) aus Saphir für Strahlung ab 210 nm durchlässig ist, oder das Zwischenfilterelement (48) aus einem Bandpassfilter für Strahlung zwischen 210 bis 300 nm durchlässig ist.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** während des Aufrechterhaltens der Gasatmosphäre eine Zuleitung und Ableitung der Prozessgase erfolgt, wobei die abgeleiteten Prozessgase sowie die Ablations-/Oxidationsprodukte optional hinsichtlich der Zusammensetzung analysiert werden und optional das Verfahren in Abhängigkeit der festgestellten Zusammensetzung geführt/optimiert wird.

Claims

1. An apparatus (100) for submolecular dry cleaning and/or hydrophilization of the surface of solids comprising: a process chamber (10) which is gas-tightly closed or closable with respect to the environment and is intended for receiving a solid (22); a lamp (26) which has a spectral range from 120 to 800 nm and which is configured to irradiate the process chamber (10); and a gas guiding system which is configured to supply and discharge one or more process gases into and out of the process chamber (10), wherein at least one intermediate filter element (48) being arranged between the lamp (26) and the solid (22) in the irradiation path of the lamp (26), said intermediate filter element (48) being selected from the following group: MgF₂, quartz, sapphire and a bass-

pass filter, **characterized in that** the apparatus (100) has a process cell (18) arranged in the process chamber (10) and between a lamp module (12) and a sample table (14), said process cell (18) being formed to guide the process gases and to hold the at least one intermediate filter element (48), and wherein the process cell (18) is divided by the at least one intermediate filter element (48) into two regions which are interconnected so as to transmit gases.

2. The apparatus (100) according to Claim 1, **characterized in that** the gas guiding system is formed to control the composition, flow, pressure and temperature of the one or more process gases in the process chamber (10).
3. The apparatus (100) according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the lamp (26) radiates light in a pulsed or continuous manner.
4. The apparatus (100) according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the lamp (26) is a Xe lamp which radiates light preferably in a pulsed manner.
5. The apparatus (100) according to Claim 3 or 4, **characterized in that** the pulse duration is between 1 and 8 μ s, preferably between 2 and 4 μ s, and/or has a pulse energy in the range of 0.08 to 0.5 J and/or a pulse repetition rate in the range of 1 to 250 Hz.
6. The apparatus (100) according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the process chamber (10) is arranged between a lamp module (12), in which the lamp (26) is arranged, and a sample table (14) formed to receive the solid (22), the process chamber (10) being sealable with respect to the environment by means of a flexible chamber bellows (16) which sealingly rests against the lamp module (12) and the sample table (14).
7. The apparatus (100) according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the gas guiding system is connected to an analysis device in order to determine the process gases, reactants and products discharged from the process chamber (10).
8. The apparatus (100) according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the apparatus has a control device.
9. The apparatus (100) according to Claim 1, **characterized in that**: the process cell (18) is formed of a hollow body (20); the process cell (18) comprises at least one, preferably two or more inlet openings (40) in a peripheral surface below the lamp housing (28); three peripheral steps (42, 44, 46) that are spaced apart are formed inside the process cell (18); the first

step (42) is arranged below the inlet openings (40) in the direction of the sample table (14); the intermediate filter element (48) is provided below the first step (42), said intermediate filter element resting by the edge thereof on the second step (44), with at least one, preferably two or more through-openings (50) being provided in the second step (44) between the inner wall of the cylindrical hollow body (20) and the intermediate filter element (48).

10. A method for cleaning and/or hydrophilising the surface of solids, comprising the following steps in the following order:
 - 15 providing the solid (22);
 - producing a gas atmosphere which surrounds the solid (22) and consists of oxygen, nitrogen and optionally water vapor,
 - 20 maintaining the gas atmosphere during the subsequent method step of irradiating the gas atmosphere and the to-be-cleaned solid (22) with light in the spectral range of 120 to 800 nm, the light passing through an intermediate filter element (48) before striking the solid (22), said intermediate filter element (48) consisting of MgF₂, quartz, sapphire or a band-pass filter, **characterized in that**
 - 25 in a first region between a lamp (26) and the intermediate filter element (48), the molecular oxygen is split into atomic oxygen by hard vacuum ultraviolet radiation at a wavelength of between 120 and 196 nm, said atomic oxygen forming ozone molecules with other oxygen molecules and nitrogen or another gas acting as a third collision partner, said ozone molecules being guided into a second region between the intermediate filter element (48) and the solid, wherein the intermediate filter element (48) consisting of MgF₂ is permeable to radiation from 120 nm, or
 - 30 the intermediate filter element (48) consisting of quartz is permeable to radiation from 160 nm, or the intermediate filter element (48) consisting of sapphire is permeable to radiation from 210 nm, or the intermediate filter element (48) consisting of a band-pass filter is permeable to radiation between 210 and 300 nm.
 - 35
 - 40
 - 45
 - 50
 - 55
11. The method according to Claim 10, **characterized in that**, during the maintenance of the gas atmosphere, the process gases are supplied and discharged, wherein the discharged process gases and the ablation/oxidation products are optionally analyzed with regard to their composition, and the method is optionally guided/optimized on the basis of the determined composition.

Revendications

1. Dispositif (100) pour le nettoyage à sec sous-moléculaire et/ou l'hydrophilisation de la surface de corps solides, présentant une chambre de traitement (10) fermée ou pouvant être fermée de manière étanche au gaz par rapport à l'environnement pour l'accueil d'un corps solide (22), une lampe (26) avec un domaine spectral de 120 à 800 nm, laquelle est conçue pour émettre un rayonnement dans la chambre de traitement (10), et un système de guidage de gaz qui est conçu pour l'amenée dans la chambre de traitement (10), et l'évacuation hors de celle-ci, d'un ou plusieurs gaz de traitement, au moins un élément filtrant intermédiaire (48) étant disposé dans le trajet de rayonnement de la lampe (26) entre la lampe (26) et le corps solide (22), lequel élément est sélectionné parmi le groupe suivant : MgF₂, quartz, saphir et filtre passe-bande, **caractérisé en ce que** le dispositif (100) dispose d'une cellule de traitement (18) qui est disposée dans la chambre de traitement (10) et entre un module de lampe (12) et une table d'échantillons (14), la cellule de traitement (18) étant formée pour guider les gaz de traitement et pour le support de l'au moins un élément filtrant intermédiaire (48), et la cellule de traitement (18) étant divisée en deux zones par l'au moins un élément filtrant intermédiaire (48), lesquelles sont reliées par conduction de gaz entre elles.
- 5
2. Dispositif (100) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le système de guidage de gaz est formé pour piloter la composition, le flux, la pression et la température de l'un ou plusieurs gaz de traitement dans la chambre de traitement (10).
- 10
3. Dispositif (100) selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la lampe (26) émet de la lumière de façon pulsée ou continue.
- 15
4. Dispositif (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la lampe (26) est une lampe Xe, dont le rayonnement est de préférence pulsé.
- 20
5. Dispositif (100) selon la revendication 3 ou 4, **caractérisé en ce que** la durée de pulsation est entre 1 et 8 µs, de préférence entre 2 et 4 µs, et/ou présente une énergie d'impulsion dans la plage de 0,08 à 0,5 J et/ou présente un taux de répétition d'impulsion dans la plage de 1 à 250 Hz.
- 25
6. Dispositif (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la chambre de traitement (10) est formée entre un module de lampe (12) dans lequel la lampe (26) est disposée, et une table d'échantillons (14) pour l'accueil du corps solide (22), la chambre de traitement
- 30
- (10) pouvant être rendue étanche par rapport à l'environnement au moyen d'un soufflet de chambre (16) souple, lequel est en contact de façon étanche avec le module de lampe (12) et la table d'échantillons (14).
- 35
7. Dispositif (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le système de guidage de gaz est raccordé à une installation d'analyse afin d'identifier les gaz de traitement, les réactifs et les produits évacués hors de la chambre de traitement (10).
- 40
8. Dispositif (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le dispositif dispose d'une installation de commande.
- 45
9. Dispositif (100) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la cellule de traitement (18) se compose d'un corps creux (20), **en ce que** la cellule de traitement (18) présente au moins une, de préférence deux ou plusieurs ouvertures d'admission (40) dans une surface d'enveloppe sous le boîtier de lampe (28), **en ce que** trois talons (42, 44, 46) circonférentiels à distance les uns des autres sont formés à l'intérieur de la cellule de traitement (18), **en ce que** le premier talon (42) est disposé dans la direction de la table d'échantillons (14) sous les ouvertures d'admission (40), **en ce que** l'élément filtrant intermédiaire (48) est prévu sous le premier talon (42), le bord dudit élément reposant sur le deuxième talon (44), au moins une, de préférence deux ou plusieurs ouvertures de passage (50) étant prévues dans le deuxième talon (44) entre la paroi intérieure du corps creux (20) cylindrique et l'élément filtrant intermédiaire (48).
- 50
10. Procédé pour le nettoyage et/ou l'hydrophilisation de la surface de corps solides, présentant les étapes suivantes dans l'ordre indiqué :
- fourniture du corps solide (22),
réalisation d'une atmosphère gazeuse d'oxygène et d'azote ainsi que facultativement de vapeur d'eau, environnant le corps solide (22),
maintien de l'atmosphère gazeuse pendant l'étape de procédé suivante,
irradiation de l'atmosphère gazeuse et du corps solide devant être nettoyé (22) avec de la lumière dans le domaine spectral de 120 à 800 nm, la lumière étant conduite entre un élément filtrant intermédiaire (48) avant d'atteindre le corps solide (22), lequel élément se compose de MgF₂, de quartz, de saphir ou d'un filtre passe-bande, **caractérisé en ce que** l'oxygène moléculaire est divisé en oxygène atomique par rayonnement VUV dur avec une longueur d'onde entre 120 et 196 nm dans une première zone
- 55

entre une lampe (26) et l'élément filtrant intermédiaire (48), lequel oxygène atomique forme des molécules d'ozone avec d'autres molécules d'oxygène et de l'azote ou un autre gaz servant de troisième partenaire de choc, lesquelles molécules d'ozone sont conduites dans une deuxième zone entre l'élément filtrant intermédiaire (48) et le corps solide, l'élément filtrant intermédiaire (48) en MgF₂ étant perméable au rayonnement à partir de 120 nm, ou l'élément filtrant intermédiaire (48) en quartz étant perméable au rayonnement à partir de 160 nm, ou l'élément filtrant intermédiaire (48) en saphir étant perméable au rayonnement à partir de 210 nm, ou l'élément filtrant intermédiaire (48) se composant d'un filtre passe-bande étant perméable au rayonnement entre 210 et 300 nm.

11. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce qu'** une amenée et une évacuation des gaz de traitement sont effectuées pendant le maintien de l'atmosphère gazeuse, les gaz de traitement évacués ainsi que les produits d'ablation/d'oxydation étant facultativement analysés relativement à leur composition, et le procédé étant facultativement exécuté/optimisé en fonction de la composition constatée.

30

35

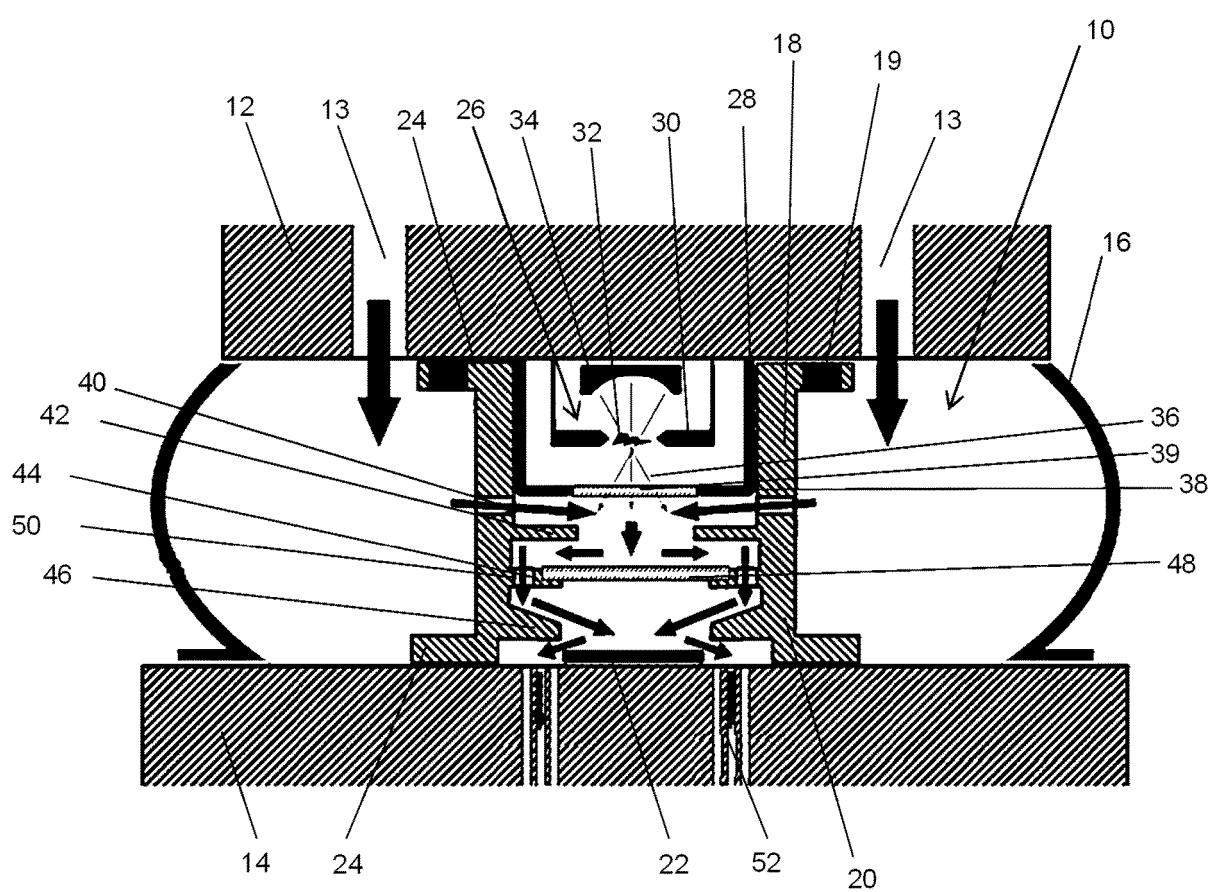
40

45

50

55

11



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- JP S60212226 A [0011]
- EP 2177278 A1 [0011]
- EP 0510503 A2 [0011]
- US 2002129833 A1 [0011]
- US 2012274924 A1 [0011]