(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2012 200 211 A1** 2013.07.11

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 200 211.1**
(22) Anmeldetag: **09.01.2012**
(43) Offenlegungstag: **11.07.2013**

(51) Int Cl.: ***C23C 16/52*** (2012.01)
C23C 14/54 (2012.01)
C23F 4/00 (2012.01)

(71) Anmelder:
Carl Zeiss NTS GmbH, 73447, Oberkochen, DE;
Carl Zeiss SMT GmbH, 73447, Oberkochen, DE

(74) Vertreter:
Kohler Schmid Möbus Patentanwälte, 70565, Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Chung, Hin Yiu Anthony, 89075, Ulm, DE; Aliman, Michel, Dr., 73447, Oberkochen, DE; Fedosenko, Gennady, 73433, Aalen, DE; Ranck, Albrecht, 73431, Aalen, DE; Gorkhover, Leonid, 89075, Ulm, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE	**198 32 566**	**A1**
US	**6 608 318**	**B1**
US	**4 362 936**	**A**
WO	**02/ 000 962**	**A1**
WO	**2007/ 006 298**	**A2**
WO	**2010/ 022 815**	**A1**
WO	**2011/ 027 035**	**A1**

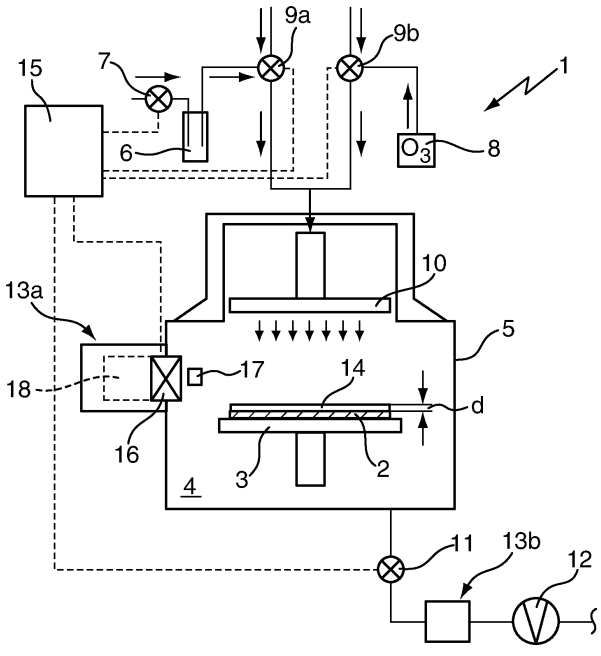
S. A. Lammert et al., Miniature Toroidal Radio Frequency Ion Trap Mass Analyser, In: J. Am. Soc. Mass Spectrom. 2006, 17, Seiten 916 bis 922

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Oberflächenbearbeitung eines Substrates**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (1) zur Oberflächenbearbeitung an einem Substrat (2), beispielsweise zum Aufbringen einer Beschichtung (14) auf das Substrat (2) oder zum Abtragen einer Beschichtung (14) von dem Substrat (2), wobei die Vorrichtung (1) umfasst: eine einen Innenraum (4) umschließende Kammer (5) zur Anordnung des Substrats (2) für die Oberflächenbearbeitung, einen Prozessgasanalysator (13a, 13b) zur Detektion mindestens eines gasförmigen Bestandteils einer in dem Innenraum (4) gebildeten Restgasatmosphäre, wobei der Prozessgasanalysator (13a, 13b) eine Ionenfalle (18) zur Speicherung des zu detektierenden gasförmigen Bestandteils umfasst, sowie eine Ionisierungseinrichtung (17) zur Ionisierung des gasförmigen Bestandteils. Die Erfindung betrifft auch ein zugehöriges Verfahren zum Überwachen einer Oberflächenbearbeitung an einem Substrat (2).



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Oberflächenbearbeitung eines Substrates.

[0002] Für die Durchführung einer Oberflächenbearbeitung an einem Substrat, beispielsweise für das Beschichten eines Substrats durch Abscheidung aus der Gasphase („physical vapour deposition“, PVD, bzw. „chemical vapour deposition“, CVD) oder zum Abtragen einer Beschichtung von dem Substrat, z.B. mittels eines wird das zu bearbeitende (ggf. beschichtete) Substrat typischer Weise in einer Prozess- bzw. Transferkammer angeordnet, in welcher eine Restgasatmosphäre herrscht. Für die Durchführung von Oberflächen-Bearbeitungsprozessen, wie sie beispielsweise in der Halbleiterelektronik bzw. in der Opto-Elektronik benötigt werden, hat es sich als günstig erwiesen, während des Prozesses die Gaszusammensetzung in der Restgasatmosphäre zu überwachen, um Gaszersetzungsvorgänge bzw. Gastransportvorgänge zu beobachten bzw. um eine Kontaminationsüberwachung durchzuführen, um auf diese Weise den Bearbeitungsprozess im Hinblick auf Prozessqualität, Durchlaufzeiten, „Uptime“ und Wirtschaftlichkeit zu optimieren.

[0003] Für eine Restgasanalyse können Quadrupol-Massenspektrometer verwendet werden, bei denen als Ionisierungsquelle ein heißer Glühdraht (auch Filament genannt) verwendet wird, der aus einem Metall, z.B. aus Wolfram, besteht. Diese Art von Massenspektrometer ist jedoch nicht für den direkten Einsatz bei hohen Arbeitsdrücken (z.B. bis 1000 mbar) geeignet bzw. erfordert aufwändige, differentielle Pumpstände. Zudem liegt die Messzeit für einen Scan im Massenbereich von 1 amu bis 200 amu mit einer hohen Empfindlichkeit von z.B. ca. 10^{-13} mbar im Bereich mehrerer Minuten. Auch beinhaltet die Verwendung eines Filaments als Ionisierungsquelle das Risiko eines Durchbrennens des Filaments bei plötzlichen Druckanstiegen (z.B. beim Belüften), verbunden mit Wartungs- bzw. Reparaturzeiten und ggf. einer Verunreinigung der Kammer, in welcher der Heizdraht angeordnet ist, mit Metall-Dampf, der beim Durchbrennen des Filaments erzeugt wird.

Aufgabe der Erfindung

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Oberflächenbearbeitung an einem Substrat bereitzustellen, welche den Nachweis geringer Mengen von Gasbestandteilen in einer Restgasatmosphäre auch bei hohen Restgasdrücken und insbesondere in Echtzeit ermöglichen.

Gegenstand der Erfindung

[0005] Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Vorrichtung zur Oberflächenbearbeitung an einem Substrat, insbesondere zum Aufbringen einer Beschichtung auf das Substrat oder zum (ggf. teilweisen) Abtragen einer Beschichtung von dem Substrat, umfassend: eine einen Innenraum umschließende Kammer zur Anordnung des Substrats bei der Oberflächenbearbeitung, einen Prozessgasanalysator zur Detektion mindestens eines gasförmigen Bestandteils einer in dem Innenraum gebildeten Restgasatmosphäre, wobei der Prozessgasanalysator eine Ionenfalle zur Speicherung des gasförmigen Bestandteils umfasst, sowie eine Ionisierungseinrichtung zur Ionisierung des gasförmigen Bestandteils.

[0006] Im Gegensatz zu den aus dem Stand der Technik bekannten Prozess- bzw. Restgasanalysatoren, bei denen die ionisierten Gasbestandteile nur kurzzeitig die elektromagnetischen Felder des Quadrupol-Massenspektrometers passieren, ohne in diesen Feldern gespeichert zu werden, ist es durch das Vorsehen der Ionenfalle möglich, die Nachweisempfindlichkeit des Prozessgasanalysators zu erhöhen, da der gasförmige Bestandteil für längere Zeit zur Vermessung zur Verfügung steht. Im Gegensatz dazu weisen differentiell gepumpte Quadrupol-Massenspektrometer herkömmlicher Bauart (mit Stabelektroden) im Hinblick auf die Empfindlichkeit und Dynamik erhebliche Nachteile auf, da sie eine serielle Massenfilterung durchführen und Ionen nicht akkumulieren bzw. Ionengruppen nicht gezielt selektieren können.

[0007] In der Ionenfalle bzw. einem an diese angeschlossenen Massenspektrometer kann hingegen zur Detektion des gasförmigen Bestandteils Massenspektrometrie durchgeführt werden, welche auch für Nachweis geringster Konzentrationen von gasförmigen Stoffen geeignet ist. Ionenfallen-Massenspektrometer arbeiten in der Regel diskontinuierlich, d.h. nach einer vorgegebenen Akkumulationszeit kann eine Analyse der Ionenzahl stattfinden. Mit Hilfe von Ionenfallen-Massenspektrometern ist ferner eine mehrfache Wiederholung der Ionen-Anregung und Massenselektion möglich, ohne dass zu diesem Zweck eine weitere Baugruppe benötigt wird. Insbesondere lassen sich in einer Ionenfalle ggf. sowohl eine Akkumulation des zu detektierenden Stoffes als auch eine Separation des zu detektierenden Stoffes von weiteren in der Restgasatmosphäre vorhandenen Stoffen vornehmen, wie weiter unten näher beschrieben wird.

[0008] Die Ionisierungseinrichtung kann in der Ionenfalle selbst angeordnet werden oder als separate Baueinheit ausgebildet sein. Insbesondere kann auch eine Ionisierungseinrichtung verwendet werden, die zur Durchführung der Oberflächenbearbeitung ohnehin bereits in der Vorrichtung vorgesehen ist, so dass auf eine zusätzliche Ionisierungseinrich-

tung verzichtet werden kann. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn bei der plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung das Prozessgas über ein Plasma in der Reaktionskammer ionisiert wird.

[0009] Die Verwendung einer Ionenfalle bzw. eines Ionenfallen-Massenspektrometers zur Detektion von kontaminierenden Stoffen in einer EUV-Lithographieanlage ist zwar aus der WO 2010/022815 A1 der Anmelderin bekannt, das dort beschriebene Verfahren bzw. die dort beschriebene Vorrichtung bezieht sich jedoch ausschließlich auf die Detektion von kontaminierenden Stoffen in einer EUV-Lithographieanlage, nicht jedoch auf die Prozess- bzw. Kontaminationsüberwachung in Anlagen für die Oberflächenbehandlung (Beschichtung bzw. Ätzbehandlung) eines Substrats bzw. von auf diesem aufgebrachten Beschichtungen. Bei der vorliegenden Anwendung kann der Prozessgasanalysator bzw. die Ionenfalle in der (Prozess- bzw. Transfer-)Kammer vorgesehen sein, in der auch das Substrat angeordnet wird, der Prozessgasanalysator kann an diese Kammer angeflanscht sein oder sich ggf. in einer angrenzenden Kammer befinden. Die Ionenfalle kann aber auch in einer Gas-Zuführung oder in einer Gas-Abführung angeordnet sein, durch die z.B. Prozessgase in die Kammer eingeleitet bzw. aus dieser ausgeleitet werden können. Auch ist es möglich, die Ionenfalle in einem Pumpkanal anzuordnen, der zum Evakuieren des Gehäuses bzw. des Innenraums oder zum Abpumpen eines Spül- oder Hintergrundgas dient. Es versteht sich, dass ggf. auch mehr als ein Prozessgasanalysator in der Vorrichtung vorgesehen werden kann.

[0010] Bei einer Ausführungsform ist die Ionisierungseinrichtung ausgebildet, die für die Ionisierung bereitgestellte Energie in Abhängigkeit von dem zu detektierenden gasförmigen Bestandteil einzustellen. Die Möglichkeit einer (im Idealfall kontinuierlichen) Einstellung bzw. Abstimmung der Energie, welche von der Ionisierungseinrichtung bereitgestellt wird, auf den zu detektierenden gasförmigen Bestandteil, genauer gesagt auf dessen Ionisierungsenergie, hat sich als günstig erwiesen, da hierdurch sowohl eine Ionisierung aller Arten von Gasmolekülen (Breitbandionisierung) als auch eine selektive, schmalbandige Ionisierung ausgewählter Moleküle ohne die Ionisierung von Umgebungsmolekülen (z.B. Trägergas) möglich ist. Somit lassen sich ausgewählte Molekülarten (z.B. von kontaminierenden Stoffen, von prozessrelevanten gasförmigen Bestandteilen in der Restgasatmosphäre, z.B. Dotierstoffen, etc.) gezielt mit der Ionenfalle detektieren bzw. überwachen. Zur Einstellung der Ionisierungsenergie kann die Ionisierungseinrichtung bzw. die Vorrichtung eine Steuereinrichtung aufweisen, welche die oben genannte Abstimmung ermöglicht.

[0011] In einer weiteren Ausführungsform ist die Ionisierungseinrichtung ausgewählt aus der Gruppe umfassend: Plasma-Generator, insbesondere Atmosphärendruck-Plasma-Generator, Laser und Feldemissionseinrichtung, insbesondere Elektronenkanone. Die Ionisierung kann in vorteilhafter Weise durch die Erzeugung eines Plasmas, insbesondere eines Atmosphärendruck-Plasmas erfolgen. Zur Erzeugung von Atmospährendruck-Plasmen kann z.B. zwischen zwei Elektroden eine Hochfrequenzentladung gezündet werden, um eine Korona-Entladung zu erzeugen. Auch die Verwendung einer dielektrisch behinderten Hochfrequenzentladung ist möglich. Bei dieser Form der Anregung befindet sich zwischen den Elektroden ein (dünnes) Dielektrikum, das als dielektrische Barriere dient, um ein Plasma in Form einer Vielzahl von Funkenentladungen zu erzeugen und auf diese Weise einen zwischen den Elektroden befindlichen Gasstrom zu ionisieren. Auch die Verwendung einer Plasma-Düse, in der mittels einer Hochfrequenzentladung ein gepulster Lichtbogen erzeugt wird, oder die Verwendung eines Piezo-Materials für die Plasma-Anregung (bei Atmosphärendruck) sind möglich, beispielsweise wie dies in der WO 2007/006298 A2 dargestellt ist. Es versteht sich, dass der Plasma-Generator auch zur Erzeugung bzw. zur Anregung eines Plasmas, insbesondere eines Atmosphärendruck-Plasmas, auf eine andere als die oben beschriebene Weise ausgebildet sein kann. In Abhängigkeit von der Anwendung kann zur Ionisierung auch ein (gepulster) Laser oder eine Elektronenkanone (zur Ionisierung von Gasmolekülen durch Stoßionisation) dienen. Beim Plasma-Generator kann die für die Ionisierung bereitgestellte Energie durch die Einstellung der für die Anregung zur Verfügung gestellten Energie (Spannung sowie ggf. Frequenz) eingestellt werden. Auch der Laser bzw. ein Lasersystem als Ionisierungsquelle kann zur Erzeugung einer abstimmbaren bzw. einstellbaren Laser-Wellenlänge ausgebildet sein, um die für die Ionisierung bereitgestellte Energie zu variieren. Gleiches gilt für die Verwendung einer Feldemissionseinrichtung, insbesondere in Form einer Elektronenkanone zur Erzeugung von gebündelten bzw. gerichteten Elektronenstrahlen, die ebenfalls ausgebildet sein kann, die kinetische Energie der beschleunigten Elektronen einzustellen bzw. zu variieren.

[0012] In einer weiteren Ausführungsform ist die Vorrichtung ausgebildet, eine Oberflächenbehandlung an dem Substrat durchzuführen, die ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend: chemische Gasphasenabscheidung („chemical vapor deposition“, CVD), metallorganische chemische Gasphasenabscheidung („metal organic chemical vapor deposition“, MOCVD), metallorganische Gasphasenepitaxie („metal organic chemical vapor phase epitaxy“, MOVPE), plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung („plasma enhanced chemical vapor deposition“, PECVD), Atomlagenabscheidung („atomic layer deposition“, ALD), physikalische Gasphasen-

abscheidung („physical vapor deposition“, PVD) und Plasma-Ätzprozesse.

[0013] Bei der chemischen Gasphasenabscheidung wird an einer (in der Regel aufgeheizten) Oberfläche eines Substrats aufgrund einer chemischen Reaktion aus der Gasphase ein Feststoff abgeschieden. Bei der metallorganischen chemischen Gasphasenabscheidung erfolgt eine Abscheidung einer festen Schicht eines metallorganischen Präkursors aus der Gasphase. Die metallorganische chemische Gasphasenepitaxie stellt einen Spezialfall der metallorganischen chemischen Gasphasenabscheidung dar, welche zur Herstellung von (ein)kristallinen Schichten auf (in der Regel) kristallinen Substraten dient. Die Abscheidung erfolgt bei den oben beschriebenen Verfahren nicht zwingend im Hoch-Vakuum, sondern bei moderaten Drücken (ggf. bis ca. 1000 mbar). Bei der Atomlagenabscheidung handelt es sich ebenfalls um ein modifiziertes CVD-Verfahren, bei dem in der Regel einkristalline (epitaktische) Schichten abgeschieden werden, wobei ein metallorganischer Präcursor und ein weiterer Reaktionspartner, ggf. ein weiterer Präkursor, abwechselnd in die Reaktionskammer eingelassen werden. Bei den bei der Atomlagenabscheidung verwendeten chemischen Reaktionen handelt es sich in der Regel um so genannte selbst begrenzende Reaktionen, bei denen das Schichtwachstum jeweils auf eine Monolage begrenzt bleibt, was eine präzise Einstellung der Schichtdicke ermöglicht. Bei der PECVD wird die chemische Abscheidung durch ein Plasma unterstützt. Das Plasma dient der Aktivierung (Dissoziation) der Moleküle des Reaktionsgases, um die Schichtabscheidung zu begünstigen bzw. zu bewirken. Das Plasma kann direkt mit dem zu beschichtenden Substrat (Direktplasma-Methode) oder in einer getrennten Kammer (Remote-Plasma-Methode) erzeugt werden. Bei der physikalischen Gasphasenabscheidung erfolgt die Abscheidung aus der Gasphase durch physikalische Prozesse, d.h. es findet keine chemische Reaktion an der zu beschichtenden Oberfläche statt.

[0014] Bei Plasmaätzprozessen handelt es sich um ein materialabtragende bzw. das behandelte Material strukturierende Verfahren. Beim so genannten Plasmaätzen erfolgt der Materialabtrag durch eine chemische Reaktion mit dem abzutragenden Material. Beim so genannten plasmaunterstützten Ätzen, auch als reaktives Ionenätzen (engl. „reactive ion etching“, RIE) bezeichnet, wird die chemische Reaktion durch den Beschuss des abzutragenden Materials mit Ionen verstärkt, da die Ionen die chemischen Bindungen an der behandelten Oberfläche schwächen.

[0015] In einer weiteren Ausführungsform ist die Ionenfalle ausgewählt aus der Gruppe umfassend: Fouriertransformation(FT)-Ionenfalle, insbesondere FT-Ionenzyklotronresonanz-Falle(FT-ICR)-Falle, Penning-Falle, Toroid-Falle, Quadrupol-Ionenfalle, Paul-Falle, lineare Falle, Orbitrap, EBIT und RF-Buncher. Insbesondere die Verwendung einer FT-Ionenfalle ermöglicht die Realisierung schneller Messungen (mit Scanzeiten im Sekundenbereich oder darunter, z.B. im Millisekunden-Bereich). Bei diesem Fallentyp wird der durch die gefangenen Ionen auf den Messelektroden generierte Induktionsstrom zeitabhängig detektiert und verstärkt. Anschließend wird diese Zeitabhängigkeit über eine Fast-Fourier-Transformation in den Frequenzraum überführt und die Massenabhängigkeit der Resonanzfrequenzen der Ionen genutzt, um das Frequenzspektrum in ein Massenspektrum umzuwandeln. Eine Massenspektrometrie mittels einer Fourier-Transformation kann zur Durchführung schneller Messungen grundsätzlich mit unterschiedlichen Typen von Ionenfallen (z.B. mit den oben beschriebenen Typen) durchgeführt werden, wobei die Kombination mit der so genannten Ionenzyklotronresonanz-Falle am gebräuchlichsten ist. Die FT-ICR-Falle stellt eine Abwandlung der Penning-Falle dar, bei der die Ionen in elektrische Wechselfelder und ein statisches Magnetfeld eingeschossen werden. In der FT-ICR-Falle kann mittels Zyklotronresonanzanregung Massenspektrometrie betrieben werden. In einer Abwandlung hiervon kann die Penning-Falle auch mit einem zusätzlichen Puffergas betrieben werden, wobei durch das Puffergas in Kombination mit einer Magnetronanregung mittels eines elektrischen Dipolfeldes und einer Zyklotronanregung mittels eines elektrischen Quardrupolfeldes eine Massenselektion durch räumliche Separation der Ionen erzeugt werden kann, so dass die Penning-Falle auch zur Separation des zu detektierenden Stoffes von anderen Stoffen eingesetzt werden kann. Da das Puffergas bei diesem Fallentyp auf die eingeschlossenen Ionen im Allgemeinen bewegungsdämpfend und somit „kühlend“ wirkt, wird dieser Fallentyp auch als „Kühlerfalle“ bezeichnet. Die so genannte Toroid-Falle ermöglicht gegenüber einer herkömmlichen Quadrupolfalle eine kompaktere Bauweise bei im Wesentlichen identischer Ionen-Speicherkapazität, vgl. z.B. den Artikel „Miniature Toroidal Radio Frequency Ion Trap Mass Analyzer“, von Stephen A. Lammert et al., J. Am. Soc. Mass Spectrom. 2006, 17, Seiten 916 bis 922. Bei der linearen Falle (engl. „linear trap“) handelt es sich um eine Abwandlung der Quadrupol-Falle bzw. Paul-Falle, bei der die Ionen nicht in einem dreidimensionalen Quadrupol-Feld, sondern mittels eines zusätzlichen Randfeldes in einem zweidimensionalen Quadrupol-Feld gehalten werden, um die Speicherkapazität der Ionenfalle zu erhöhen. Die sog. Orbitrap weist eine zentrale, spindelförmige Elektrode auf, um die herum die Ionen durch die elektrische Anziehung auf Kreisbahnen gehalten werden, wobei durch eine dezentrale Injektion der Ionen eine Schwingung entlang der Achse der Zentralelektrode erzeugt wird, die in den Detektorplatten Signale erzeugt, die ähnlich wie bei der FT-ICR-Falle (durch FT) nachgewiesen werden

können. Eine EBIT (Electron Beam Ion Trap – Elektronenstrahl-Ionenfalle) ist eine Ionenfalle, bei der die Ionen durch Stoßionisation mittels einer Ionenkanone erzeugt werden, wobei die auf diese Weise erzeugten Ionen durch den Elektronenstrahl angezogen und von diesem eingefangen werden. Die Ionen können auch in einem RF(„radio frequency"-Hochfrequenz)-Buncher, z.B. einem sog. RFQ(Quadrupol)-Buncher gespeichert werden, siehe z.B. Neumayr, Juergen Benno (2004): „The buffer-gas cell and the extraction RFQ for SHIPTRAP", Dissertation, LMU München: Fakultät für Physik. Es versteht sich, dass neben den oben aufgeführten Fallentypen auch andere Typen von Ionenfallen zur Restgasanalyse verwendet werden können, die ggf. mit einer Auswertung unter Verwendung einer Fourier-Transformation kombiniert werden können.

[0016] Die Ionenfalle kann insbesondere auch zur Detektion des gasförmigen Bestandteils ausgebildet sein. Die Elektroden der Ionenfalle, welche zur Erzeugung eines elektrischen und/ oder magnetischen (Wechsel-)Feldes vorgesehen sind, können in diesem Fall gleichzeitig auch zur Detektion von Ionen mit bestimmten atomaren Massenzahlen dienen, indem die Veränderung des Wechselfeldes aufgrund der in der Ionenfalle vorhandenen Ionen bestimmt wird, wie dies z.B. bei der oben beschriebenen FT-ICR-Falle der Fall ist.

[0017] Bei einer Ausführungsform ist zwischen der Ionisierungseinrichtung und der Ionenfalle eine Ionenoptik angeordnet. Auf diese Weise können die mittels der Ionisierungseinrichtung erzeugten Ionen gebremst bzw. gebündelt werden, bevor sie die Ionenfalle erreichen bzw. in diese eingeleitet werden. Die Ionenoptik kann zu diesem Zweck Felderzeugungseinrichtungen zur Erzeugung von elektrischen und/oder magnetischen Feldern aufweisen, welche eine Ablenkung bzw. Bündelung der Ionen bewirken.

[0018] Bei einer Ausführungsform ist die Ionenfalle ausgebildet, den gasförmigen Bestandteil zu akkumulieren. Durch die Akkumulation während der Speicherzeit kann das Signal-zu-Rausch-Verhältnis des zu untersuchenden gasförmigen Bestandteils gegenüber anderen gasförmigen Bestandteilen bzw. dem übrigen Restgas, das Rauschverhalten und / oder die Nachweisschwelle des in dem Prozessgasanalysator eingesetzten Detektors erhöht werden.

[0019] In einer weiteren Ausführungsform ist die Ionenfalle ausgebildet, den zu detektierenden gasförmigen Bestandteil von anderen gasförmigen Bestandteilen zu isolieren. Zusätzlich oder alternativ zur Akkumulation kann eine Präparation des gasförmigen Bestandteils während der Speicherzeit erfolgen, d.h. der gasförmige Bestandteil kann von den anderen gasförmigen Bestandteilen in der Restgasatmosphäre isoliert und dadurch nachgewiesen werden, ohne dass hierzu zwingend auch eine Akkumulation erforderlich ist. Die Ionenfalle kann hierbei zur (räumlichen) Separation von Ionen unterschiedlicher Massenzahlen eingesetzt werden. Während der Akkumulationsphase können in der Ionenfalle wahlweise alle Ionen gehalten bzw. gespeichert werden oder selektiv einzelne Ionenmassen aus der Ionenfalle entfernt werden. Das selektive Entfernen von Ionen aus der Ionenfalle lässt sich z.B. durch das Anlegen bzw. Erzeugen eines Wechselfeldes bewerkstelligen, welches Ionen mit ausgewählten Massen auf instabile Bahnen lenkt. Durch das selektive Entfernen unerwünschter Ionen bzw. Ionenmassen (z.B. von Trägergas) aus der Ionenfalle kann eine Sättigung der Ionenfalle vermieden und die Messdynamik deutlich erhöht werden.

[0020] Alternativ oder zusätzlich ist es auch möglich, den Prozessgasanalysator mit einem Massenfilter zur Trennung des zu detektierenden gasförmigen Bestandteils von anderen gasförmigen Bestandteilen der Restgasatmosphäre auszustatten. Bei dem Massenfilter kann es sich z.B. um einen herkömmlichen Quadrupol-Filter zur Massentrennung handeln.

[0021] Bei einer weiteren Ausführungsform weist die Vorrichtung zur Akkumulation des gasförmigen Bestandteils ein gasbindendes Material auf. Das gasbindende Material kann ein Absorber oder ein Filter sein, der bzw. das passiv den zu detektierenden gasförmigen Bestandteil aufnimmt. Der gasförmige Bestandteil bzw. dessen Zersetzungsprodukte, d.h. Molekülfragmente des nachzuweisenden Bestandteils bzw. Stoffes, können durch stimulierte Desorption (thermisch oder durch Bestrahlung) aus dem gasbindenden Material freigesetzt werden, um dann als starke Ausgasung analysiert zu werden. Das gasbindende Material kann zyklisch z.B. bei hoher Temperatur regeneriert werden (in einem separaten (Vakuum)Bereich). Es versteht sich, dass das gasbindende Material auch gekühlt werden kann, um die Akkumulation zu beschleunigen. Das gasbindende Material kann in der Ionenfalle selbst oder in einer separaten Kammer angeordnet sein. Die Ionisierung des akkumulierten Gasbestandteils kann ebenfalls in der Ionenfalle selbst oder in der separaten Kammer erfolgen, bevor dieser Gasbestandteil der Ionenfalle zugeführt wird.

[0022] Die Vorrichtung kann insbesondere auch eine Pumpeinrichtung zum Pumpen des zu detektierenden Gasbestandteils durch das gasbindende Material aufweisen. In diesem Fall erfolgt eine aktive Akkumulation, indem das Restgas durch das gasbindende Material als Filter geleitet wird, wobei das gasbindende Material bevorzugt eine große Oberfläche aufweist und insbesondere porös ist. Eine Klasse von Materialien, welche diese Anforderungen erfüllt, stellen z.B. Zeolithe dar.

[0023] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die Vorrichtung eine Kühleinheit zur Kühlung einer Oberfläche zum Ausfrieren oder Kondensieren des gasförmigen Bestandteils und bevorzugt eine Heizeinheit oder eine Bestrahlungseinrichtung zur Bestrahlung der Oberfläche mit Licht oder mit Elektronenstrahlen für die nachfolgende Desorption des gasförmigen Bestandteils von der Oberfläche auf. Auf diese Weise kann eine thermische Akkumulation des zu detektierenden Stoffes stattfinden, wobei durch ein schnelles Auftauen bzw. Abdampfen des zu detektierenden Stoffes mittels der Heizeinheit nebst anschließender temperaturgesteuerter Desorption der abgedampften oder zersetzten Spezies (Molekülfragmenten) eine Detektion erfolgen kann. Die Heiz-/Kühleinheit kann in die Ionenfalle integriert werden, wobei in diesem Fall die Ionisierung des akkumulierten Stoffes in der Ionenfalle stattfinden muss.

[0024] Alternativ kann die Heiz-/Kühleinheit in einer separaten Kammer angeordnet sein, in welcher der akkumulierte Gasbestandteil zunächst ionisiert wird, bevor dieser der Ionenfalle zugeführt wird.

[0025] Durch das Auftauen eines Kühlfingers kann z.B. eine gezielt ausgefrorene bzw. kondensierte Gasspezies schnell desorbiert werden, was einen um Größenordnungen höheren Partialdruck erzeugt als derjenige Partialdruck, der bei normaler Restgasdichte bezüglich des nachzuweisenden Stoffes in der Restgasatmosphäre herrscht. Neben dem Auftauen des Kühlfingers ist es auch möglich, diesen mittels einer Bestrahlungseinrichtung zu bestrahlen, beispielsweise mit einer Elektronenkanone (E-Gun) oder mit einem Laser, um die kondensierten bzw. ausgefrorenen Stoffe zur Detektion in die Gasphase zu transferieren. Bei der Bestrahlungswellenlänge kann es sich z.B. um UV-Licht oder um Infrarotlicht, ggf. auch um Licht im sichtbaren Spektralbereich handeln.

[0026] Insbesondere können die Kühleinheit und/oder die Heizeinheit auch mit einer Steuerungseinrichtung zur Temperatureinstellung der Oberfläche verbunden werden. Die Steuerungsseinrichtung kann zur Einstellung einer Temperatur an der z.B. an einem Kühlfinger gebildeten Oberfläche dienen, bei welcher der zu detektierende Gasbestandteil, aber nicht das Hintergrundgas selbst ausgefroren wird. Die Temperatur, bei der das Hintergrundgas ausfriert bzw. kondensiert ist von der Kondensationstemperatur des verwendeten Hintergrundgases abhängig, welche bei Helium bei ca. 4,2 K, bei Wasserstoff bei ca. 20,3 K, bei Argon bei ca. 87,3 K und bei Krypton bei ungefähr 120 K liegt. Durch eine Wahl der Temperatur oberhalb dieser Werte kann eine selektive Akkumulation des Gasbestandteils ohne Beeinträchtigung durch das Hintergrundgas erfolgen.

[0027] Alternativ oder zusätzlich zur Bestrahlungseinrichtung zur Bestrahlung der kühlbaren Oberfläche kann die Vorrichtung auch eine Bestrahlungseinrichtung, insbesondere eine Elektronenkanone oder einen Laser, zur Desorption des zu detektierenden Stoffes von dem gasbindenden Material aufweisen. Als Bestrahlungseinrichtungen kommen insbesondere Lichtquellen oder Elektronenquellen in Frage, mit deren Hilfe der zu detektierende Stoff durch nichtthermische oder ggf. durch thermische Desorption von dem gasbindenden Material bzw. der kühlbaren Oberfläche entfernt und hierbei ggf. gleichzeitig ionisiert werden kann, so dass die Bestrahlungseinrichtung gleichzeitig als Ionisierungseinrichtung dient.

[0028] In einer weiteren Ausführungsform weist die Kammer einen in Abhängigkeit vom einer detektierten Menge des gasförmigen Bestandteils steuerbaren Gaseinlass und/oder Gasauslass auf, d.h. einen Gaseinlass bzw. Gasauslass, der in Abhängigkeit von einem Steuersignal geöffnet oder geschlossen werden kann. Dies ist insbesondere bei einer Oberflächenbearbeitung in Form einer Atomlagenabscheidung günstig, bei welcher der Precursor und mindestens ein weiterer Reaktand wie oben dargestellt alternierend (gepulst) in die Kammer eingeleitet werden, wobei zwischen zwei aufeinander folgenden Pulsen Spülpausen zum Entfernen des nicht verbrauchten Precursors bzw. Reaktanden liegen. Die Spülpausen sollten so kurz wie möglich (typischer Weise im Sekundenbereich) liegen, allerdings ist bei zu kurzen Spülpausen in der Regel keine 2-dimensionale Monolagen-Deposition möglich. Bei zu langen Spülpausen steigt jedoch das Kontaminationsniveau pro Monolage im Partialdruckbereich von 10^{-12} mbar bis 10^{-14} mbar, wodurch sich die Qualität der Abscheidung verschlechtert und die Durchlaufzeit unnötig verlängert. Durch das Messen des Partialdrucks bzw. der Konzentration des zu detektierenden Gasbestandteils, z.B. des Precursors, des Reaktanden und/oder von kontaminierenden Reaktionsprodukten können die (Ventil-)schaltvorgänge für den Spülvorgang bzw. für das Einleiten der Prozessgase (Trägergas mit Precursor bzw. weiterer Reaktand) überwacht bzw. optimiert werden.

[0029] Bei einer weiteren Ausführungsform weist der Prozessgasanalysator einen steuerbaren Einlass zum gepulsten Zuführen des zu detektierenden gasförmigen Bestandteils zu der Ionenfalle auf. Unter einem steuerbaren Einlass wird hierbei ein Einlass verstanden, der in Abhängigkeit von einem Steuersignal geöffnet oder geschlossen werden kann, um die Detektion des gasförmigen Bestandteils in gepulster Folge vornehmen zu können und/oder um die Akkumulation bzw. Desorption des zu detektierenden Stoffes in vorgebbaren zeitlichen Intervallen vornehmen zu können. Es versteht sich, dass der steuerbare Einlass ggf. mit dem steuerbaren Gaseinlass oder dem

steuerbaren Gasauslass der Kammer zusammenfallen kann.

[0030] Bei einer weiteren Ausführungsform liegt der Gesamtdruck des Restgases in dem Innenraum bei mehr als 10^{-3} mbar, bevorzugt bei mehr als 500 mbar insbesondere bei mehr als 900 mbar (typischer Weise bis zu ca. 1000 mbar). Insbesondere bei CVD-Prozessen kann der Gesamtdruck des Restgases in dem Innenraum erheblich sein und ggf. mit dem Atmosphärendruck übereinstimmen. Bei solchen Hintergrunddrücken versagen herkömmliche Prozessgasanalysatoren, wenn sie geringe Mengen eines Restgases nachweisen sollen. Mit Hilfe der Ionenfalle kann jedoch auch bei hohem Gesamtdruck eine Detektion von gasförmigen Bestandteilen auch mit sehr geringen Partialdrücken in Echtzeit erfolgen. Es versteht sich, dass in der Kammer in Abhängigkeit vom jeweils zur Oberflächenbearbeitung verwendeten Prozess auch geringere Drücke, z.B. 10^{-3} mbar oder darüber, Verwendung finden können.

[0031] Bei einer weiteren Ausführungsform liegt der Partialdruck des zu detektierenden gasförmigen Bestandteils in dem Innenraum bei weniger als 10^{-9} mbar, bevorzugt bei weniger als 10^{-12} mbar, insbesondere bei weniger als 10^{-14} mbar. Auch der Nachweis von Gasbestandteilen mit derart geringen Partialdrücken (z.B. mit nur wenigen Hundert Teilchen pro cm^3) bei hohem Restgasdruck in dem Innenraum kann auf die oben beschriebene Weise (in Echtzeit) erfolgen.

[0032] Ein weiterer Aspekt ist realisiert in einem Verfahren zum Überwachen einer Oberflächenbearbeitung an einem Substrat, umfassend: Durchführen einer Restgasanalyse zum Detektieren mindestens eines gasförmigen Bestanteils einer in einem Innenraum einer Kammer zur Anordnung des Substrats gebildeten Restgasatmosphäre, wobei der zu detektierende gasförmige Bestandteil mittels einer Ionisierungseinrichtung ionisiert und zum Durchführen der Restgasanalyse in einer Ionenfalle gespeichert wird. Durch die Ionenfalle kann die Empfindlichkeit bei der Detektion mittels des Prozessgasanalysators erhöht werden. Dadurch ist es möglich, kontaminierende Stoffe im Hintergrundgas sowie die Konzentrationen von an einer chemischen Reaktion mit der Oberfläche teilnehmenden Stoffen, z.B. Dotierstoffen, während und/oder vor dem Start des Oberflächenbearbeitungsprozesses zu überwachen und insbesondere rechtzeitig zu erkennen, ob ein Prozess wegen Abweichungen von den Zielprozessbedingungen fortgeführt bzw. überhaupt gestartet werden kann. Insbesondere kann bei einer Abweichung von den Zielprozessbedingungen eine Warnung an einen Bediener ausgegeben werden.

[0033] Durch die Verwendung einer Ionenfalle, insbesondere einer FT-Ionenfalle, kann eine „Echtzeit-Messung“ bzw. eine „Echtzeit-Detektion“ des gasförmigen Bestandteils erfolgen. Bei allen oben beschriebenen Beschichtungsverfahren bzw. abtragenden Verfahren ist ein schneller Nachweis bzw. eine schnelle Bestimmung der Menge/Konzentration des zu detektierenden Stoffes mit Scanzeiten im Sekundenbereich für die genaue Kontrolle der Depositionsdicke (Schichtdicke in Nanometer) der aufgebrachten Schicht beziehungsweise des Schichtabtrags (z.B. einem Ätzvorgang) günstig. Auch das Kontaminationsniveau von ausgewählten kontaminierenden Bestandteilen (z.B. Wasser oder Sauerstoff bei Nitrid-Deposition) in der Restgasatmosphäre lässt sich auf diese Weise schnell und präzise ermitteln. Anhand des gemessenen Kontaminationsniveaus bzw. der gemessenen Konzentration von kontaminierenden Stoffen lässt sich schon vor dem Start des Prozesses entscheiden, ob dieser überhaupt gestartet werden darf, oder ob ggf. eine Spülung der Kammer erfolgen sollte. Auch lässt sich mittels des Ionenfallen-Massenspektrometers, insbesondere mittels der FT-Ionenfalle, bei kritischen Beschichtungs- bzw. Ätzprozessen, bei denen ein Plasma erzeugt wird, die genaue Gas-Zusammensetzung im Plasma überwachen bzw. regeln. Auch Zwischenprodukte, die durch das Plasma oder durch Verdampfen, Sputtern, Ätzen, etc. entstehen, können detektiert werden und erlauben so eine genaue und optimierte Regelung der Prozessparameter.

[0034] In einer Variante wird eine von der Ionisierungseinrichtung für die Ionisierung bereitgestellte Energie in Abhängigkeit vom zu detektierenden gasförmigen Bestandteil, genauer gesagt von der Ionisierungsenergie des gasförmigen Bestandteils eingestellt. Dies ist insbesondere bei der metallorganischen chemischen Gasphasenabscheidung bzw. bei der Atomlagenabscheidung günstig, um gezielt metallorganische Verbindungen so zu ionisieren, dass nur einfach gecrackte metallorganische Ionen erzeugt und detektiert bzw. überwacht werden. Auf diese Weise kann die Gefahr einer Metalldeposition in dem Prozessgasanalysator reduziert und somit dessen Lebensdauer bzw. die Lebensdauer des Prozessgasanalysators erhöht werden. Auch wird auf diese Weise das Massenspektrum übersichtlicher und erleichtert somit die Messaufgabe.

[0035] Bei einer weiteren Variante weist die Kammer einen steuerbaren Gaseinlass und/oder einen steuerbaren Gasauslass auf, der/die in Abhängigkeit von der detektierten Menge des gasförmigen Bestandteils angesteuert werden. Der Gaseinlass bzw. Gasauslass weist typischer Weise ein Ventil auf, das mittels eines Steuersignals geöffnet bzw. geschlossen werden kann. Die Ansteuerung der Ventile kann in Abhängigkeit vom gemessenen Partialdruck des detektierten Gasbestandteils erfolgen, beispielsweise um die Schaltdauer eines Spülprozesses bei der Atomlagenabscheidung zu optimieren.

[0036] In einer weiteren Variante umfasst die Oberflächenbearbeitung einen Abtrag einer auf das Substrat aufgebrachten Beschichtung und der mindestens eine detektierte gasförmige Bestandteil ist ein Bestandteil des Substrats oder der Beschichtung. Eine Analyse des Restgases mittels des oben beschriebenen schnellen und empfindlichen Detektions-Verfahrens ist günstig, um bei einem Materialabtrag an der Beschichtung, beispielsweise bei einem Ätzprozess, eine Überätzung zu detektieren bzw. zu vermeiden. Das (ggf. lokale) Überätzen bzw. Durchätzen einer zu strukturierenden Schicht bzw. der gesamten Beschichtung kann erkannt werden, indem ein aktuelles Massenspektrum, welches die Konzentration mindestens eines, bevorzugt mehrerer in dem Substrat bzw. in einer jeweiligen Schicht der Beschichtung enthaltenen Materials (bzw. der zugehörigen Massenzahlen) anzeigt, mit dem Massenspektrum des Materials des Substrats bzw. einer jeweiligen Schicht verglichen wird. Sobald eine für das Substrat spezifische Signatur im detektierten Massenspektrum erscheint, kann der Ätzprozess gestoppt oder ggf. an einer anderen Stelle der Beschichtung fortgesetzt werden. Durch den Vergleich mit dem jeweiligen Schichtmaterial bzw. einzelner Konstituenten des Schichtmaterials einer Schicht der Beschichtung kann zudem der Fortschritt des Ätzprozesses überwacht werden. Insbesondere kann auf diese Weise auch das Erreichen einer in der Beschichtung vorgesehenen Ätzstoppschicht erkannt werden.

[0037] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, anhand der Figuren der Zeichnung, die erfindungswesentliche Einzelheiten zeigen, und aus den Ansprüchen. Die einzelnen Merkmale können je einzeln für sich oder zu mehreren in beliebiger Kombination bei einer Variante der Erfindung verwirklicht sein.

Zeichnung

[0038] Ausführungsbeispiele sind in der schematischen Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung erläutert. Es zeigen:

[0039] Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Atomlagenabscheidung auf einem Substrat,

[0040] Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Durchführung eines Plasma-Ätzprozesses an einem beschichteten Substrat,

[0041] Fig. 3 eine schematische Darstellung einer FT-ICR-Falle für einen Prozessgasanalysator,

[0042] Fig. 4 eine schematische Darstellung einer Penning-Falle zur Durchführung eines massenselektiven Puffergas-Kühlverfahrens, sowie

[0043] Fig. 5a–c schematische Darstellungen eines Prozessgasanalysators mit einem Kühlfinger (a) sowie einem gasbindenden Material (b, c) zur Sorption und anschließenden Desorption eines Gasbestandteils.

[0044] In der folgenden Beschreibung der Zeichnungen werden für gleiche bzw. funktionsgleiche Bauteile identischen Bezugszeichen verwendet.

[0045] In Fig. 1 ist schematisch eine Vorrichtung **1** zur Atomlagenabscheidung auf einem Substrat **2** (hier: Silizium-Wafer) gezeigt, das auf einem Halter **3** in einem Innenraum **4** einer Prozess-Kammer **5** angeordnet ist. Sowohl der Halter **3** als auch die Wände der Prozess-Kammer **5** können auf (ggf. unterschiedliche) Temperaturen aufgeheizt werden. Der Halter **3** kann mit einem Motor in Verbindung stehen, um das Substrat **2** bei der Beschichtung in eine Rotationsbewegung zu versetzen. Die Vorrichtung **1** umfasst auch einen Behälter **6**, in dem ein metallorganisches Precursor-Material enthalten ist, bei dem es sich im vorliegenden Beispiel um Tetrakis-(ethylmethylamino)Hafnium (TEMAH) handelt. Um das Precursor-Material aus dem Behälter **6** in die Prozess-Kammer **5** zu verbringen wird ein inertes Trägergas, z.B. Argon, verwendet, welches dem Behälter **6** über ein steuerbares Ventil **7** zuführbar ist. Ein weiterer Behälter **8** dient der Bereitstellung von Ozon-Gas O_3 als Reaktand bei der Atomlagendeposition.

[0046] Das Trägergas mit dem Precursor und das Ozon-Gas können jeweils über einen steuerbaren Einlass in Form eines steuerbaren Ventils **9a**, **9b** in die Prozess-Kammer **5** eingeleitet werden. In der Kammer **5** ist eine Verteiler-Mannigfaltigkeit **10** angeordnet, um das eintretende Gas möglichst homogen in Richtung auf das Substrat **2** zu verteilen. Über die steuerbaren Ventile **9a**, **9b** kann der Prozess-Kammer **5** auch ein Spülgas, z.B. Argon, zugeführt werden, um die Prozess-Kammer **5** sowie die jeweiligen Zuleitungen zu spülen. Ein weiteres steuerbares Ventil **11**, welches einen Gasauslass bildet, steht mit einer Vakuum-Pumpe **12** in Verbindung, um die Gase aus der Prozess-Kammer **5** zu entfernen. Zur Überwachung der Restgasatmosphäre in der Prozess-Kammer **5** ist ein erster Prozessgasanalysator **13a** an der Prozess-Kammer **5** angeflanscht. Ein zweiter Prozessgasanalysator **13b** zur Überwachung des Restgases ist in einer Absaugleitung hinter dem Auslass-Ventil **11** angeordnet. Sowohl der erste als auch der zweite Prozessgasanalysator **13a**, **13b** dienen der Detektion bzw. der Bestimmung der Menge bzw. des Partialdrucks mindestens eines gasförmigen Bestandteils, der in der Restgasatmosphäre der Kammer **5** enthalten ist (bzw. im Fall des Prozessgasanalysators **13b** in der Kammer **5** enthalten war).

[0047] Für das Aufbringen einer Beschichtung **14** aus Hafniumoxid (HfO_2) auf das Substrat **2** wird wie

folgt vorgegangen: Zunächst wird der Prozess-Kammer **5** das Trägergas mit dem TEMAH-Precursor über das erste Ventil **9a** zugeführt. Danach wird das erste Ventil **9a** umgeschaltet und der Prozess-Kammer **5** über das erste Ventil **9a** das Spülgas zugeführt (vgl. Pfeil) und dieses wird gemeinsam mit den Resten des Trägergases bzw. des Precursors über das geöffnete Austritts-Ventil **11** mittels der Vakuum-Pumpe **12** abgesaugt. Nach dem Spülen wird das Austritts-Ventil **11** geschlossen und über das zweite Ventil **9b** Ozon-Gas in die Kammer **5** eingeleitet, welches an der frei liegenden Oberfläche des Substrats **2** mit dem Precursor eine chemische Reaktion eingeht. Anschließend erfolgt ein Spülen der Kammer **5** mittels des Spülgases, welches der Kammer über das zweite Ventil **9b** (vgl. Pfeil) zugeführt und gemeinsam mit den Ozon-Resten bzw. ggf. gebildeten Reaktionsprodukten mittels der Vakuum-Pumpe **12** bei geöffnetem Austritts-Ventil **11** abgesaugt wird. Bei dem oben beschriebenen Vorgang wird eine Monolage aus Hafniumoxid auf dem Substrat **2** abgeschieden. Nach dem Schließen des Austritts-Ventils **11** kann dieser Vorgang mehrmals wiederholt werden, und zwar so lange, bis die HfO_2-Beschichtung **14** eine gewünschte Dicke d erreicht hat.

[0048] Die Zeitdauer der Zuführung des Trägergases mit dem Precursor, die Zeitdauer der Zuführung des Ozon-Gases und die Zeitdauer des Spülvorgangs liegen typischer Weise im Bereich von Sekunden. Eine Steuereinrichtung **15** dient der Ansteuerung der Ventile **7**, **9a**, **9b**, **11**, um zwischen den oben beschriebenen Schritten des Abscheidungs-Prozesses umzuschalten. Die Steuereinrichtung **15** dient zudem der Ansteuerung eines weiteren Ventils **16**, welches den Prozessgasanalysator **13a** mit der Prozess-Kammer **5** verbindet. Es versteht sich, dass die Steuereinrichtung **15** die Ventile **7**, **9a**, **9b**, **11**, **16** nicht nur zwischen einer geöffneten Stellung und einer geschlossenen Stellung umschalten kann, sondern dass ggf. auch der Massenstrom, der durch die jeweiligen Ventile **7**, **9a**, **9b**, **11**, **16** fließt, mittels der elektronischen Steuereinrichtung **15** gesteuert werden kann.

[0049] Der Gesamtdruck des Restgases in der Prozess-Kammer **5** liegt typischer Weise zwischen ca. 10^{-3} mbar und 1000 mbar, wobei auch vergleichsweise hohe Gesamt-Drücke von mehr als 500 mbar oder mehr als 900 mbar möglich sind. Der Gesamtdruck in der Kammer **5** kann mittels eines (nicht gezeigten) Drucksensors überwacht und ggf. mittels der Steuereinrichtung 15 durch eine geeignete Steuerung der Ventile **7**, **9a**, **9b**, **11** modifiziert werden.

[0050] Im Folgenden wird der erste Prozessgasanalysator **13a**, der an die Kammer **5** angeflanscht ist, näher beschrieben. Dem Prozessgasanalysator **13a** ist eine in der Kammer **5** befindliche Ionisierungseinrichtung **17** vorgeschaltet, welche zur Ionisierung von gasförmigen Bestandteilen der Restgasatmosphäre dient. Die ionisierten Gasbestandteile werden dem Prozessgasanalysator **13a**, genauer gesagt einer in dem Prozessgasanalysator **13a** angeordneten Ionenfalle **18** zugeführt, wozu eine (nicht gezeigte) Zuführungseinrichtung z.B. in Form einer Ionenoptik ggf. in Kombination mit einem Vakuumrohr verwendet werden kann. Das dem Prozessgasanalysator **13a** zugeordnete Ventil **16** wird mittels der Steuereinrichtung **15** zu geeigneten Zeitpunkten geöffnet bzw. geschlossen, um eine über die Zeit gepulste, gezielte Akkumulation von Ionen in der Ionenfalle **18** zu ermöglichen. Durch die Akkumulation der Ionen in der Ionenfalle **18** kann die Messempfindlichkeit bei der Restgasanalyse erheblich gesteigert werden. Um eine Gasströmung der ionisierten Gasbestandteile in die Ionenfalle **18** zu bewirken, kann der Prozessgasanalysator **13a** mit einer (nicht gezeigten) Vakuum-Pumpe in Verbindung stehen. Die Detektion der in der Ionenfalle **18** gespeicherten Ionen kann in einem (nicht gezeigten) in den Prozessgasanalysator **13a** integrierten Massenspektrometer oder direkt in der Ionenfalle **18** erfolgen.

[0051] Als Ionisierungseinrichtung **17** kann beispielsweise ein insbesondere gepulster Laser verwendet werden, der mittels eines fokussierten Laserstrahls eine Ionisierung einzelner Gasbestandteilen in dem Innenraum **4** ermöglicht. Auch eine Elektronenkanone (zur Ionisierung von Gasmolekülen durch Stoßionisation) oder ein Plasma-Generator können als Ionisierungseinrichtung **17** verwendet werden. Der Plasma-Generator kann insbesondere zur Erzeugung eines Plasmas auch bei hohen Drücken (nahe beim Atmosphärendruck) ausgelegt sein. Zur Erzeugung eines Atmosphärendruck-Plasmas kann die Ionisierungseinrichtung **17** z.B. zwei Elektroden aufweisen, zwischen denen eine Hochfrequenzentladung gezündet wird, um eine Korona-Entladung zu erzeugen. Auch die Verwendung einer dielektrisch behinderten Hochfrequenzentladung oder die Verwendung eines Piezo-Materials für die Plasma-Anregung ist möglich.

[0052] Bei einem Plasma-Generator kann die für die Ionisierung bereitgestellte Energie durch die Wahl der für die Anregung des Plasmas zur Verfügung gestellten Energie (Spannung sowie ggf. Frequenz) in gewissen Grenzen eingestellt und insbesondere auf den zu detektierenden Gasbestandteil der Restgasatmosphäre abgestimmt werden.

[0053] Beispielsweise kann bei der Verwendung einer hohen Anregungsenergie eine Ionisierung praktisch aller Arten von Gasmolekülen der Restgasatmosphäre (Breitbandionisierung) erfolgen, oder es kann eine schmalbandige Ionisierung ausgewählter Moleküle durchgeführt werden, wobei insbesondere die Moleküle des Trägergases (z.B. Argon) nicht ionisiert werden. Auch eine Ionisierungseinrichtung

17 in Form eines Lasers kann zur Erzeugung einer abstimmbaren bzw. einstellbaren Laser-Wellenlänge ausgebildet sein, um die für die Ionisierung bereitgestellte Energie zu variieren bzw. um diese an die Ionisierungsenergie der jeweils zu detektierenden gasförmigen Substanz abzustimmen. Gleiches gilt für die Verwendung einer Elektronenkanone, bei der die kinetische Energie der Elektronen gezielt variiert und auf die gewünschte Ionisierungsenergie abgestimmt werden kann.

[0054] Durch die Abstimmung können gezielt diejenigen Gasbestandteile (z.B. kontaminierende Stoffe oder prozessrelevante Gasbestandteile, z.B. der Precursor oder andere Reaktanden) ionisiert werden, die in der Ionenfalle **18** akkumuliert werden sollen. Bei der in Fig. 1 gezeigten Atomlagenabscheidung bzw. bei der metallorganischen chemischen Gasphasenabscheidung können durch die Wahl der für die Ionisierung verwendeten Energie gezielt metallorganische Verbindungen (z.B. der Precursor) so ionisiert werden, dass nur einfach gecrackte metallorganische Ionen erzeugt und somit auch detektiert bzw. überwacht werden. Auf diese Weise kann die Gefahr einer Metalldeposition in dem Prozessgasanalysator **13a** reduziert und damit dessen Lebensdauer erhöht werden.

[0055] Die Detektion der gasförmigen Bestandteile, genauer gesagt die Ermittlung der Menge bzw. des Partialdrucks eines jeweils detektierten gasförmigen Bestandteils kann zur Steuerung bzw. zur Regelung des Abscheidungsprozesses genutzt werden. Beispielsweise kann anhand der Konzentration des metallorganischen Precursors oder von prozessrelevanten Reaktanden wie Ozon oder ggf. H_2O in der Restgasatmosphäre erkannt werden, wann der Spülschritt beendet werden kann (z.B. sobald der jeweilige Partialdruck unter einen vorgegebenen Grenzwert fällt). Die mit dem Prozessgasanalysator **13a** signaltechnisch verbundene Steuereinheit **15** kann dann das jeweilige Einlass-Ventil **9a**, **9b** bzw. das Auslass-Ventil **11** zu geeigneten Zeitpunkten öffnen bzw. schließen und so die für den Spülschritt verwendete Zeitdauer optimieren. Es versteht sich, dass analog auch eine Optimierung der Zeitdauer der beiden oben beschriebenen Zuführungsschritte möglich ist.

[0056] Mit Hilfe des Prozessgasanalysators **13a** kann nicht nur eine Prozessoptimierung bei der Atomlagendeposition erfolgen, vielmehr kann eine Optimierung auch bei anderen Beschichtungsprozessen durchgeführt werden, beispielsweise bei der Durchführung eines (ggf. plasmaunterstützten) CVD-Prozesses, eines metallorganischen CVD-Prozesses, oder bei der metallorganischen chemischen Gasphasenepitaxie, welche typischer Weise ebenfalls in der (ggf. geringfügig modifizierten) Vorrichtung **1** von Fig. 1 durchgeführt werden können. Gleiches gilt für Beschichtungsprozesse, die auf einer physikalischen Gasphasenabscheidung beruhen. In allen diesen Fällen können die Prozessparameter (Temperatur, Druck, etc.) anhand der detektierten Gasbestandteile in der Restgasatmosphäre geeignet angepasst bzw. optimiert werden.

[0057] Die Verwendung eines Prozessgasanalysators **13a** mit einer Ionenfalle **18** kann nicht nur für das Aufbringen einer Beschichtung **14** auf das Substrat **2**, sondern auch für einen (gezielten) Abtrag einer Beschichtung **14** von dem Substrat **2** vorteilhaft sein, wie nachfolgend anhand von Fig. 2 beschrieben wird, die eine Plasma-Ätzanlage **1a** zum reaktiven Ionenätzen zeigt. Bei dem Substrat **2** kann es sich beispielsweise um einen Silizium-Wafer handeln und bei der Beschichtung **14** um einen Photolack, der in einem vorausgehenden Belichtungsprozess z.B. in einer Mikro-Lithographieanlage (mittels UV- oder EUV-Strahlung) behandelt wurde. Nach der Bestrahlung weist die Beschichtung **14** erste Bereiche auf, deren chemische Eigenschaften durch die Belichtung nicht verändert wurden und zweite Bereiche, an denen der Photolack aufgrund der Belichtung in seinen chemischen Eigenschaften verändert wurde. Die ersten oder die zweiten Bereiche können in der Plasma-Ätzanlage **1a** gezielt abgetragen werden, um die Beschichtung **14** zu strukturieren.

[0058] Die Plasma-Ätzanlage **1a** weist zu diesem Zweck eine Plasma-Kammer **5** mit einem Innenraum **4** auf, in den für den Abtrag der Beschichtung **14** bzw. der abzutragenden Bereiche der Beschichtung ein Ätzgas zugeführt und in dem ein Plasma erzeugt wird. Das reaktive Ätzgas wird hierbei über einen Gaseinlass **9** in die Plasma-Kammer **5** eingeleitet und über eine Einlass-Mannigfaltigkeit **10** zu einer ersten, oberen Elektrode **20a** geführt, in der eine Mehrzahl von Durchtrittsöffnungen gebildet sind, um das Ätzgas möglichst homogen zu verteilen. Das Substrat **2** ist auf einer zweiten, unteren Elektrode **20b** angeordnet, die ihrerseits auf einer Platte **3** aufliegt, die als Halter dient und in der randseitig neben der Elektrode **20b** Durchtrittsöffnungen für das Ätzgas gebildet sind. Über die Durchtrittsöffnungen kann das Ätzgas zu einem Gasauslass **11** gelangen und aus der Plasma-Kammer **5** abgeführt werden.

[0059] Zur Erzeugung des Plasmas wird eine Wechselspannung (typischer Weise mit Frequenzen im MHz-Bereich) an die untere Elektrode **20b** angelegt, welche mittels eines Spannungs-Generators **21** generiert wird. In dem Zwischenraum zwischen den beiden Elektroden **20a**, **20b** bildet sich hierbei ein Ätzgas-Plasma aus, wobei das Plasma bzw. die Ionisierung des Ätzgases die chemische Reaktion des Ätzgases mit der Beschichtung **14** begünstigt. Es versteht sich, dass die Beschichtung **14** in bestimmten Oberflächenbereichen mit einer Ätzbarriere (Ätzstoppschicht) versehen werden kann, damit beim Ät-

zen die Beschichtung **14** mit einer vorgegebenen Struktur versehen werden kann.

[0060] An der Plasma-Kammer **5** ist ein Prozessgasanalysator **13a** vorgesehen, der wie in Fig. 1 eine Ionenfalle **18** umfasst, welche zur Speicherung von gasförmigen Bestandteilen der in dem Innenraum **4** gebildeten Restgasatmosphäre dient. Da das Ätzgas in der Plasma-Kammer **5** mittels der Elektroden **20a**, **20b** bzw. des Spannungs-Generators **21** ionisiert wird, kann auf eine separate Ionisierungseinrichtung verzichtet werden, sofern die ionisierten Gasbestandteile auf geeignete Weise (z.B. mittels einer Ionenoptik **19**) zu dem Prozessgasanalysator **13a** transportiert werden. Es versteht sich, dass ggf. zur selektiven Ionisierung einzelner gasförmiger Bestandteile in dem Innenraum **4** auch eine zusätzliche Ionisierungseinrichtung vorgesehen werden kann.

[0061] Der Prozessgasanalysator **13a** kann zur Steuerung bzw. zur Regelung des Plasma-Ätzprozesses dienen, wobei insbesondere ein Überätzen vermieden werden kann, wenn mittels des Prozessgasanalysators **13a** erkannt wird, ob bei dem Ätzprozess das Substrat **2** angegriffen bzw. angeätzt wird. Zu diesem Zweck kann das von dem Prozessgasanalysator **13a** aktuell aufgenommene Massenspektrum mit einer Signatur des Massenspektrums des verwendeten Substrat-Materials verglichen werden, z.B. indem die relative Höhe einzelner Peaks des aktuell aufgenommenen Massenspektrums mit der Signatur der Peaks im Massenspektrum des Substrat-Materials verglichen wird, die z.B. in einer Speichereinrichtung hinterlegt sein kann. Wird eine Übereinstimmung mit der Signatur des Substrat-Materials erkannt, kann das Ätzverfahren abgebrochen und somit ein Überätzen vermieden werden. Es versteht sich, dass ggf. nicht nur die Signatur des Substrat-Materials, sondern auch die Signatur einzelner Bestandteile der Beschichtung, z.B. bestimmter Schicht-Typen der Beschichtung, für den Vergleich verwendet werden kann, um den Ätzfortschritt zu beobachten oder ggf. das Erreichen einer in der Beschichtung vorgesehenen Ätzstoppschicht zu detektieren. Im Idealfall, d.h. bei besonders schneller Erkennung eines Überätzens, ist ggf. ein vollständiger Verzicht auf eine Ätzstoppschicht möglich.

[0062] Sowohl beim Detektieren des Überätzens als auch bei der in Zusammenhang mit Fig. 1 dargestellten Anwendung ist es günstig, das Massenspektrum möglichst schnell, im Idealfall in Echtzeit, d.h. in wenigen Sekunden bzw. Millisekunden zu erhalten und auszuwerten. Um dies zu erreichen ist ein Typ von Ionenfalle **18** besonders geeignet, der als FT-ICR-Falle bezeichnet wird und der nachfolgend im Zusammenhang mit Fig. 3 näher beschrieben wird. Bei der FT-ICR-Zelle **18** werden die Ionen **23** in einem homogenen Magnetfeld B gefangen, welches entlang der Z-Richtung eines XYZ-Koordinatensystems verläuft und die in Z-Richtung in die FT-ICR-Falle **18** eingeschossenen Ionen **23** auf Kreisbahnen mit einer massenabhängigen Umlauffrequenz zwingt. Die FT-ICR-Falle **18** weist weiterhin eine Anordnung mit sechs Elektroden **24** auf, an denen ein elektrisches Wechselfeld senkrecht zum Magnetfeld B angelegt und auf diese Weise eine Zyklotron-Resonanz erzeugt wird. Stimmen Frequenz des eingestrahlten Wechselfeldes und Zyklotron-Kreisfrequenz überein, so tritt der Resonanzfall ein und der Zyklotron-Radius des betreffenden Ions vergrößert sich durch Aufnahme von Energie aus dem Wechselfeld. Diese Änderungen führen zu messbaren Signalen an den Elektroden **24** der FT-ICR-Falle **18**, die zu einem Stromfluss I führen, der über einen Verstärker **25** einem FFT(„fast fourier transform“ – schnelle Fouriertransformation)-Spektrometer **26** zugeführt wird. Der in dem Spektrometer **26** empfangene, zeitabhängige Strom I wird fouriertransformiert, um ein von der Frequenz f abhängiges Massenspektrum zu erhalten, das in Fig. 3 rechts unten dargestellt ist. Die FT-ICR-Falle **18** ermöglicht somit eine direkte Detektion bzw. die direkte Aufnahme eines Massenspektrums ohne die Verwendung eines zusätzlichen Massenspektrometers, so dass eine schnelle Restgasanalyse ermöglicht wird. Auch können aus der FT-ICR-Falle **18** selektiv einzelne Ionen bzw. Ionen mit bestimmten Massenzahlen entfernt werden, beispielsweise indem an die Elektroden **24** ein Wechselfeld angelegt wird, um die selektierten, aus der Falle **18** zu entfernenden Ionen auf instabile Bahnen zu lenken. Die schnelle Aufnahme eines Massenspektrums mit Hilfe der Fourier-Spektrometrie kann nicht nur wie oben beschrieben bei einer ICR-Falle sondern auch bei anderen Typen von Ionenfallen vorteilhaft eingesetzt werden.

[0063] Alternativ zum oben beschriebenen Nachweis von gasförmigen Bestandteilen durch Akkumulation von Ionen **23** in der FT-ICR-Zelle **18** ist es auch möglich, Ionen direkt, d.h. ohne Akkumulation, in einer Ionenfalle **18** nachzuweisen, die im Folgenden anhand von Fig. 4 erläutert wird. Fig. 4 zeigt eine Ionenfalle **18** in Form einer Kühlfalle vom Penning-Typ, wie sie im Experimentieraufbau ISOLTRAP am Cern (http://isoltrap.web.cern.ch/isoltrap/) verwendet wird. Dort wird mittels eines (nicht gezeigten) supraleitenden Magneten ein zeitlich konstantes Magnetfeld erzeugt. Ein konstantes elektrisches Feld wird über eine zentrale Ringelektrode **27** sowie eine Mehrzahl von Einzelelektroden **28** erzeugt, die so angeordnet sind, dass sich entlang der Symmetrieachse der Ionenfalle **18** ein elektrisches Feld einstellt, dessen Potentialverlauf **29** in Z-Richtung in Fig. 4 rechts dargestellt ist und welches einen äußeren und einen Inneren Potentialtopf aufweist. Durch das sog. massenselektive Puffergaskühlverfahren, bei dem ein Kühlgas, z.B. Helium, in die Ionenfalle **18** eingeleitet wird, kann durch Kombination einer Magnetronanregung mittels eines elektrischen Dipolfeldes und einer Zyklotronanregung mittels eines elektrischen Quadru-

polfeldes eine räumliche Trennung von Ionen mit unterschiedlichem Masse-Ladungsverhältnis auch bei hohem Restgasdruck im Innenraum **4** der jeweiligen Kammer **5** erfolgen, wie z.B. in der Dissertation von Dr. Alexander Kohl, „Direkte Massenbestimmung in der Bleigegend und Untersuchung eines Starkeffekts in der Penningfalle“, Universität Heidelberg, 1999, ausführlicher beschrieben ist, welche bezüglich dieses Aspekts durch Bezugnahme zum Inhalt dieser Anmeldung gemacht wird. Die Ionenfalle **18** dient somit als Massenfilter zur räumlichen Trennung des zu detektierenden gasförmigen Bestandteils von weiteren gasförmigen Bestandteilen in der Restgasatmosphäre.

[0064] Neben den oben beschriebenen Typen von Ionenfallen **18** können auch andere Arten von Ionenfallen, z.B. eine Penning-Falle, eine Toroid-Falle, eine Quadrupol-Ionenfalle bzw. eine Paul-Falle, eine lineare Falle, ein Orbitrap, ein EBIT oder andere Typen von Ionenfallen zur Speicherung des zu detektierenden Gasbestandteils dienen. Auch kann ggf. ein herkömmlicher Massenfilter, z.B. ein Quadrupol-Massenfilter, vor einer jeweiligen Ionenfalle **18** angeordnet sein, um nur Ionen mit einem vorgegebenen Masse-Ladungsverhältnis in diese eintreten zu lassen. Insbesondere wegen der direkten Erzeugung eines Massenspektrums hat sich für die vorliegenden Anwendungen eine FT-ICR-Falle als besonders günstig erwiesen.

[0065] Fig. 5a–c zeigen Beispiele von Ausführungen des in dem Pumpkanal angeordneten Prozessgasanalysators **13b** von Fig. 1, bei denen der zu detektierende Gasbestandteil vor der Ionisierung ad- bzw. absorbiert wird, um diesen zu akkumulieren, so dass bei der nachfolgenden Desorption eine größere Menge des zu detektierenden Stoffes für den Nachweis zur Verfügung steht.

[0066] In Fig. 5a ist in dem Prozessgasanalysator **13b** eine vom Pumpkanal über ein (nicht gezeigtes), steuerbares Ventil abtrennbare weitere Kammer **30** angeordnet, in der ein Kühlfinger **31** angebracht ist. Der Kühlfinger **31** steht mit einer weiteren Steuereinrichtung **32** in Verbindung, welche ein kombiniertes Kühl-/Heizelement **33** ansteuert, um die Temperatur an der Oberfläche **31'** des Kühlfingers **31** so einzustellen, dass mindestens ein zu detektierender gasförmiger Bestandteil der Restgasatmosphäre an dieser ausfriert und auf diese Weise akkumuliert werden kann. Hierbei kann die Temperatur des Kühlfingers **31** so eingestellt werden, dass selektiv einzelne Gasbestandteile ausgefroren werden und an der Oberfläche **31'** kondensieren, beispielsweise Gasbestandteile, die als Precursor oder als Reaktand an dem Abscheidungsprozess teilnehmen aber nicht das Hintergrund- bzw. Trägergas. Hierfür ist es erforderlich, dass die Temperatur des Kühlfingers **31** größer ist als die Kondensationstemperatur des jeweiligen Hintergrundgases, d.h. bei Helium über ca. 4,2 K, bei Argon über ca. 87,3 K.

[0067] Nach der Akkumulation wird das Ventil zwischen Kammer **30** und Pumpkanal geschlossen und in dem kleinen Kammervolumen der Kühlfinger **31** temperaturgesteuert rasch aufgetaut bzw. geheizt, so dass der zu detektierende Gasbestandteil von der Oberfläche **31'** desorbiert und einer Ionenfalle **18** zugeführt werden kann, in der eine Ionisierungseinrichtung **17** vorgesehen ist, um den akkumulierten Gasbestandteil für die Speicherung zu ionisieren, so dass dieser ggf. zusammen mit weiteren an dem Kühlfinger **31** akkumulierten Stoffen detektiert werden kann. Zusätzlich oder alternativ zum Aufheizen des Kühlfingers **31** mit dem kombinierten Kühl/-Heizelement **33** ist es auch möglich, den bzw. die zu detektierenden Stoffe von der Oberfläche **31'** zu desorbieren, indem diese der fokussierten Strahlung eines Lasers **37** ausgesetzt werden, der insbesondere gepulst betrieben werden kann.

[0068] Alternativ dazu kann, wie in Fig. 5b gezeigt ist, die Akkumulation in der Kammer **30** auch an einem gasbindenden Material **31a**, z.B. an einem Zeolith, als Speicher- bzw. Absorbereinrichtung erfolgen. Zur Desorption des zu detektierenden Stoffes von dem gasbindenen Material **31a** wird dieses mit einer Elektronenkanone **35** (und/oder mit einem (nicht gezeigten) Laser) beschossen. Die Elektronenkanone **35** wird über eine Steuereinrichtung **32** aktiviert, sobald ein hinreichend langer Zeitraum zur Akkumulation verstrichen ist. Die Kammer **30** wird dann wie oben beschrieben von dem Pumpkanal abgetrennt, um den desorbierten zu detektierenden Gasbestandteil in der Ionenfalle **18** oder ggf. in einem mit dieser in Verbindung stehenden (nicht gezeigten) Massenspektrometer zu detektieren.

[0069] Während die Akkumulation an dem gasbindenden Material **31a** in Fig. 5b passiv erfolgt, kann auch eine aktive Akkumulation des zu detektierenden Stoffes erfolgen (vgl. Fig. 5c), indem das Restgas mittels einer Pumpeinrichtung **36** durch ein gasbindendes Material **31b** hindurch gepumpt wird, das als Filter dient und ebenfalls aus einem Zeolith bestehen kann, da dieses Material ausreichend porös ist, um die Filterung zu ermöglichen. Zur Freisetzung des zu detektierenden Stoffes von dem gasbindenden Material kann ebenfalls die Pumpeinrichtung **36** dienen, die für die Desorption in entgegen gesetzter Richtung und mit höherer Leistung betrieben wird, so dass der zu detektierende Stoff in die Kammer **30** hineingepumpt wird, wo er auf die oben in Zusammenhang mit Fig. 5a,b beschriebene Weise nachgewiesen werden kann. Es versteht sich, dass die in Fig. 5a–c dargestellten Möglichkeiten, den zu detektierenden Stoff anzulagern und nachfolgend zu desorbieren, auch kombiniert werden können. Insbesondere kann z.B. die Absorption/Desorption auch durch

Kühlung/Heizung des gasbindenden Materials **31a**, **31b** unterstützt werden. Auch kann die Ionisierungseinrichtung **17** anders als in Fig. 5a–c gezeigt in der Kammer **30** und nicht in der Ionenfalle **18** angeordnet werden.

[0070] Mit Hilfe der Prozessgasanalysatoren **13a**, **13b** kann überprüft werden, ob die Partialdrücke von zu detektierenden Gasbestandteilen, beispielsweise von metallorganischen Verbindungen oder von kontaminierenden Stoffen innerhalb eines bei dem jeweiligen Bearbeitungsprozess benötigten Toleranzbereichs liegt. Durch die Verwendung einer Ionenfalle können insbesondere auch kleinste Mengen von gasförmigen Bestandteilen in der Restgasatmosphäre detektiert werden, deren Partialdruck bei weniger als 10^{-9} mbar, bei weniger als 10^{-12} mbar, ggf. sogar bei weniger als 10^{-14} mbar liegt. Insbesondere kann vor dem Beginn des Oberflächen-Bearbeitungsprozesses oder eines einzelnen Bearbeitungsschritts, z.B. während ein Vakuum in dem Innenraum **4** erzeugt wird, erkannt werden, ob der jeweilige Bearbeitungsprozess bzw. Bearbeitungsschritt gestartet werden kann oder nicht. Durch die Analyse des Restgases in den Prozessgasanalysatoren **13a**, **13b** kann insbesondere auch auf die Menge bzw. den Partialdruck einzelner Gasbestandteile in dem Innenraum **4** geschlossen werden.

[0071] Zusammengefasst kann auf die oben beschriebene Weise eine Restgasanalyse zur Detektion und Bestimmung der Menge von gasförmigen Bestandteilen einer Restgasatmosphäre bei der Oberflächenbearbeitung an einem Substrat in-situ vorgenommen werden, auch wenn die Restgasatmosphäre einen hohen Hintergrunddruck von 500 mbar oder mehr aufweist. Die Restgasanalyse kann insbesondere mit hoher Dynamik (quasi in Echtzeit) erfolgen, wobei dennoch Gasbestandteile mit äußerst geringen Konzentrationen nachgewiesen werden können.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- WO 2010/022815 A1 [**0009**]
- WO 2007/006298 A2 [**0011**]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- „Miniature Toroidal Radio Frequency Ion Trap Mass Analyzer“, von Stephen A. Lammert et al., J. Am. Soc. Mass Spectrom. 2006, 17, Seiten 916 bis 922 [**0015**]
- Neumayr, Juergen Benno (2004): „The buffer-gas cell and the extraction RFQ for SHIPTRAP“, Dissertation, LMU München: Fakultät für Physik [**0015**]
- http://isoltrap.web.cern.ch/isoltrap/ [**0063**]
- Dr. Alexander Kohl, „Direkte Massenbestimmung in der Bleigegend und Untersuchung eines Starkeffekts in der Penningfalle“, Universität Heidelberg, 1999 [**0063**]

Patentansprüche

1. Vorrichtung (**1**; **1a**) zur Oberflächenbearbeitung an einem Substrat (**2**), umfassend:
eine einen Innenraum (**4**) umschließende Kammer (**5**) zur Anordnung des Substrats (**2**) für die Oberflächenbearbeitung,
einen Prozessgasanalysator (**13a**, **13b**) zur Detektion mindestens eines gasförmigen Bestandteils einer in dem Innenraum (**4**) gebildeten Restgasatmosphäre, wobei der Prozessgasanalysator (**13a**, **13b**) eine Ionenfalle (**18**) zur Speicherung des zu detektierenden gasförmigen Bestandteils umfasst, sowie
eine Ionisierungseinrichtung (**17**; **20a**, **20b**, **21**) zur Ionisierung des gasförmigen Bestandteils.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei welcher die Ionisierungseinrichtung (**17**) ausgebildet ist, die für die Ionisierung bereitgestellte Energie in Abhängigkeit vom zu detektierenden gasförmigen Bestandteil einzustellen.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei welcher die Ionisierungseinrichtung (**17**; **20a**, **20b**, **21**) ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend: Plasma-Generator, insbesondere Atmosphärendruck-Plasma-Generator, Laser und Feldemissionseinrichtung, insbesondere Elektronenkanone.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welche ausgebildet ist, eine Oberflächenbehandlung an dem Substrat (**2**) durchzuführen, die ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend: chemische Gasphasenabscheidung, metallorganische chemische Gasphasenabscheidung, metallorganische chemische Gasphasenepitaxie, plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung, Atomlagenabscheidung, physikalische Gasphasenabscheidung und Plasma-Ätzprozesse.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Ionenfalle (**18**) ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend:
Fouriertransformation-Ionenfalle, insbesondere Fouriertransformation-Ionenzyklotronresonanz-Falle, Penning-Falle, Toroid-Falle, Quadrupol-Ionenfalle, Paul-Falle, lineare Falle, Orbitrap, EBIT und RF-Buncher.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der sich eine Ionenoptik (**19**) zwischen der Ionisierungseinrichtung (**20a**, **20b**, **21**) und der Ionenfalle (**18**) befindet.

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Ionenfalle (**18**) ausgebildet ist, den gasförmigen Bestandteil zu akkumulieren.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Ionenfalle (**18**) ausgebildet ist, den zu detektierenden gasförmigen Bestandteil von anderen gasförmigen Bestandteilen zu isolieren.

9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welche zur Akkumulation des gasförmigen Bestandteils ein gasbindendes Material (**31a**, **31b**) aufweist.

10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiter umfassend:
eine Kühleinheit (**33**) zur Kühlung einer Oberfläche (**31'**) zum Ausfrieren oder Kondensieren des gasförmigen Bestandteils und bevorzugt eine Heizeinheit (**33**) oder eine Bestrahlungseinrichtung (**35**, **37**) zur Bestrahlung der Oberfläche (**31'**) mit Licht oder mit Elektronenstrahlen für die nachfolgende Desorption des gasförmigen Bestandteils von der Oberfläche (**31'**).

11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher die Kammer (**5**) einen in Abhängigkeit von einer detektierten Menge des gasförmigen Bestandteils steuerbaren Gaseinlass (**9a**, **9b**) und/oder Gasauslass (**11**) aufweist.

12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher der Prozessgasanalysator (**13a**) einen steuerbaren Einlass (**16**) zum gepulsten Zuführen des zu detektierenden gasförmigen Bestandteils zu der Ionenfalle (**18**) aufweist.

13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher der Gesamtdruck des Restgases in dem Innenraum (**4**) bei mehr als 10^{-3} mbar, bevorzugt bei mehr als 500 mbar insbesondere bei mehr als 900 mbar liegt.

14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher der Partialdruck des gasförmigen Bestandteils in dem Innenraum (**4**) bei weniger als 10^{-9} mbar, bevorzugt bei weniger als 10^{-12} mbar, insbesondere bei weniger als 10^{-14} mbar liegt.

15. Verfahren zum Überwachen einer Oberflächenbearbeitung an einem Substrat (**2**), umfassend:
Durchführen einer Restgasanalyse zum Detektieren mindestens eines gasförmigen Bestanteils einer in einem Innenraum (**4**) einer Kammer (**5**) zur Anordnung des Substrats (**2**) gebildeten Restgasatmosphäre, wobei der zu detektierende gasförmige Bestandteil mittels einer Ionisierungseinrichtung (**17**, **20a**, **20b**, **21**) ionisiert und zum Durchführen der Restgasanalyse in einer Ionenfalle (**18**) gespeichert wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem eine von der Ionisierungseinrichtung (**17**) zur Ionisierung bereitgestellte Energie in Abhängigkeit vom zu detektierenden gasförmigen Bestandteil eingestellt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, bei dem die Kammer (**5**) einen steuerbaren Gaseinlass (**9a**, **9b**) und/oder einen steuerbaren Gasauslass (**11**) aufweist, der/die in Abhängigkeit von einer detektierten Menge des gasförmigen Bestandteils angesteuert werden.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 17, bei dem die Oberflächenbearbeitung ein Abtragen einer auf das Substrat (**2**) aufgebrachten Beschichtung (**14**) umfasst und der mindestens eine detektierte gasförmige Bestandteil der Restgasatmosphäre ein Bestandteil des Substrats (**2**) oder der Beschichtung (**14**) ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

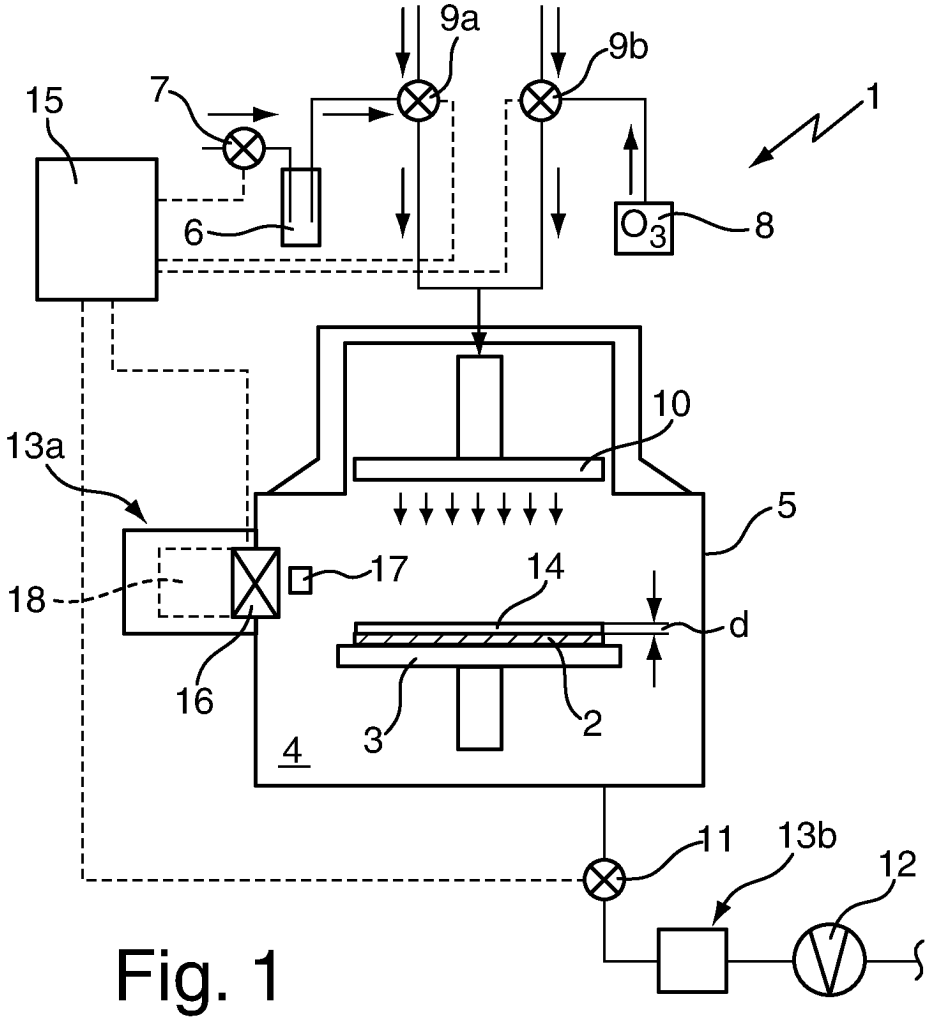


Fig. 1

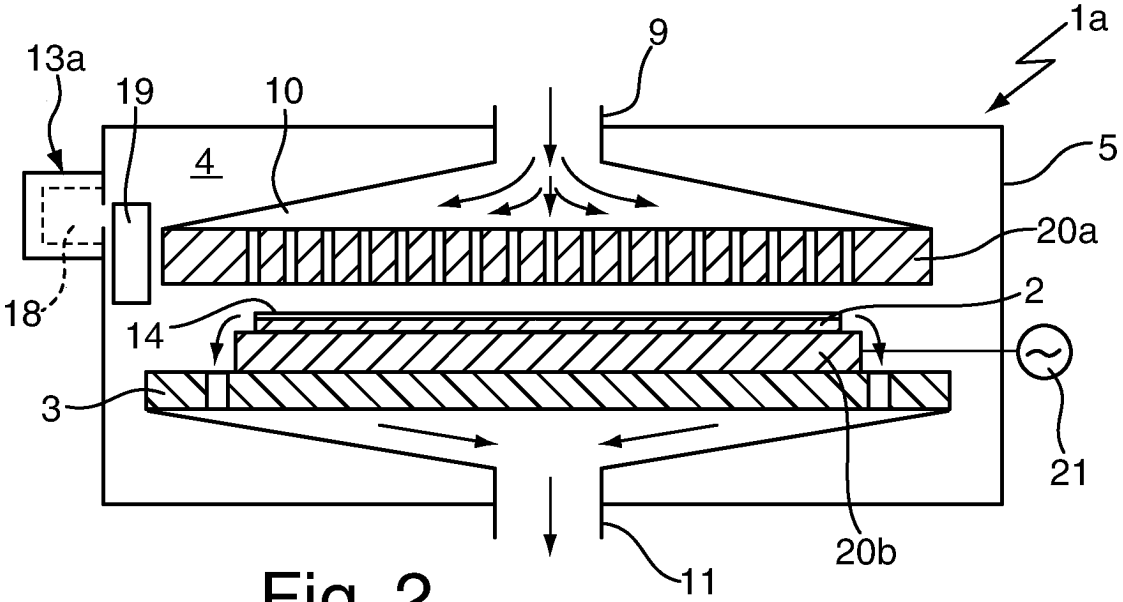


Fig. 2

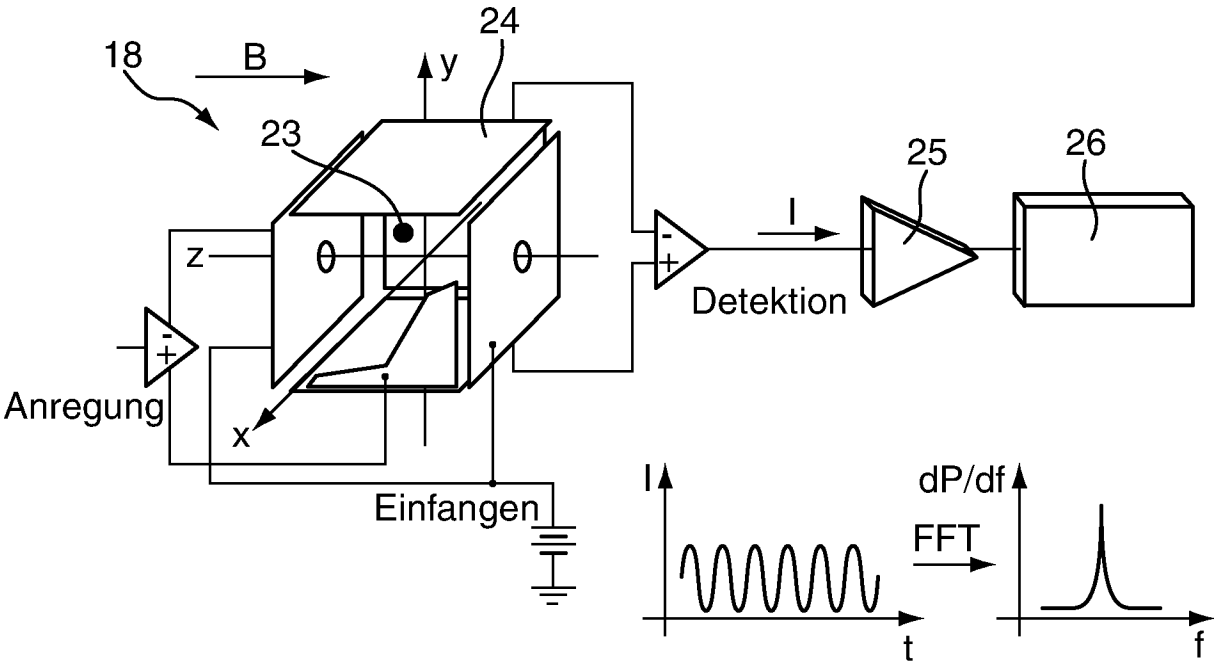

18
B
y
24
23
25
26
z
I
Detektion
Anregung
x
Einfangen
I
t
dP/df
FFT
f

Fig. 3

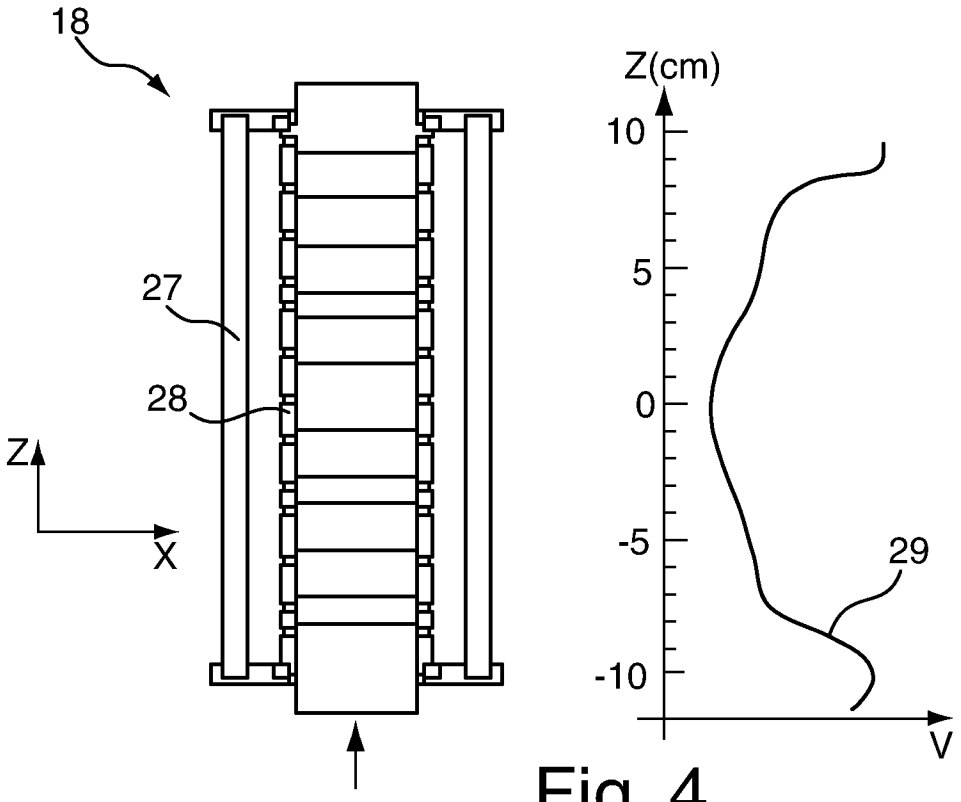

18
27
28
Z
X
Z(cm)
10
5
0
-5
-10
29
V

Fig. 4

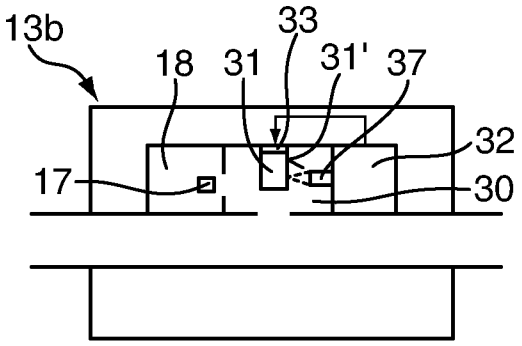


Fig. 5a

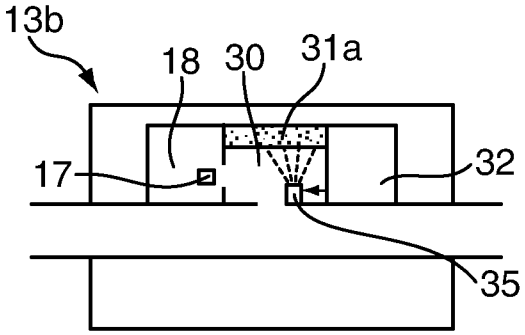


Fig. 5b

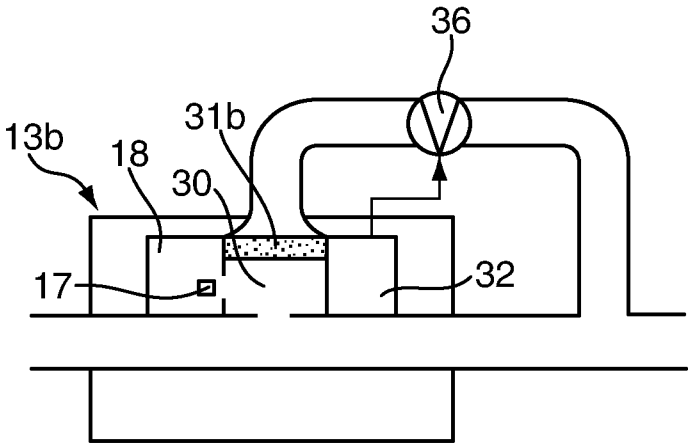


Fig. 5c