



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 014 866.3**
(22) Anmeldetag: **24.03.2011**
(43) Offenlegungstag: **27.09.2012**

(51) Int Cl.: **G01N 21/17 (2006.01)**
G01N 21/25 (2006.01)
G01N 21/47 (2006.01)

(71) Anmelder:
Carl Zeiss Jena GmbH, 07745, Jena, DE

(72) Erfinder:
**Gatto, Alexandre, Dr., 07751, Jena, DE; Erdmann,
Lars, Dr., 99880, Hörselgau, DE; Cumme,
Matthias, 07749, Jena, DE**

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

DE	198 44 882	B4
DE	39 01 017	A1
US	6 545 753	B2
US	7 259 866	B2
US	2005 / 0 173 239	A1
US	5 114 233	A
US	5 648 849	A
US	5 739 909	A
JP	59- 003 925	A

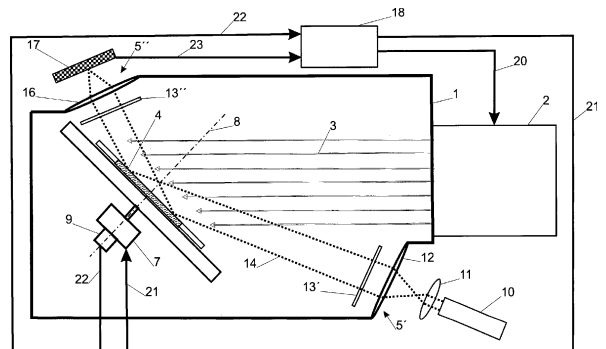
Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Anordnung zur Prozessüberwachung und Steuerung beim Plasma-Ätzen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Prozessüberwachung und Steuerung beim Plasma-Ätzen eines Werkstückes in einer Vakuumkammer mittels eines Ionenstrahles, wobei das Werkstück auf einem Werkstückhalter befestigt und mittels eines Antriebsmotors bewegbar angeordnet ist. Eine Ionenstrahlquelle ist an die Vakuumkammer angekoppelt, deren Ionenstrahl auf ein Werkstück gerichtet ist. In der Wand der Vakuumkammer sind vakuumdichte, transparente Fenster vorhanden, durch die Licht einer Lichtquelle, vorzugsweise einer Laserlichtquelle, hindurch treten kann. Das Licht ist auf das Werkstück gerichtet und vom Werkstück aus gelangen Lichtanteile auf einen Detektor. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück mittels der Lichtquelle großflächig ausleuchtbar ist. Vom Werkstück ausgehende Lichtstrahlung, welche reflektierte und/oder gebeugte und/oder gestreute Lichtanteile enthalten kann, wird mittels einer Fourier-Linse gesammelt und auf einem Detektorarray abgebildet. Weiterhin ist die Bewegung des Werkstückes mittels eines Positionsgebers bestimmbar. Die Messdaten des Positionsgebers sowie die Messdaten des Detektorarrays werden einer Einrichtung zur Bildbearbeitung und Simulation zugeführt, welche und aus den Messdaten Regelgrößen für den Betrieb der Ionenstrahl-Quelle sowie Regelgrößen für den Antriebsmotor errechnet und an die Ionenstrahl-Quelle sowie an den Antriebsmotor liefert.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Prozessüberwachung und Steuerung beim Plasma-Ätzen eines Werkstückes in einer Vakuumkammer mittels eines Ionenstrahles, wobei das Werkstück auf einem Werkstückhalter befestigt und mittels eines Antriebsmotors bewegbar angeordnet ist. Eine Ionenstrahlquelle ist an die Vakuumkammer angekoppelt, deren Ionenstrahl auf ein Werkstück gerichtet ist. In der Wand der Vakuumkammer sind vakuumdichte, transparente Fenster vorhanden, durch die Licht eine Lichtquelle, vorzugsweise einer Laserlichtquelle, hindurch treten kann. Das Licht ist auf das Werkstück gerichtet und vom Werkstück aus gelangen Lichtanteile auf einen Detektor.

[0002] Ein Verfahren das in der Technologie des Plasma-Ätzens eingesetzt wird ist der Proportionaltransfer. Bei dieser Technologie wird eine dreidimensionale Maske (typisch ist Photoresist) sukzessive in das darunter liegende Substrat übertragen. Die Topographie im Photolack wird dabei mit einem bestimmten Proportionalitätsfaktor in das Substrat übertragen. Bei den optischen Anwendungen ist es in vielen Fällen notwendig, diesen Faktor sehr reproduzierbar und präzise, im pro mille Bereich, einzustellen. Gegenwärtig eingesetzte Plasma-Ätzprozesse, die zum Proportionaltransfer verwendet werden, weisen nur Genauigkeiten im einstelligen Prozentbereich auf. Darüber hinaus ist es bei den optischen Anwendungen nötig, die Profile sehr formtreu zu übertragen. Von besonderer Bedeutung ist das Überwachung des Ätzprozesses in dem Fall, in dem beim Proportionaltransfer Masken eingesetzt werden, die dazu benutzt werden, bestimmte Bereiche des Substrates mit unterschiedlichen Übertragungsparametern zu übertragen. Ohne geeignete Prozessüberwachung würde das Risiko für Ausschuss stark ansteigen.

[0003] Bei binären Plasma-Ätzprozessen werden sogenannte Endpunktdetektoren eingesetzt, die in situ bestimmen, ob eine bestimmte Schicht bereits zu ende geätzt wurde.

[0004] In DE 3901 017 wird eine solche Anordnung zur Überwachung bei einem Trockenätzprozess beschrieben. Die Prozesskammer weist in ihrer Wandung transparente, druckfeste Fenster auf, durch die ein außerhalb der Prozesskammer angeordnetes Photometer den Prozessfortschritt der Abtragung beobachtet. Das Photometer liefert ein Signal, welches lediglich das Durchätzen einer Schicht anzeigt. Eine großflächige und genauere Prozesskontrolle und damit eine Voraussetzung für eine Prozesssteuerung sind nicht vorgesehen. Die Firma HORIBA Semiconductor Ltd. liefert Laser-Interferometer Messgerät unter der Bezeichnung „LEM“ zur Kontrolle der Ätzrate und zur End-Punkt Detektion des Ätzprozesses.

Auch hier wird die zu ätzende Oberfläche durch einen spotförmigen Laserstrahl beleuchtet und nur punktwise vermessen. Der Aufbau und die Arbeitsweise dieses Gerätes sind in der US 5,648,849 beschrieben.

[0005] Es ist Aufgabe der Erfindung in einer Plasma Ätzanlage, welche das Verfahren des Proportional-Transfers ausführt, eine in situ Messanordnung zur Prozesskontrolle zu schaffen.

[0006] Die Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Die Unteransprüche 2 bis 5 sind vorteilhafte Ausgestaltungen der Merkmale des Anspruchs 1.

[0007] Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück mittels der Lichtquelle großflächig ausleuchtbar ist. Vom Werkstück ausgehende Lichtstrahlung, welche reflektierte und/oder gebeugte und/oder gestreute Lichtanteile enthalten kann, wird mittels einer Fourier-Linse gesammelt und auf einem Detektorarray abgebildet. Weiterhin ist die Bewegung des Werkstückes mittels eines Positionsgebers bestimmbar. Die Messdaten des Positionsgebers sowie die Messdaten des Detektorarrays werden einer Einrichtung zur Bildbearbeitung und Simulation zugeführt, welche und aus den Messdaten Regelgrößen für den Betrieb der Ionenstrahl-Quelle sowie Regelgrößen für den Antriebsmotor errechnet und an die Ionenstrahl-Quelle sowie an den Antriebsmotor liefert.

[0008] Die Lichtquelle ist vorzugsweise eine Laserquelle. In diesem Fall sind zwischen der Lichtquelle und dem Werkstück eine Aufweitungslinse und eine Kollimatorlinse angeordnet. Es sind aber auch andere bekannte Beleuchtungsanordnungen verwendbar, die in der Lage sind die zu bearbeitende Fläche des Werkstückes möglichst gleichmäßig auszuleuchten.

[0009] Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung besteht darin, dass die Kollimatorlinse das eine vakuumdichte transparente Fenster bildet und dass die Fourier-Linse das andere vakuumdichte transparente Fenster bildet. Die Fenster können aber auch planparallele Platten sein, so dass die Bauelemente der optischen Anordnung unabhängig von der Vakuumkammer anordenbar sind.

[0010] Vakuumseitig ist vor den Fenstern, die vorzugsweise durch die Fourier-Linse und die Kollimatorlinse realisiert werden, jeweils ein Shutter angeordnet. Diese Shutter können während der Ionenstrahlbearbeitung geschlossen werden, um Verunreinigungen der Fenster zu minimieren.

[0011] Die erfindungsgemäße Anordnung ermöglicht eine Messung einer ausgedehnten Struktur im Fernfeld. Da sich während der Ionenstrahlbearbeitung

der Anteil der Photolackstrukturen ständig verändert und gleichzeitig sich der Anteil der Strukturen, die aus dem Substratmaterial bestehen ständig erhöht kommt es aus zwei Gründen zur Veränderung des Fernfeldes: Erstens, die in der Relief-Struktur auftretenden Winkel ändern sich und zweitens, die Fresnel-reflexion ändert sich.

[0012] Das in situ Monitoring wird in einer Ionenstrahlanlage (Hochvakuum in der Bearbeitungskammer) insbesondere bei dem Strukturierungsverfahren eingesetzt, welches als „Proportionaltransfer“ bezeichnet wird. Beim „Proportionaltransfer“ werden der die Struktur übertragende Fotolack und das Werkstückmaterial (Substrat) mit vergleichbaren Ätzraten abgetragen. So wird die Primärstruktur des Fotolackes in die Oberfläche des Werkstückes hinein abgebildet. Speziell werden mittels des Verfahrens „Proportionaltransfer“ Oberflächentopographien erzeugt, welche beispielsweise mikrooptische und diffraktiv-optische Bauelemente sind. Typische Bauelemente sind Linsenarrays in einem Glassubstrat. Im Laufe des Übertragungsprozesses entstehen bei Selektivitäten $\neq 1$ an den bereits übertragenen Teilen der Linse andere Ortsfrequenzen (Winkel) als vor der Übertragung. Der zeitliche Verlauf der Entstehung dieser Ortsfrequenzen wird als Regelsignal für Anlagenparameter wie Ionenenergie und Strom, Auftreffwinkel oder Probertemperatur genutzt. Der Endpunkt, wenn die gewünschte Struktur komplett übertragen ist, gilt als erreicht, wenn sich das von dem CCD-Array gelieferte Signal nicht mehr ändert.

[0013] Die Shutter werden synchron nur kurz zur Aufnahme geöffnet (z. B. einige ms), um die Abscheidung auf den transparenten Fenstern in der Wandung der Hochvakuumanlage zu verringern.

[0014] Ein Rückseitenreflex bei einer ebenen Rückseite des Werkstückes ergibt eine „Nullte Ordnung“ auf dem CCD-Array und kann daher ausgeblendet werden. Weiterhin werden die Reflexionsunterschiede zwischen dem Photolack und dem Substratmaterial zur Messung und Auswertung genutzt.

[0015] In einer solchen Ionenstrahlanlage wird das Werkstück während der Bearbeitung bewegt. Es gibt die Möglichkeit die Bearbeitung kurz zu unterbrechen, eine Fernfeldaufnahme zu machen und die Bearbeitung fortzusetzen (keine echte in situ Messung). Oder die Aufnahme wird während der Bearbeitung mit kurzer Belichtungszeit durchgeführt (echte in situ Messung). Hierzu können Shutter oder Verschlussblenden eingesetzt werden. In beiden Fällen muss die Position der sich bewegenden Probe zu jedem Zeitpunkt bekannt sein.

[0016] Eine Erweiterung der Erfindung ist der Einsatz dieser Regelung des Plasmas im Falle von Masken die verwendet werden, um unterschiedliche Tei-

le der Probe unterschiedlich zu ätzen. Gerade in diesem Fall sind das Monitoring und die Regelung wesentlich.

[0017] Typischerweise liegt das Werkstück auf einem lichtundurchlässigen Probenhalter. Es ist aber auch vorgesehen, einen transparenten Werkstückhalter oder einen Werkstückhalter mit einer transparenten Stelle (z. B. einer Bohrung) zu benutzen. Dann ist auch eine Messung in Transmission möglich.

[0018] Die Erfindung ist nicht auf Plasma-Ätzen mittels eines Ionenstrahles beschränkt, sondern ist auch bei anderen Bearbeitungsverfahren mit anderer Teilchenstrahlung mit und ohne Vakuum-Umgebung einsetzbar.

[0019] Die Erfindung wird nachfolgend an Hand einer Figur erläutert.

[0020] **Fig. 1** zeigt eine Plasma-Ätzanlage mit der erfindungsgemäßen Anordnung zur Prozessüberwachung in einer schematischen Darstellung.

[0021] Wesentlicher Bestandteil eine Plasma-Ätzanlage sind eine Vakuumkammer **1** zur Aufnahme eines zu bearbeitenden Werkstückes **4** sowie eine Ionenstrahlquelle **2**, welche mit der Vakuumkammer so verbunden ist, dass ein Ionenstrahl **3** auf das Werkstück **4** auftreffen kann.

[0022] Zur Realisierung einer möglichst homogenen Bearbeitung der Werkstückoberfläche ist das Werkstück **4** auf einem drehbar gelagerten Werkstückhalter **6** befestigt, welcher mit einem Antriebsmotor **7** in eine Drehbewegung versetzt wird.

[0023] Zur Kontrolle der Drehbewegung, und zur Positionsbestimmung ist mit der Drehachse **8** des Werkstückhalters **6** ein Positionsgeber gekoppelt.

[0024] Das Meßsystem zur Prozessüberwachung besteht aus einer Beleuchtungseinrichtung, welche außerhalb der Vakuumkammer **1** vor einem transparenten Fenster **5'** in der Wandung der Vakuumkammer **1** angeordnet ist. Die Beleuchtungseinrichtung weist in Lichtausbreitungsrichtung gesehen eine Laserquelle **10**, eine Aufweitungslinse **11** sowie eine Kollimatorlinse **12** auf. Im Beispiel bildet die Kollimatorlinse **12** gleichzeitig das druckdichte und transparente Fenster aus. Ein aufgeweiteter, kollimierter Laserstrahl **14** beleuchtet das Werkstück **4** großflächig. Durch die Einwirkung des Ionenstrahles **3** auf die Oberfläche des Werkstückes **4** ändern sich die optischen Eigenschaften der Werkstückoberfläche.

[0025] An der Werkstückoberfläche reflektierte, gestreute und/oder gebeugte Lichtanteile werden von einer Sammellinse **16** erfasst und auf die aktive Flä-

che eines CCD-Arrays abgebildet, welches die Lichtanteile detektiert.

[0026] Die Sammellinse **16** erfüllt im Beispiel auch hier die Funktion eines druckstabilen und transparenten Fensters **5''** in der Hülle der Vakuumkammer **1**.

[0027] Damit Verunreinigungen der optisch durchlässigen Fenster **5** zu reduzieren befinden sich in der Vakuumkammer **1** vor der Kollimatorlinse **12** ein erster Shutter **13'** und vor der Sammellinse **16** ein zweiter Shutter **13''**, welche den optischen Signalweg je nach Bedarf und bevorzugt nur kurzfristig frei geben. Von dem Positionsgeber gewonnene Messdaten **22** und von dem CCD-Array **17** gewonnene Messdaten **23** werden einer Einrichtung zur Bildbearbeitung und Simulation **18** zugeführt. Die Einrichtung zur Bildbearbeitung und Simulation **18** enthält im Wesentlichen eine Rechneinheit sowie Speichereinheiten. Sie liefert Regelgrößen für den Betrieb der Ionenstrahl-Quelle **20** (Plasmaparameter), welche der Ionenstrahlquelle **2** zugeführt werden sowie Regelgrößen für den Antriebsmotor **21** (Motoransteuerung), welche dem Antriebsmotor **7** zugeführt werden

[0028] Die [Fig. 1](#) zeigt nur eine mögliche Ausführungsform der Prozessüberwachung beim Plasma-Ätzen, insbesondere beim Proportionaltransfer. Dabei sind aber verschiedene optische Verfahren möglich bei denen das einfallende Licht durch die sich während des Ätzens entwickelnde Topographie beeinflusst und gemessen wird. Das Licht kann sowohl durch das Werkstück hindurchgehen, wie auch vom Werkstück reflektiert werden. Mögliche optische Auswerteverfahren sind die Scatterometrie, die Ellipsometrie, das Shack-Hartmann-Verfahren und die Spektroskopie. Im Unterschied zum Stand der Technik wird die Transfer-Funktion des mit der sich entwickelnden Topographie wechselwirkenden Lichtes simuliert und gemessen. Aus dem Vergleich der Messung zu den Simulationen können dann Rückschlüsse auf den aktuellen Verlauf des Proportional-Transfers gezogen werden. Die optische Transfer-Funktion ist also abhängig von der ursprünglichen Photoresist-Topographie. Der Vergleich der Messung zu den Simulationen wird als Messglied in einem Regelkreislauf verwendet. Die Stellgrößen sind die Plasmaparameter des Ionenstrahls, die den Proportionaltransfer beeinflussen.

9	Positionsgeber
10	Lichtquelle (Laserquelle)
11	Aufweitungslinse
12	Kollimatorlinse
13	Shutter
14	Laserstrahl
15	
16	Fourier-Linse (Sammellinse)
17	Detektorarray (CCD-Array)
18	Einrichtung zur Bildbearbeitung und Simulation
19	
20	Regelgrößen für den Betrieb der Ionenstrahl-Quelle (Plasmaparameter)
21	Regelgrößen für den Antriebsmotor (Motoransteuerung)
22	Messdaten vom Positionsgeber
23	Messdaten vom Detektor-Array

Bezugszeichenliste

1	Vakuumkammer
2	Ionenstrahl-Quelle
3	Ionenstrahl
4	Werkstück (mikrooptisches Element)
5	Fenster
6	Werkstückhalter
7	Antriebsmotor
8	Drehachse

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

- DE 3901017 [0004]
- US 5648849 [0004]

Patentansprüche

1. Anordnung zur Prozessüberwachung und Steuerung beim Plasma-Ätzen eines Werkstückes (4) in einer Vakuumkammer (1) mittels eines Ionenstrahles (3), wobei das Werkstück (4) auf einem Werkstückhalter (6) befestigt und mittels eines Antriebsmotors (7) bewegbar angeordnet ist, eine Ionenstrahlquelle (2) an die Vakuumkammer (1) angekoppelt ist und in der Vakuumkammer (1) vakuumdichte transparente Fenster (5) vorhanden sind, durch welches Licht einer Lichtquelle (10) eintretbar ist und durch welches Lichtanteile von dem Werkstück (4) ausgehend auf ein Detektor austretbar sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Werkstück (2) mittels der Lichtquelle (10) großflächig ausleuchtbar ist und reflektierte, gebeugte sowie gestreute Lichtanteile mittels einer Fourier-Linse (16) auf einem Detektorarray (17) gesammelt werden, wobei die Bewegung des Werkstückes (4) mittels eines Positionsgebers (9) bestimmbar ist, weiterhin die Messdaten (22) des Positionsgebers (9) und die Messdaten (23) des Detektorarrays (17) einer Einrichtung zur Bildbearbeitung und Simulation zuführbar sind, welche und aus den Messdaten Regelgrößen für den Betrieb der Ionenstrahl-Quelle (20) sowie Regelgrößen für den Antriebsmotor (21) liefert.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle (10) eine Laserquelle ist und zwischen dieser und dem Werkstück (4) eine Aufweitungslinse (11) und eine Kollimatorlinse (12) angeordnet sind.

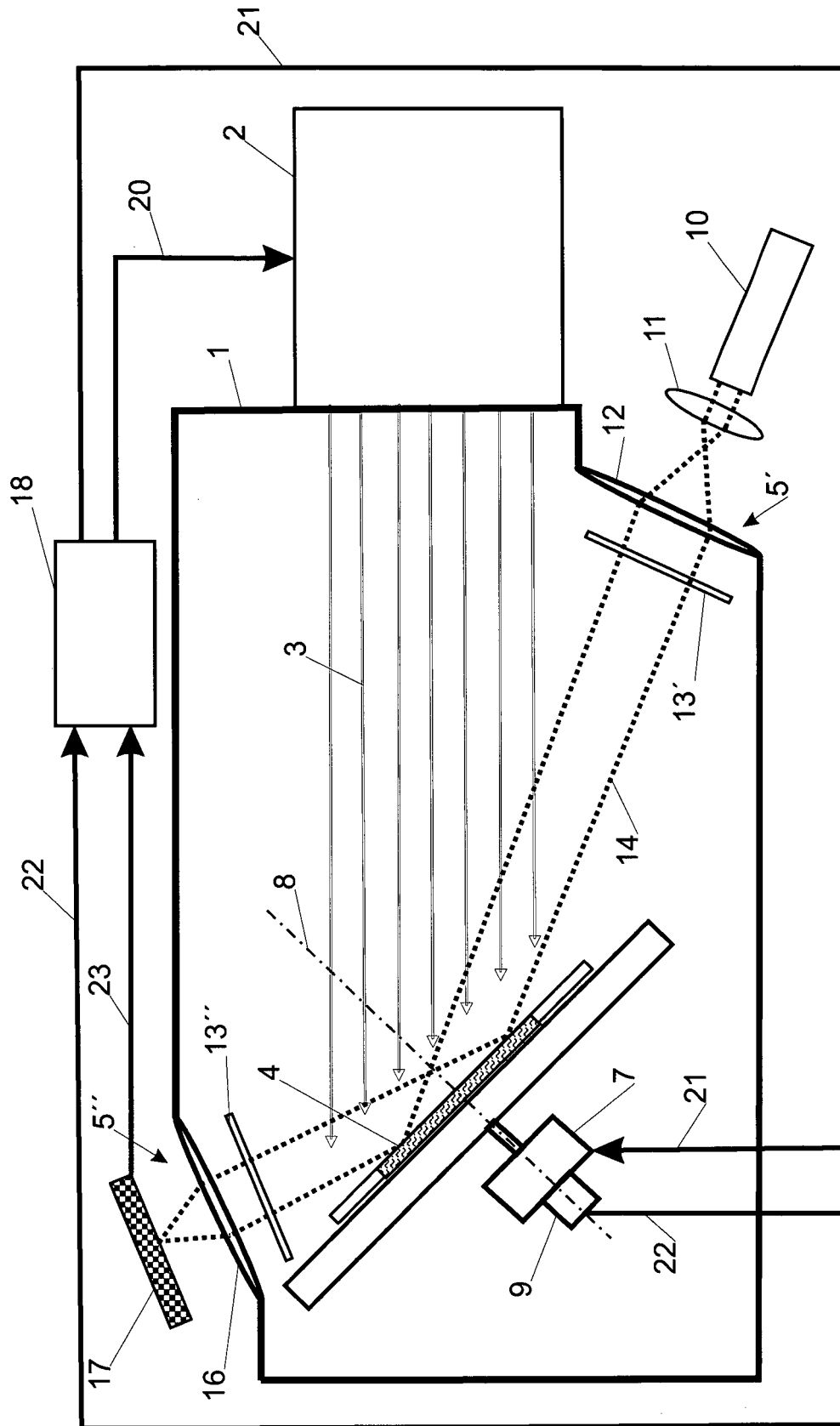
3. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Kollimatorlinse (12) das eine vakuumdichte transparente Fenster (5') bildet.

4. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Fourier-Linse (16) das andere vakuumdichte transparente Fenster (5'') bildet.

5. Anordnung nach Anspruch 3 und/oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass vakuumseitig vor der Fourier-Linse (16) und/oder vor der Kollimatorlinse (12) jeweils ein Shutter (13) angeordnet ist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



Figur 1