(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 021 790 B3** 2005.12.15

(12) # Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 021 790.4**
(22) Anmeldetag: **03.05.2004**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **15.12.2005**

(51) Int Cl.[7]: **G01N 23/227**
**H01L 21/66**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten(§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**NanoPhotonics AG, 55129 Mainz, DE**

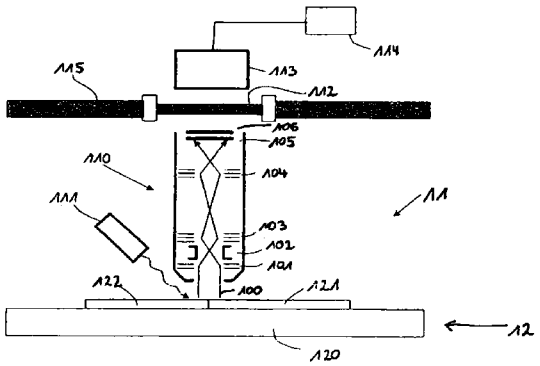
(74) Vertreter:
**Fuchs, Mehler, Weiß & Fritzsche, 65201 Wiesbaden**

(72) Erfinder:
**Abraham, Michael, Dr., 55129 Mainz, DE;**
**Schönhense, Gerd, Prof. Dr., 55130 Mainz, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
**DE 42 00 493 C2**
**DE 36 25 700 C2**
**US 43 93 311 A**
**H. Spiecker et al., Time-of-flight photoelectron emission microscopy TOF-PEEM: first results, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A406(1998) 499-506;**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur Bestimmung der chemischen Beschaffenheit von Oberflächen bzw. ultradünnen Schichten**

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Vorrichtung zur Bestimmung der chemischen Beschaffenheit von Oberflächen bzw. ultradünnen Schichten beschrieben, die dazu geeignet ist, in eine Prozessanlage für die Verarbeitung von Wafern integriert zu werden. Diese Vorrichtung weist einen vakuumtauglichen Abschnitt und einen davon durch ein vakuumdichtes Fenster 112 getrennten äußeren Abschnitt, eine Lichtquelle 111, einen Photonendetektor 113 im äußeren Abschnitt und einen PEEM-Sensor 110 im vakuumtauglichen Abschnitt auf.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bestimmung der chemischen Beschaffenheit von Oberflächen bzw. ultradünnen Schichten. Ferner betrifft die Erfindung eine Prozessanlage zur Verarbeitung von Wafern mit einem Equipment Front End Modul, einer Schleusenkammer, einer Transferkammer, einer Reaktorkammer und ggf. einer Messkammer.

**[0002]** In modernen Einzelwafer-Halbleiterprozessanlagen wird eine Reihe von Prozessschritten ohne Brechen des Vakuums nacheinander bei hohem Durchsatz durchgeführt. Der Wert der einzelnen bearbeiteten Wafer wird insbesondere mit dem Übergang zu 300 mm Wafern sehr hoch. Gleichzeitig führt der steigende Integrationsgrad der Halbleiterbauelemente auf den Wafern zur Notwendigkeit, immer dünnere Schichten herzustellen und komplexere Materialien einzuführen. Dies hat eine immer schwierigere Prozessführung zur Folge. Deshalb wird der Bedarf nach einer prozessnahen Kontrolle der Beschichtung der Wafer immer stärker. Die Eigenschaften der Schichten sollten möglichst nach jedem Prozessschritt gemessen werden, so dass geeignete Maßnahmen eingeleitet werden können, um den Bearbeitungsprozess innerhalb geringster Toleranzen zu führen. Je unmittelbarer die automatische Prozessnachführung erfolgt, desto höher ist die Qualität und die Ausbeute der erzeugten Halbleiterbauelemente.

**[0003]** In der Regel erfolgt die Messung außerhalb der Fertigungsanlage an Einzelmessgeräten. Damit wird die Reaktionszeit auf Prozessabweichungen sehr lang. Sie kann unter Umständen bis zu einigen Stunden dauern. In dieser Zeit können schon 60 – 100 Wafer schlechter Qualität erzeugt worden sein. Außerdem kommt es auf dem Transport von der Prozessanlage zum Messgerät zu Kontamination z. B. durch Kohlenwasserstoffverbindung und Oxidation, die bei sehr dünnen Schichten von wenigen Atomlagen zu großen Messfehlern führen.

### Stand der Technik

**[0004]** Um diese Nachteile zu vermeiden, wird zunehmend versucht, Messvorrichtungen in die Prozessanlagen zu integrieren. Erfolgreich werden dazu bereits z. B. Ellipsometer verwendet. Entsprechende Ellipsometeranordnungen bzw. Messeinrichtung finden sich z. B. in der US 5,502,567, der DE 198 16 974 C1, der DE 198 42 364 C1 und der DE 102 17 028 C1 beschrieben. Eine Vorrichtung zur prozessintegrierten Streulichtmessung wird in der DE 102 37 477 A1 beschrieben.

**[0005]** Die genannten optischen Messgeräte erfordern für eine korrekte Messfunktion ebene, nicht strukturierte Bereiche auf den Wafern. Diese sogenannten Testfelder von beispielsweise 80 × 80 $\mu m^2$ Fläche werden von den Chipherstellern in den Trennlinien zwischen den aktiven Chips bereitgestellt. Üblicherweise werden 7 bis 49 Punkte auf einem Wafer vermessen, um Informationen über die Homogenität der Schicht zu erhalten.

**[0006]** Mit Hilfe von Streulichtmessungen lassen sich Defekte wie aufliegende oder eingeschlossene Partikel bzw. Vertiefungen, Kratzer nachweisen. Mit Hilfe von Ellipsometern lassen sich die Schichtdicken bestimmen. Für Schichten mit Dicken von mindestens ca. 30 nm kann über die Messung der Brechzahl auch indirekt eine Information über die Zusammensetzung der Schicht ermittelt werden. Für dünnere Schichten kann die Information über Zusammensetzung und Schichtdicke nicht mehr voneinander getrennt werden. Da im Zuge der fortschreitenden Miniaturisierung und Integration der Halbleiterbauelemente vermehrt Schichten unter 1 bis 2 nm hergestellt werden müssen, kann dazu nicht mehr reines Siliziumdioxid verwendet werden, sondern muss mit Kompositmaterialien wie hydriertes Siliziumoxid oder Hafniumoxid gearbeitet werden. Für die Qualitätskontrolle dieser Schichten ist neben deren Dicke auch die Zusammensetzung und deren Verteilung auf der Waferoberfläche maßgeblich.

**[0007]** Es ist bereits bekannt, die chemische Beschaffenheit von Oberflächen bzw. ultradünnen Schichten mit Hilfe der Photoemissionselektronenmikroskopie (PEEM) nachzuweisen (siehe z. B. CH. Ziethen et al., Forschungsmagazin der Johannes Gutenberg Universität Mainz, Sonderausgabe Verbundforschung 2001, Seiten 78 – 87). Insbesondere wird dort die Röntgenphotoemissionselektronenmikroskopie (X-PEEM) vorgeschlagen. Bei diesem Messverfahren werden die Photoelektronen durch Röntgenstrahlung ausgelöst und dazu verwendet, eine Abbildung der emitierenden Oberfläche zu erzeugen. Bei dieser Abbildung ist es möglich, die Verteilung von Atomen ein und desselben Elements in einer bestimmten chemischen Umgebung zu ermitteln, also z. B. die Verteilung graphitisch (d. h. $sp^2$-artig) gebundener Kohlenstoffatome auf einer Diamantoberfläche. Dies eröffnet z. B. die Möglichkeit zur Beurteilung der Schichtstruktur von Kohlenstoff und Kohlenstoffnitridschichten. Mit Hilfe der X-PEEM können Proben zerstörungsfrei untersucht werden.

**[0008]** Allgemein wird bei der PEEM nicht im Rasterverfahren mit hoher lokaler Stromdichte, sondern im Modus der Parallelabbildung bei homogener Bildfeldbeleuchtung gearbeitet. Die zur Abbildung gelangenden Elektronen haben niedrige Energien von einer Schwelle > 1 eV bis typischerweise 100 eV. Bei diesen Energien beträgt die Informationstiefe wenige atomare Lagen, so dass Oberflächen auch im Sub-Monolagenbereich untersucht werden können.

Aufgabenstellung

**[0009]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Vorrichtung zur Bestimmung der chemischen Beschaffenheit von Oberflächen bzw. ultradünnen Schichten bereitzustellen, die dazu geeignet ist, in eine Prozessanlage für die Verarbeitung von Wafern integriert zu werden. Ferner soll eine entsprechende Prozessanlage zur Verfügung gestellt werden.

**[0010]** Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1 sowie eine Prozessanlage gemäß Anspruch 11. Vorteilhafte Ausgestaltungen finden sich in den Unteransprüchen.

**[0011]** Durch den Einsatz mindestens eines PEEM Sensors wird mit Hilfe der Photoemissionsmikroskopie ermöglicht, die laterale Variation der lokalen Austrittsarbeit der Photoelektronen aus der Oberfläche bzw. ultradünnen Schicht zu bestimmen. Daraus lässt sich auf die chemische Umgebung der an der Oberfläche bzw. in der ultradünnen Schicht befindlichen Atome zurückschließen.

**[0012]** Beispielsweise kann bei Kohlenstoff ermittelt werden, ob der Kohlenstoff als Graphit oder als Diamant vorliegt. Der elektronische Übergang vom 1 s in den unbesetzten $\pi^*$-Zustand ist charakteristisch für $sp^2$ koordinierte Kohlenstoffatome wie Graphit. Aus chemischer Sicht ist dies das unbesetzte $p_z$-Orbital, das senkrecht zu den Graphitebenen orientiert ist. Davon unterscheidet sich das Signal für wasserstoffterminierte Kohlenstoffatome in $sp^3$-Koordination. Diese Struktur tritt auf, wenn diamantartiger Kohlenstoff einen hohen Anteil eingebauter Wasserstoffatome enthält.

**[0013]** Entscheidend für die Integration der erfindungsgemäßen Vorrichtung in eine Prozessanlage, insbesondere für die Verarbeitung von Wafern, ist das Konzept, die Vorrichtung in zwei Abschnitte zu teilen, einen vakuumtauglichen Abschnitt und einen davon durch ein vakuumdichtes Fenster getrennten äußeren Abschnitt. Der vakuumtaugliche Abschnitt befindet sich im Inneren der Prozessanlagen, z. Bsp. im Equipment Front End Modul (EFEM), in der Schleusenkammer, in der Transferkammer oder gegebenenfalls in einer dedizierten Messkammer. Im vakuumtauglichen Abschnitt ist das Herzstück der Messvorrichtung, nämlich der PEEM-Sensor angeordnet, der unmittelbar über der zu vermessenden Oberfläche angeordnet sein sollte. Der PEEM-Sensor wandelt das Photoelektronenemissionssignal in ein Photonensignal um. Das Photonensignal tritt durch ein vakuumdichtes Fenster in den getrennten äußeren Abschnitt der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Dort ist ein Photonendetektor zur Weiterverarbeitung des Meßsignales angeordnet. Dadurch kann der PEEM-Sensor von weiteren Detektionsmitteln vakuumtechnisch entkoppelt werden. Dies erlaubt, die unmittelbar in eine Prozessanlage zu integrierenden Bestandteile der Vorrichtung auf möglichst wenige, möglichst Platz sparende und möglichst kontaminationsarme Bestandteile zu beschränken. Die Prozesse zur Bearbeitung der Wafer werden also bei Integration der erfindungsgemäßen Vorrichtung in eine Prozessanlage abgesehen von einer Minimalzeit zur Durchführung der Messungen nicht weiter beeinträchtigt.

**[0014]** Durch die unmittelbar in den Herstellungsprozess integrierten Messungen kann eine minimale Reaktionszeit auf Messergebnisse, die auf Abweichungen außerhalb des Toleranzbereiches hinweisen, gewährleistet werden. Dadurch wird nicht nur der Ausschuss vermindert, sondern auch teure Totzeiten vermieden.

**[0015]** Bei der Verwendung einer Vorrichtung mit einem einzigen PEEM-Sensor muss entweder der Wafer oder der PEEM-Sensor bewegt werden, um den Wafer an mehreren Stellen zu vermessen. Dies kann z. Bsp. durch den Roboter der Transferkammer geschehen, der den Wafer unter den PEEM-Sensor bringt. Alternativ ist auch eine Verschiebeeinrichtung für den PEEM-Sensor möglich.

**[0016]** Vorzugsweise werden Vorrichtungen mit mehreren PEEM-Sensoren verwendet. Dadurch können gleichzeitig mehrere Bereiche auf einem Wafer analysiert werden. So kann z. Bsp. die Homogenität einer Schichtstruktur über den gesamten Waferbereich sichergestellt werden. Es hat sich dabei als vorteilhaft erwiesen, für jeden PEEM-Sensor ein separates vakuumtaugliches Fenster vorzusehen.

**[0017]** Vorteilhafterwse wird das Gesichtsfeld eines einzelnen PEEM-Sensors so gewählt, dass mit Sicherheit einige der zu vermessenden Strukturen im Bild auftauchen. Bei 300 mm Wafern entspricht dies einem Durchmesser von typischerweise einigen 100 µm. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich die zu untersuchenden Strukturen auf der zu vermessenden Oberfläche, z. B. einem Wafer periodisch wiederholen und in großer Zahl vorhanden sind.

**[0018]** Eine weitere bevorzugte Ausführungsform besteht in einem fest angeordneten PEEM-Sensor in Verbindung mit einer verschiebbaren Probenaufnahme. In dieser Anordnung kann der PEEM-Sensor leistungsfähiger ausgelegt werden, als es bei einer Vorrichtung mit einer Mehrzahl von miniaturisierten PEEM-Sonsoren möglich ist. Unterschiedliche Stellen der zu vermessenden Oberfläche können durch Verschieben der Probe erreicht werden. Falls eine Feinpositionierung des PEEM-Sensors gegenüber einer zu untersuchenden Region notwendig ist, kann die bildgebende Eigenschaft des PEEM-Sensors ausgenutzt werden.

**[0019]** Man kann ferner eine Anordnung mit mehreren PEEM-Sensoren als auch einer verschiebbaren Probenaufnahme verwenden.

**[0020]** Der Photonendetektor ist in seiner bevorzugten Ausführungsform mit einem Rechner zur Datennahme und Auswertung sowie gegebenenfalls zur Steuerung der Messungen verbunden. Mit Hilfe von gängigen Bildverarbeitungssystemen können die zu untersuchenden Strukturen erkannt und lokalisiert werden, so dass einfacher gewährleistet werden kann, dass die tatsächlich interessanten Bereiche der zu vermessenden Fläche vermessen werden, ohne dass die zu vermessende Fläche bzw. der PEEM-Sensor lateral verschoben werden muss. In der Ausführungsform mit fest angeordnetem PEEM-Sensor und verschiebbaren Probenaufnahmen können z. B. die zu vermessenden Stellen automatisch erkannt werden und entsprechende Störsignale zur Feinpositionierung an Verschiebemittel der verschiebbaren Probenaufnahme abgegeben werden.

**[0021]** Das Erkennen der Messobjekte wird vorteilhafterweise durch Vergleich mit den in einer Datenbank vorhandenen Informationen über die Mikrostrukturen gewährleistet. Zur quantitativen Messung ist eine Kalibration zum Abgleich der Antwortfunktion des PEEM-Sensors erforderlich, die von Zeit zu Zeit in-situ durchgeführt werden sollte. Dazu kann z. B. ein Satz unstrukturierter Wafer mit Schichten bekannter Zusammensetzungen benutzt. Für den Kalibrationsvorgang werden diese Wafer von Zeit zu Zeit eingeschleust und in Messposition gebracht.

**[0022]** Ein bedeutender Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung besteht darin, dass die Eigenschaften der Oberflächen bzw. der dünnen Filme auf einem Wafer aus der Produktionsserie gemessen werden können und auf die Verwendung von Monitorwafern zu reinen Messzwecken verzichtet werden kann. Dadurch wird die Auslastung der Prozessanlage erhöht.

**[0023]** Die Beleuchtung des Gesichtsfeldes erfolgt vorzugsweise mittels einer UV-Lichtquelle, z. Bsp. einer Quecksilberhochdrucklampe oder einem Laser. Insbesondere UV-Laser können soweit miniaturisiert und vakuumtauglich erhalten werden, dass die Lichtquelle im vakuumtauglichen Abschnitt angeordnet werden kann.

**[0024]** Jeder einzelne PEEM-Sensor besteht aus einer elektronenoptischen Säule, die in der Regel eine Objektivlinse sowie typischerweise zwei Projektive und eine Nachweiseinrichtung aus einem Bildverstärker, z. Bsp. einer Vielkanalplatte und/oder ein Fluoreszenzschirm beinhaltet. Das auf dem Leuchtschirm sichtbare Photoelektronenbild wird vorzugsweise außerhalb des Vakuums mittels einer CCD-Kamera aufgenommen. Die entsprechenden Signale können von einem Messcomputer erfasst und ausgewertet werden.

**[0025]** Sowohl der Photonendetektor als auch die Lichtquelle als auch der PEEM-Sensor können mit einer im äußeren Abschnitt angeordneten Steuer-, Regel- und/oder Auswerteeinrichtung, z. Bsp. einem Computer verbunden sein.

**[0026]** Um eine hohe Lateralauflösung bei der Messung zu erreichen, ist ein geringer Arbeitsabstand zwischen Sensor und zu vermessender Oberfläche erforderlich (bei einer UV-Lichtquelle typischerweise 2 mm bis 4 mm). Um eventuelle Krümmungen der zu vermessenden Oberfläche, wie z. Bsp. die Durchbiegung eines 300 mm Wafers durch Eigengewicht während des Messprozesses zu berücksichtigen, ist vorteilhafterweise ein Mittel zum Einstellen des Abstandes zwischen PEEM-Sensor und zu vermessender Oberfläche bzw. ultradünner Schicht vorgesehen. Dabei wird der PEEM-Sensor aktiv entlang der elektronenoptischen Achse, d.h. senkrecht zur Oberfläche verschoben.

## Ausführungsbeispiel

**[0027]** Die Erfindung soll anhand der Zeichnungen näher erläutert werden. Dazu zeigen

**[0028]** Fig. 1 eine erfindungsgemäße Prozessanlage;

**[0029]** Fig. 2 eine erfindungsgemäße Vorrichtung mit einem PEEM-Sensor;

**[0030]** Fig. 3 eine erfindungsgemäße Vorrichtung mit zwei PEEM-Sensoren;

**[0031]** Fig. 4 eine mögliche Anordnung eines PEEM-Sensorenarrays und

**[0032]** Fig. 5 eine weitere erfindungsgemäße Vorrichtung mit einem PEEM-Sensor.

**[0033]** Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Prozessanlage **1**. Sie weist zwei EFEMs **2** auf, die dem An- und Abtransport der Wafer **9** dienen. Die Wafer werden mit Hilfe eines Transferroboters **10** aus den angedockten EFEMs **2** in eine Schleusenkammer **3** eingeführt bzw. dort herausgeholt. Die Schleusenkammern **3** münden in eine Transferkammer **4**. Dort werden die Wafer **9** mit Hilfe eines Transferroboters **8** in an die Transferkammer **4** mündende diverse Kammern weitertransportiert wie z. Bsp. Reaktorkammern **5**, in denen die Wafer **9** beschicht oder geätzt werden oder auch Messkammern **6**, in denen z. Bsp. eine erfindungsgemäße Messvorrichtung **11c** angeordnet sein kann. Die Messvorrichtung kann genauso in der Transferkammer (gekennzeichnet als **11b**)

oder auch in einer Schleusenkammer (gekennzeichnet als **11a**) angeordnet werden. Der Weg eines Wafers **9** durch die gesamte Prozessanlage **1** ist durch die gestrichelte Linie **7** angedeutet.

**[0034]** In Fig. 2 ist detailliert eine erfindungsgemäße Messvorrichtung **11** mit einem PEEM-Sensor **10** dargestellt.

**[0035]** Mit Hilfe einer UV-Lichtquelle **111** wird ein Wafer **12** bestrahlt, der aus einem Substrat **120** besteht, das mit zwei verschiedenen Materialien **121** und **122** beschichtet wurde. Aus der bestrahlten Oberfläche bzw. den dünnen Filmen aus Material A **122** oder B **121** treten Photoelektronen **100** aus. Das Photoelektronenemissionssignal wird im PEEM-Sensor **110** in ein Photonensignal umgewandelt. Dazu werden die Photoelektronen mit Hilfe eines Objektivs **111**, einem Stigmator bzw. Deflektor **102**, einem ersten Projektiv **103** und einem zweiten Projektiv **104** auf eine Kanalplatte **105** abgebildet. In der Kanalplatte **105** lösen die Photoelektronen Kaskaden von Sekundärelektronen aus, die zu einem Photonensignal auf dem Fluoreszenzleuchtschirm **106** führen. Diese Photonen treten durch das vakuumtaugliche Fenster **112**, das in der Wand **105** der Vakuumkammer der Prozessanlage eingelassen ist. Im äußeren Teil der Vorrichtung **11** werden die Photonen mit Hilfe einer CCD (charged-coupied-device)-Kamera **113** erfasst und das Signal zur Auswertung an den Computer **114** weitergegeben.

**[0036]** Über das PEEM-Verfahren ist es möglich, eine Reihe verschiedener Kontrastmechanismen auszunutzen. Aufgrund der hohen Oberflächenempfindlichkeit im Bereich weniger Nanometer, gegeben durch die mittlere freie Weglänge der nachgewiesenen Photoelektronen, ist die Methode ideal für die Analyse ultradünner Schichten geeignet. Die laterale Grenzauflösung liegt im Bereich von 20 nm, so dass natürliche wie auch künstliche nanoskalige Strukturen und Defekte aufgelöst werden können.

**[0037]** Der in Fig. 2 dargestellte elektronenoptische Aufbau eines PEEM-Sensors entspricht dem eines Lichtmikroskops, d. h. die Bildaufnahme erfolgt parallel. Daraus resultiert ein erheblicher Vorteil in der Nachweiseffizienz im Vergleich zu rasternden Verfahren. Bei PEEM-Sensoren ist eine Variation des Gesichtfelddurchmessers von ca. 0,5 mm bis hinab zu wenigen µm zum Erreichen der Grenzauflösung möglich. Bei Beleuchtung des Gesichtsfeldes mit ultraviolettem Licht ist die Austrittsarbeit der Probenoberfläche ein wichtiger Parameter. Liegt die Photonenergie dicht oberhalb der Austrittsschwelle, so tritt der sogenannte Ausstrittsarbeitskontrast auf, d. h. Bereiche mit niedrigerer Austrittsarbeit erscheinen heller als solche mit höherer Austrittsarbeit. Dieser Kontrastmechanismus ist durch Auflösungen von typischerweise 20 meV charakterisiert. Bei Schrägbeleuchtung kommt ein topographischer Kontrastbeitrag hinzu: Kanten und Strukturen, die der Lichtquelle zugewandt sind, erscheinen heller als solche, die der Lichtquelle abgewandt sind. Bei Anregung mit weicher Röntgenstrahlung lassen sich zusätzlich Elementkontraste auf der Basis der charakteristischen Röntgenabsorptionslinien und magnetische Kontraste auf der Basis des magnetischen Dichroismus ausnutzen. Ein weiterer Kontrastmechanismus tritt bei Anregung mit Ferntosekunden-Laserstrahlung auf. Insbesondere im Bereich von 800 nm und 400 nm Laserstrahlung werden nanoskalige Defektstrukturen sichtbar.

**[0038]** Für die Anregung im UV-Bereich stehen z. Bsp. intensive Hochdruck-Bogenlampen, nämlich Quecksilber- oder Xenonlampen, oder UV-Laser zur Verfügung. Zur Optimierung des Austrittsarbeitskontrastes kann die gewünschte Wellenlänge z. Bsp. mit Hilfe von Interferenzfiltern gewählt werden. Bei UV-Anregung werden im PEEM-Bild gleichzeitig der topographische Kontrast, z. Bsp. in Form der Kanten eines strukturierten Dünnschichtsystems, als auch der Austrittsarbeitskontrast z. Bsp. in Form der absoluten Helligkeit von homogenen, glatten Oberflächenbereichen sichtbar. Dies kann zur Analyse einer Schicht auf einer strukturierten Unterlage ausgenutzt werden. Die sichtbare Leiterstruktur auf einem Wafer kann mit Hilfe einer Bilderkennungssoftware zur lateralen Orientierung ausgenutzt werden. Der lokale Helligkeitswert auf einem homogenen Probenbereich kann für die Schichtdiagnostik genutzt werden. Dabei erlaubt die lokale Austrittsarbeit Rückschlüsse auf die chemische Zusammensetzung des Films und die Nachweismöglichkeit nanoskaliger Defekte erlaubt eine Überprüfung der strukturellen Homogenität des Films. So können z. Bsp. Löcher (Pinholes) in der Schicht nachgewiesen werden.

**[0039]** Die durch das UV-Licht induzierte Photoleitfähigkeit verhindert eine elektrostatische Aufladung der Oberfläche, die ansonsten zu Artefakten führen könnte.

**[0040]** Die Veränderung der Lateralvergrößerung erfordert keinerlei mechanische Verschiebung von Baugruppen, da die Stärke der elektronenoptischen Linsen auf einfache Weise durch Veränderung der angelegten Linsenspannung oder des Linsenstroms bei Magnetlinsen bewirkt werden kann.

**[0041]** In Fig. 3 ist eine erfindungsgemäße Vorrichtung **11** mit zwei miniaturisierten PEEM-Sensoren **110a** und **110b** dargestellt. Bevorzugte Ausführungsformen der Messvorrichtung **11** weisen eine Vielzahl von miniaturisierten PEEM-Detektoren **110** auf, die gleichmäßig über die Waferoberfläche verteilt sind, so dass die Elementzusammensetzung von ultradünnen Schichten auf strukturierten Halbleiterscheiben an mehreren Stellen simultan vermessen werden

kann, ohne dass auf bewegte Teile zurückgegriffen werden müsste.

**[0042]** In Fig. 4 ist z. Bsp. eine Array-Anordnung aus sieben PEEM-Sensoren **110** dargestellt, die in Form eines gefüllten Fünfeckes über die Oberfläche eines Wafers **12** gleichmäßig verteilt sind. Der Verzicht auf bewegte Teil hat den Vorteil, dass Kontamination durch Abrieb oder Schmiermittel vermieden wird.

**[0043]** In Fig. 5 ist eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung dargestellt, die sich von der in Fig. 2 dargestellten dahingehend unterscheidet, dass ein fest angeordneter PEEM-Sensor **11** mit einer verschiebbaren Probenaufnahme **13** zusammenwirkt. Im Gegensatz zu den in den Fig. 3 und Fig. 4 dargestellten Array-Lösungen kann der fest angeordnete PEEM-Sensor **11** aus Fig. 5 leistungsfähiger ausgelegt werden, als dies bei den miniaturisierten PEEM-Sensor-Arrays möglich ist. Die unterschiedlichen Messstellen auf dem Wafer **12** werden durch Verschieben der Probenaufnahme **13** angefahren. Zur Feinpositionierung wird die bildgebende Eigenschaft des PEEM-Sensors **11** ausgenutzt, indem mit Hilfe eines Bilderkennungsprogramms die zu vermessenden Stellen im Rechner **14** automatisch erkannt werden und entsprechende Steuersignale zur Feinpositionierung an Verschiebemittel der verschiebbaren Probeaufnahme **13** abgegeben werden.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Bestimmung der chemischen Beschaffenheit von Oberflächen bzw. ultradünnen Schichten mit:
– einen vakuumtauglichen Abschnitt und einem davon durch ein vakuumdichten Fenster (**112**) getrennten äußeren Abschnitt;
– einer Lichtquelle (**111**);
– einem Photonendetektor (**113**) im äußeren Abschnitt und
– einem PEEM-Sensor (**110**) im vakuumtauglichen Abschnitt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mehr als ein PEEM-Sensor (**110a**, b) vorgesehen ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass jedem PEEM-Sensor (**110a**, b) ein eigener Photonendetektor (**113a**, b) zugeordnet ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass jedem PEEM-Sensor (**110a**, b) ein vakuumtaugliches Fenster (**112a**, b) zugeordnet ist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei der Lichtquelle (**111**) um eine ultraviolette Lichtquelle handelt.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle (**111**) im vakuumtauglichen Abschnitt angeordnet ist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Photonendetektor (**113**) eine CCD-Kamera vorgesehen ist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Photonendetektor (**113**) und/oder die Lichtquelle (**111**) und/oder der PEEM-Sensor (**110**) mit einer im äußeren Abschnitt angeordneten Steuer-, Regel- und/oder Auswerteeinrichtung (**114**) verbunden ist.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zum Einstellen des Abstandes zwischen PEEM-Sensor (**110**) und zu vermessender Oberfläche (**9**) bzw. ultradünnen Schichten (**121**, **122**) vorgesehen sind.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine verschiebbare Probenaufnahme (**13**) vorgesehen ist.

11. Prozessanlage (**1**) zur Verarbeitung von Wafern mit einem Equipment Front End Module (EFEM) (**2**), eine Schleusenkammer (**3**), einer Transferkammer (**4**), einer Reaktorkammer (**5**) und ggf. einer Messkammer (**6**), bei der eine Vorrichtung (**11a**, b, c) nach Anspruch 1 bis 9 in dem EFEM (**2**), der Schleusenkammer (**3**), der Transferkammer (**4**) und/oder der Messkammer (**6**) angeordnet ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

**Anhängende Zeichnungen**

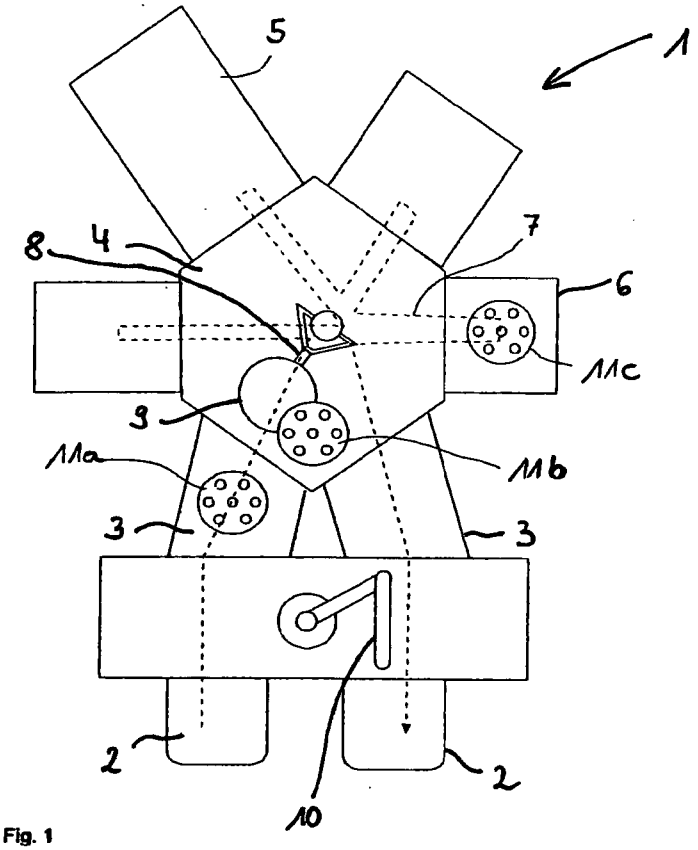



Fig. 1

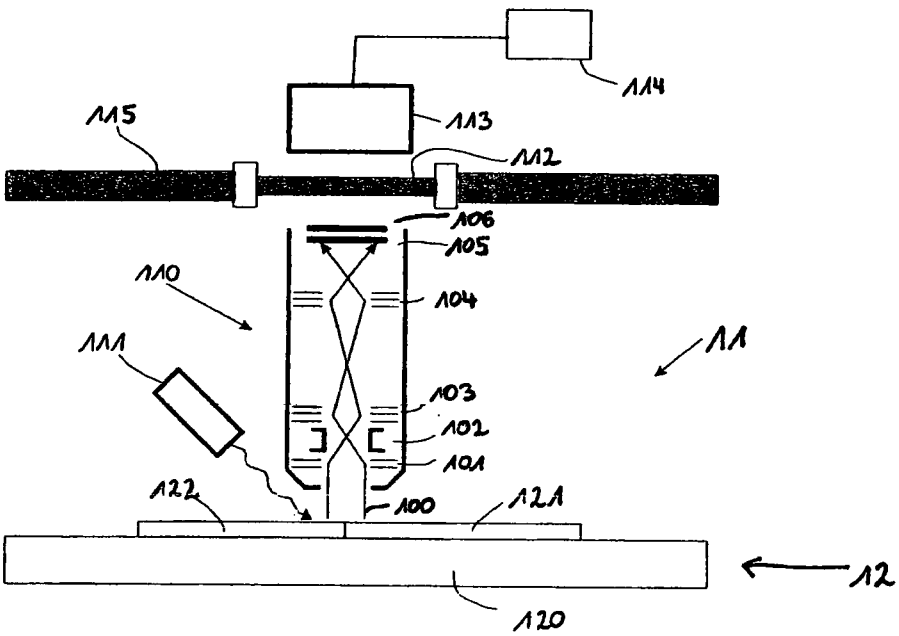



Fig. 2

Fig. 3

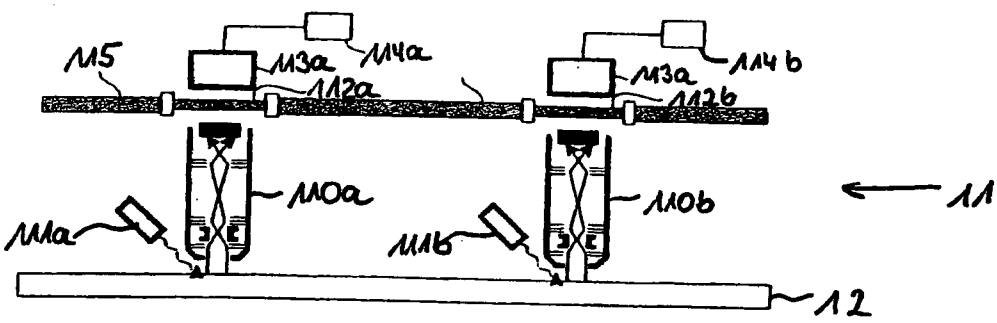
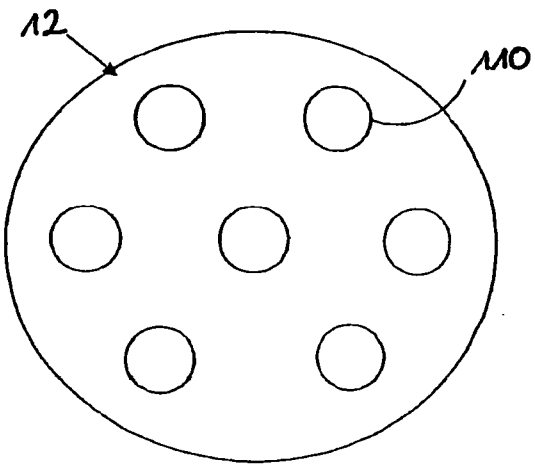

115
113a
114a
112a
113a
114b
112b
110a
110b
11
111a
111b
12

Fig. 4


12
110

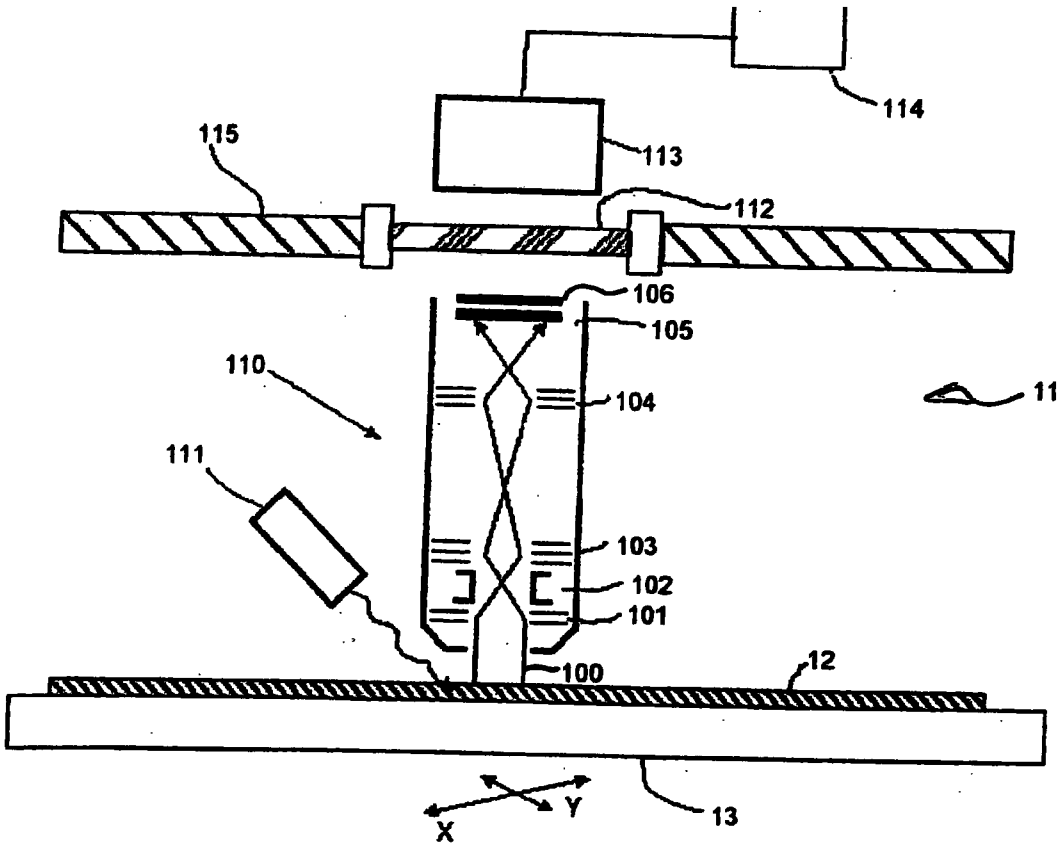



Fig. 5