



(10) **DE 10 2009 015 713 A1** 2010.10.14

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 015 713.1**
(22) Anmeldetag: **31.03.2009**
(43) Offenlegungstag: **14.10.2010**

(51) Int Cl.⁸: **G01N 1/28 (2006.01)**
G01N 21/00 (2006.01)

(71) Anmelder:
**Globalfoundries Dresden Module One LLC & CO.
KG, 01109 Dresden, DE; Globalfoundries Inc.,
Grand Cayman, KY**

(74) Vertreter:
**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &
Schwanhäusser, 80802 München**

(72) Erfinder:
**Hetzer, Petra, 01219 Dresden, DE; Schaller,
Matthias, 01468 Moritzburg, DE; Chumakov,
Dmytro, 01099 Dresden, DE**

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

DE 10 2007 062272 A1
DE 10 2005 023872 A1
DE 103 47 969 A1
US 73 97 051 B2
US 58 58 851 B2
US 2009/00 45 336 A1
US 2008/03 07 866 A1
US 2006/01 75 192 A1
US 57 46 829 A

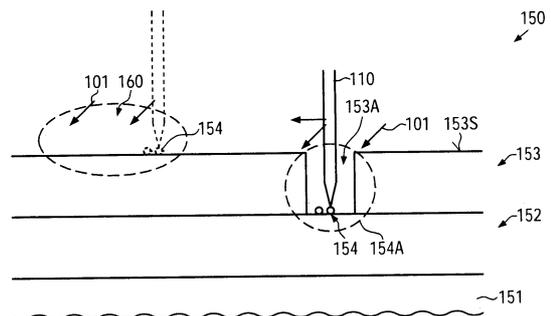
JP 09085437 AA, in: Pat. Abstr. of Japan (1997)

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und System zur Teilchenanalyse in Mikrostrukturbauerelementen durch eine Isolierung von Teilchen**

(57) Zusammenfassung: Während der Herstellung von Mikrostrukturbauerelementen, etwa von integrierten Schaltungen, werden Teilchen analysiert, indem die Teilchen in der Bauteiloberfläche verschoben oder von dieser entfernt werden und indem nachfolgend ein Analyseprozess ausgeführt wird. Folglich kann ein gut definierte Messumgebung nach den Entfernen der Teilchen eingerichtet werden, was auf der Grundlage von Nano-Sonden und dergleichen erfolgen kann. Somit könnten selbst kritische Oberflächenbereiche im Hinblick auf Kontamination und dergleichen auf der Grundlage gut etablierter Analysetechniken überwacht werden.



Beschreibung

Gebiet der vorliegenden Offenbarung

[0001] Im Allgemeinen betrifft die vorliegende Offenbarung das Gebiet der Herstellung von Mikrostrukturen, etwa von integrierten Schaltungen, und betrifft insbesondere Analyseverfahren, die für die Prozessüberwachung und/oder Prozesssteuerung eingesetzt werden.

Beschreibung des Stands der Technik

[0002] Bei der Herstellung von Mikrostrukturen, etwa von integrierten Schaltungen, mikromechanischen Bauelementen, optoelektronischen Komponenten und dergleichen, werden Bauteilstrukturelemente, etwa Schaltungselemente, typischerweise auf einem geeigneten Substrat hergestellt, indem die Oberflächenbereiche einer oder mehrerer Materialschichten strukturiert werden, die zuvor auf dem Substrat gebildet wurden. Da die Abmessungen, d. h. die Länge, die Breite und die Höhe der individuellen Strukturelemente ständig verringert wird, um das Leistungsverhalten und die Kosteneffizienz zu verbessern, müssen diese Abmessungen innerhalb eng gesetzter Toleranzen bleiben, um die erforderliche Funktionsfähigkeit des fertiggestellten Bauelements sicherzustellen. Für gewöhnlich ist eine sehr große Anzahl an Prozessschritten auszuführen, um eine Mikrostruktur fertigzustellen, und daher müssen die Abmessungen der Strukturelemente während der diversen Fertigungsphasen genau überwacht werden, um die Prozesssteuerung aufrecht zu erhalten und um weitere kostenintensive Prozessschritte zu vermeiden, die auf Grund von Prozessanlagen erfolgen können, die die Spezifikationen in den diversen Fertigungsphasen nicht einhalten.

[0003] Z. B. muss in komplexen CMOS-Bauelementen eine sehr große Anzahl an Transistoren, etwa n-Kanaltransistoren und p-Kanaltransistoren, in und über einer Halbleiterschicht hergestellt werden, wobei diese Transistorelemente kritische Bauteilstrukturelemente, etwa Gateelektroden und dergleichen, aufweisen, die eine kritische Abmessung von ungefähr 50 nm und darunter in aktuell verfügbaren Produkten besitzen. Beim stetigen Verringern der kritischen Abmessungen der Bauteilstrukturelemente müssen häufig auch neue Materialien und Prozessstrategien eingerichtet werden, um die Zuverlässigkeit, das Leistungsverhalten und die Kosteneffizienz weiter zu verbessern. Beispielsweise erfordert die Herstellung komplexer Feldeffekttransistoren neue Technologien auf Grund der örtlichen Begrenzungen, die durch konventionelle planare Transistorstrukturen auferlegt werden, die auf einem Gatedielektrikummaterial in Form von Siliziumdioxid, Siliziumoxinitrid oder anderen „konventionellen“ dielektrischen Materialien beruhen, da diese Materialien typischerweise

deutlich erhöhte Leckströme besitzen, woraus sich eine unerwünschte Wärmeerzeugung ergibt, die nicht mit den Erfordernissen für viele Arten von Halbleiterbauelementen kompatibel ist. Die Einschränkungen von gut etablierten und gut bewährten dielektrischen Materialien in den Gateelektrodenstrukturen haben neue Technologien in Gang gebracht, etwa nicht-planare Transistorkonfigurationen und komplexe Gateelektrodenstrukturen. Beispielsweise kann die Skalierbarkeit Transistorkonfigurationen deutlich erweitert werden unter Anwendung komplexer Gateelektrodenstrukturen auf der Grundlage von dielektrischen Materialien mit großem ϵ , die als Materialien zu verstehen sind, die eine Dielektrizitätskonstante von 10,0 oder höher besitzen, in Verbindung mit metallenthaltenden Elektrodenmaterialien. Folglich müssen neue Materialien, etwa dielektrische Materialien mit großem ϵ und dergleichen, in den gesamten Fertigungsablauf eingebunden werden, wodurch geeignete Fertigungstechniken zum Abscheiden und zum Strukturieren dieser Materialien erforderlich sind. Aus diesem Grunde werden auch neue Arten von Reaktionsprodukten während der Bearbeitung dieser Materialien erzeugt, die ebenfalls eine gründliche Überwachung und Untersuchung im Hinblick auf Wechselwirkungen mit anderen Materialien und Fertigungsprozessen erfordern.

[0004] In noch anderen Vorgehensweisen zur Verbesserung des Transistorleistungsverhaltens komplexer integrierter Schaltungen werden verformungsinduzierende Mechanismen in den gesamten Fertigungsablauf zur Herstellung von Feldeffekttransistoren eingebunden, da ein verformtes Kanalgebiet eines siliziumbasierten Transistors bessere Transistoreigenschaften auf Grund einer modifizierten Ladungsträgerbeweglichkeit bietet, die durch das verformte siliziumbasierte Material hervorgerufen wird. Zu diesem Zweck werden verformungsinduzierende Halbleiterlegierungen, etwa Silizium/Germanium, Silizium/Kohlenstoff und dergleichen, in die aktiven Gebiete in lokaler Weise eingebaut, wodurch selektiv eine gewünschte Art an Verformung in einzelnen Transistorelementen hervorgerufen wird. Auch in diesem Falle sind aufwendige Strukturierungs- und Abscheidetechniken erforderlich, die innerhalb streng festgelegter Prozesstoleranzen ablaufen müssen, um damit die gesamte Bauteilvariabilität auf einem geringen Niveau zu halten.

[0005] Nach dem Fertigstellen der Schaltungselemente in einer Bauteilebene komplexer integrierter Schaltungen muss eine Kontaktebene hergestellt werden, die als Schnittstelle zwischen den Schaltungselementen in der Bauteilebene und einem komplexen Metallisierungssystem betrachtet werden kann, wobei das Metallisierungssystem ein Verdrahtungsnetzwerk repräsentiert, um die einzelnen Transistorelemente entsprechend der erforderlichen Schaltungsfunktion zu verbinden. Da zumindest in ei-

nigen Bauteilgebieten eine sehr hohe Dicht einzelner Schaltungselemente vorzusehen ist, muss auch die Kontaktebene auf der Grundlage äußerst komplexer Abscheide- und Strukturierungstechniken erfolgen, um damit geeignete dielektrische Zwischenschichtmaterialien bereitzustellen und diese zu strukturieren, so dass Kontaktöffnungen gebildet und diese mit einem geeigneten metallhaltenden Material gefüllt werden. Beispielsweise ist die Herstellung von Kontaktöffnungen in einem dielektrischen Zwischenschichtmaterial eine äußerst herausfordernde Fertigungsphase in sehr komplexen integrierten Schaltungen, die beispielsweise dicht gepackte Speicherbereiche und dergleichen aufweisen, da dicht gepackte Kontaktöffnungen mit einem großen Aspektverhältnis und mit kritischen Abmessungen von ungefähr 100 nm und deutlich weniger in zuverlässiger und vorhersagbarer Weise zu bilden sind. Somit übt die Wechselwirkung der unterschiedlichen Materialien und Prozesse einen wesentlichen Einfluss auf die gesamte Produktionsausbeute in modernen Halbleiterfertigungsstätten aus.

[0006] Ferner sind typischerweise sehr komplexe Metallisierungssysteme in modernen Halbleiterbauelementen erforderlich, wobei die Komplexität des Metallisierungssystems in der Tatsache begründet liegt, dass eine Vielzahl von Metallisierungsschichten aufeinander anzuordnen sind, wobei auch komplexe Materialsysteme in jeder der Metallisierungsschichten vorzusehen sind. Beispielsweise wird in modernen integrierten Schaltungen mit einer sehr großen Anzahl an Schaltungselementen typischerweise Kupfer in Verbindung mit komplexen dielektrischen Materialien, sogenannte dielektrische Materialien mit kleinem ϵ oder ultra-kleinem ϵ (ULK) angewendet, um die Signalausbreitungsverzögerung in dem Metallisierungssystem zu verringern. Auf Grund der inhärenten Eigenschaften des Kupfers, im wesentlichen keine flüchtigen Ätzreaktionsprodukte auf der Grundlage der meisten gut etablierten plasmaunterstützten Ätzchemien zu erzeugen, wird typischerweise eine Prozesstechnik angewendet, in der zunächst ein dielektrisches Material strukturiert wird, so dass entsprechende Öffnungen, etwa Gräben und Kontaktöffnungen, gebildet werden, die dann mit Kupfermaterial mittels elektrochemischer Abscheidetechniken gefüllt werden. Auf Grund der Tatsache, dass Kupfer leicht in Siliziumdioxid, Silizium, einer Vielzahl von dielektrischen Materialien mit kleinem ϵ und dergleichen diffundiert, ist ein zuverlässiger Einschluss des Kupfers erforderlich, da selbst geringste Mengen an Kupfer, die zu Bauteilgebieten, etwa aktiven Gebieten der Transistoren, wandern, zu einer deutlichen Änderung der gesamten Bauteileigenschaften führen können. Aus diesem Grunde werden komplexe Barrierenmaterialsysteme vorgesehen, etwa in Form von Tantal, Tantalnitrid, Ruthenium, Titan, Titanitrid und dergleichen, die für eine gewünschte diffusionshindernde Wirkung sorgen und die auch die mechanische und

chemische Integrität des Kupfermaterials gewährleisten. Obwohl kupferbasierte Verbindungsstrukturen einen deutlich geringeren elektrischen Widerstand im Vergleich zu beispielsweise Aluminium besitzen, führen dennoch die geringeren Abmessungen der Verbindungsstrukturen zu sehr hohen Stromdichten, wodurch ebenfalls starke Grenzflächen zwischen dem Kupfermaterial und dem umgebenden dielektrischen Material erforderlich sind, die durch das Barrierenmaterial und entsprechende Deckmaterialien bereitzustellen sind, um damit das erforderliche Leistungsverhalten im Hinblick auf die Elektromigration zu erreichen. Folglich müssen in der komplexen Fertigungssequenz zur Herstellung von Metallisierungsschichten empfindliche dielektrische Materialien auf der Grundlage geeigneter plasmaunterstützter Ätzprozesse strukturiert werden, wodurch ebenfalls eine Vielzahl von Ätzreaktionsprodukten erzeugt werden, die einen wesentlichen Einfluss auf die weitere Bearbeitung des Bauelements ausüben. Nach der Strukturierung der empfindlichen dielektrischen Materialsysteme werden ein oder mehrere Barrierenmaterialien möglicherweise in Verbindung mit Saatmaterialien durch sehr aufwendige Abscheidetechniken aufgebracht, wobei das Prozessergebnis wesentlich von den Oberflächenbedingungen der dielektrischen Materialien, von entsprechenden Defekten und Teilchen, die darauf ausgebildet sind, und dergleichen abhängt. Danach werden die Öffnungen, etwa die Gräben und Kontaktöffnungen, mit den Kupfermaterialien durch aufwendige elektrochemische Abscheidetechniken gefüllt, die gut definierte Oberflächenbedingungen der zuvor abgeschiedenen Barrieren/Saat-Materialien erfordern, um damit das erforderliche Füllverhalten von unten nach oben zu erreichen, ohne dass durch die Abscheidung hervorgerufene Unregelmäßigkeiten erzeugt werden, die ansonsten zu einem Kontaktausfall oder zu einem eingeschränkten elektrischen Leistungsverhalten führen können.

[0007] Daraufhin wird überschüssiges Material, etwa Kupfer in Verbindung mit Barrieren- und Saatmaterialien entfernt, beispielsweise unter Anwendung von Polierverfahren und dergleichen, wobei häufig eine erhöhte mechanische Belastung, beispielsweise durch einen CMP-(chemisch-mechanischen Polier-)Prozess hervorgerufen wird, die zu der Erzeugung einer hohen Defektrate auf Grund der Natur des Polierprozesses und auf Grund der Tatsache führt, dass das empfindliche dielektrische Material typischerweise eine geringere mechanische Stabilität im Vergleich zu konventionellen dielektrischen Materialien, etwa Siliziumdioxid und Siliziumnitrid, aufweist. Beispielsweise wird insbesondere am Randgebiet von Substraten eine merkliche Materialablösung beobachtet, die zu einem erhöhten Grad an Teilchenkontamination freiliegender Oberflächenbereiche des Substrats und der Prozessanlagen und Transportbehälter führen kann.

[0008] Somit müssen in den diversen Phasen während der Herstellung komplexer Mikrostrukturbauelemente, etwa von integrierten Schaltungen, Oberflächenbedingungen, etwa Materialeigenschaften, das Vorhandensein von Teilchen, deren laterale Größe und Eigenschaften und dergleichen, gründlich beobachtet werden, um den Prozess der diversen Fertigungsphasen innerhalb der eng gesetzten Toleranzen zu halten. Aus diesem Grunde wurden eine Vielzahl von komplexen Inspektions- und Analysetechniken entwickelt, die während der diversen Fertigungsphasen angewendet werden können. Beispielsweise sind häufig optische Inspektionsverfahren zum Erkennen von Teilchen verfügbar, wobei jedoch auf Grund der beschränkten Auflösung dieser Techniken das Erkennen auf Teilchen mit moderat großer Größe beschränkt ist, so dass kritische Bauteilbereiche, etwa Bereiche mit einer ausgeprägten Oberflächen-topographie, etwa auf Grund des Vorhandenseins von Gräben, Kontaktöffnungen und dergleichen, keine aussagekräftigen Ergebnisse liefern, da typischerweise die lateralen Abmessungen dieser Bauteilstrukturelemente deutlich kleiner sind im Vergleich zu der Wellenlänge der optischen Inspektionsanlage. In anderen Fällen werden sehr empfindliche und effiziente Analyseverfahren auf der Grundlage der Infrarotspektroskopie unter Anwendung eines Interferenz modulierten Sondierungsstrahles bereitgestellt, der nach Wechselwirkung mit einem interessierenden Material effizient mittels Fourier-Transformation in ein Spektrum umgewandelt werden kann, das wiederum im Hinblick auf chemische Eigenschaften des interessierenden Materials untersucht werden kann. Obwohl diese Technik schnell und genau Analyseergebnisse ergibt, ist dessen räumliche Auflösung im Vergleich zu anderen optischen Inspektionsverfahren geringer, so dass lediglich eine durchschnittliche Charakterisierung der chemischen Eigenschaften erhalten wird. Mit anderen aufwendigen Analyseverfahren, etwa AFM (Atomkräftemikroskopie), kann die Größe und die Form von Teilchen im Submikrometerbereich erkannt werden, indem ein entsprechender Oberflächenbereich abgetastet wird, wobei jedoch andere Eigenschaften, etwa chemische Eigenschaften, chemische Bindungen innerhalb des interessierenden Materials und dergleichen, nur schwer auf der Grundlage dieser Verfahren erkannt werden können. In ähnlicher Weise kann die Elektronenmikroskopie im Transmissionsmodus (TEM) effizient angewendet werden, um die Anwesenheit und die Größe und die Form von Teilchen zu bestimmen, selbst wenn diese auf Oberflächenbereichen mit einer sehr ausgeprägten Topographie vorhanden sind, beispielsweise in Kontaktöffnungen und dergleichen, wobei jedoch andere Eigenschaften, etwa chemische Eigenschaften und dergleichen, auf der Grundlage der Elektronenmikroskopie nur schwer erkennbar sind. Ferner sind sehr aufwendige Probenpräparationen erforderlich, die typischerweise die Zerstörung der interessierenden Probe erfordern. In vielen dieser komplexen Ana-

lysetechniken ergibt sich die Schwierigkeit bei der Bestimmung von Eigenschaften der interessierenden Teilchen aus der Tatsache, dass die lokale Nachbarschaft des Teilchens ebenfalls einen wesentlichen Einfluss auf die Messergebnisse ausübt, so dass die Reaktion des interessierenden Teilchens nur schwer von der Reaktion des benachbarten Materials unterschieden werden kann.

[0009] Im Hinblick auf die zuvor beschriebene Situation betrifft die vorliegende Offenbarung Techniken und Systeme zum Bestimmen von Materialeigenschaften etwa der chemischen Zusammensetzung, den chemischen Bindungen, der Erscheinung der Teilchen und dergleichen, während der Herstellung von Mikrostrukturbauelementen, wobei eines oder mehrere der zuvor erkannten Probleme vermieden oder zumindest reduziert wird.

Überblick über die vorliegende Offenbarung

[0010] Im Allgemeinen betrifft die vorliegende Offenbarung Techniken und Systeme, in denen eine Materialprobe einer Mikrostruktur, etwa eines Halbleiterbauelements während diverser Fertigungsphasen, mit einem verbesserten Signal/Rausch-Verhältnis analysiert werden kann, indem eine geeignete Messumgebung für die interessierende Materialprobe, etwa ein Teilchen, „erzeugt“ wird, wobei die Messumgebung eine gut definierte Antwort bei einer vorgegebenen Analysetechnik ergibt, wodurch eine effiziente Detektion von Materialeigenschaften, etwa der chemischen Zusammensetzung, chemische Bindungen und dergleichen, möglich ist. Durch Bereitstellen einer definierten Messumgebung kann somit die Materialprobe, etwa ein Teilchen von seiner Nachbarschaft in dem Mikrostrukturbauelement „isoliert“ werden, wobei diese Nachbarschaft konventioneller Weise ein Signal stört, das von dem interessierenden Teilchen oder Material erhalten wird. In einigen anschaulichen hierin offenbarten Aspekten wird die Isolation der interessierenden Materialprobe oder des interessierenden Teilchens bewerkstelligt, indem das Teilchen aus dem betrachteten Oberflächenbereich entfernt wird und in dem nachfolgend ein Analyseprozess auf der Grundlage einer geeigneten Technik ausgeführt wird. Beispielsweise wird das Entfernen auf der Grundlage einer Sonde ausgeführt, etwa einer Nano-Sonde und dergleichen, die für eine gewünschte räumliche Aufsorgung sorgt, so dass eine effiziente Materialanalyse während der diversen Fertigungsphasen bei der Herstellung von Mikrostrukturbauelementen, etwa von integrierten Schaltungen und dergleichen, erreicht wird. In anderen Fällen wird zumindest eine Verschiebung des interessierenden Teilchens innerhalb oder auf dem interessierenden Oberflächenbereich bewerkstelligt, beispielsweise durch Positionieren des interessierenden Teilchens innerhalb einer „Messumgebung“, d. h. in einem Referenzgebiet, das der Analysetechnik vor dem Positi-

onieren des einen oder mehreren Teilchen darin unterworfen wurde. In einigen anschaulichen hierin offenbarten Ausführungsformen wird der eigentliche Analyseprozess nach dem Entfernen des Teilchens ausgeführt, wenn dieses weiterhin an der Sonde haftet, wodurch eine schnelle und effiziente Erkennung von Eigenschaften, etwa der chemischen Zusammensetzung, dem chemischen Bindungen innerhalb des interessierenden Materials und dergleichen, möglich ist, wobei die geeignete Analysetechnik unabhängig von dem Mikrostrukturbauelement eingesetzt wird, d. h., es können sogar sehr aufwendige Analysetechniken, etwa die Elektronenmikroskopie und dergleichen, angewendet werden, die eine Probenpräparation erfordern, und somit können diese Techniken als „zerstörungsfreie“ Analysetechniken durchgeführt werden, da die betrachtete Mikrostruktur durch die weitere Analyse nicht beeinflusst wird. In anderen Fällen werden schnelle und effiziente Analysetechniken, etwa FTIR und dergleichen eingesetzt, wodurch für eine „linien-interne“ Überwachung von Materialeigenschaften gesorgt wird, beispielsweise von kontaminierenden Teilchen und dergleichen, wobei die Wechselwirkung zwischen der Sonde und dem Mikrostrukturbauelement auf vordefinierte Testbereiche beschränkt wird, wodurch der Einfluss auf andere Bauteilbereiche auf einem geringen Niveau gehalten wird. Da die Größe der Sonde in geeigneter Weise an die Bauteilstrukturelemente des Mikrostrukturbauelements angepasst werden kann, kann eine Bestimmen der Teilcheneigenschaften in komplexen Bauteiltopographien, beispielsweise innerhalb von Gräben und Kontaktöffnungen aufwendiger Metallisierungssysteme und dergleichen, erreicht werden, wobei das Entfernen des interessierenden Teilchens und des nachfolgende Analyse die Anwendung von Techniken ermöglichen, die grundsätzlich eine räumliche Auflösung besitzen, die deutlich größer im Vergleich zu kritischen Abmessungen ist, wie sie durch die betrachtete Bauteiltopographie definiert sind. Folglich können sogar Techniken, etwa FTIR und optische Inspektionsverfahren effizient eingesetzt werden, obwohl eine entsprechende Wellenlänge des sondierenden Strahls dieser Verfahren deutlich länger ist im Vergleich zu den betrachteten kritischen Abmessungen. Auf Grund der mechanischen Verschiebung der interessierenden Teilchen kann sogar eine Akkumulation des Materials bewerkstelligt werden, wodurch auch die Höhe der Antwort auf einen sondierenden Strahl der nachfolgenden Analysetechnik verbessert wird.

[0011] Ein anschauliches hierin offenbartes Verfahren betrifft das Analysieren einer interessierenden Materialprobe, die auf einer Oberfläche eines Mikrostrukturbauelements angeordnet ist. Das Verfahren umfasst das Entfernen der Materialprobe von der Oberfläche durch Kontaktieren der Materialprobe mit einer Sonde. Des weiteren umfasst das Verfahren das Ausführen eines Analyseprozesses an der Mate-

rialprobe entfernt von der Oberfläche.

[0012] Ein noch weiteres anschauliches hierin offenbartes Verfahren umfasst das Detektieren eines Teilchens auf der Oberfläche eines Mikrostrukturbauelements, wobei das Teilchen eine lokale Nachbarschaft in der Oberfläche besitzt. Das Verfahren umfasst ferner das Erhalten von Referenzmessdaten von einer definierten Messumgebung und Positionieren des Teilchens in der definierten Messumgebung ohne die lokale Nachbarschaft. Des weiteren umfasst das Verfahren das Ausführen eines Analyseprozesses an den Teilchen in der definierten Messumgebung auf der Grundlage der Referenzmessdaten.

[0013] Ein anschauliches hierin offenbartes Teilchenbehandlungssystem umfasst eine Sonde zum Kontaktieren einer Oberfläche eines strukturierten Mikrostrukturbauelements. Das System umfasst ferner einen Substrathalter zur Aufnahme des Mikrostrukturbauelements, und ein Abtastsystem, das funktionsmäßig mit der Sonde und dem Substrathalter verbunden ist, wobei das Abtastsystem ausgebildet ist, die Sonde auf einen Oberflächenbereich des Mikrostrukturbauelements zu positionieren. Des weiteren umfasst das System eine Teilchenaufnahmeeinheit, die funktionsmäßig mit der Sonde und/oder dem Substrathalter verbunden ist, wobei die Teilchenaufnahmeeinheit ausgebildet ist, das Anhaften eines interessierenden Teilchens an der Sonde zu initiieren und das Teilchen von der Oberfläche zu entfernen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0014] Weitere Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung sind in den angefügten Patentansprüchen definiert und gehen deutlicher aus der folgenden detaillierten Beschreibung hervor, wenn diese mit Bezug zu den begleitenden Zeichnungen studiert wird, in denen:

[0015] [Fig. 1a](#) schematisch eine Querschnittsansicht eines Mikrostrukturbauelements mit einer strukturierten Oberfläche zeigt, die interessierende Teilchen aufweist, etwa Kontaminationsstoffe und dergleichen, die innerhalb der Oberfläche des Bauelements auf der Grundlage einer Sonde verschoben werden, um ein oder mehrere Teilchen innerhalb einer gut definierten Messumgebung gemäß anschaulicher Ausführungsformen zu positionieren;

[0016] [Fig. 1b](#) schematisch ein Mikrostrukturbauelement mit einer Oberflächentopographie zeigt, das beispielsweise ein Metallisierungssystem eines Halbleiterbauelements repräsentiert, wobei eine Sonde mit Teilchen an diversen Oberflächenbereichen gemäß anschaulicher Ausführungsformen in Kontakt gebracht wird;

[0017] [Fig. 1c](#) schematisch eine Querschnittsansicht des Mikrostrukturbauelements und einer Sonde zeigt, die ein oder mehrere interessierende Teilchen „aufnimmt“, um einen weiteren Analyseprozess entfernt von der Oberfläche gemäß anschaulicher Ausführungsformen auszuführen;

[0018] [Fig. 1d](#) bis [Fig. 1g](#) schematisch Querschnittsansichten des Mikrostrukturbauelements in Kontakt mit diversen Sonden zum effizienten Entfernen eines oder mehrerer interessierender Teilchen von der Oberfläche für eine weitere Analyse gemäß noch weiterer anschaulicher Ausführungsformen zeigen;

[0019] [Fig. 1h](#) schematisch ein Teilchenbehandlungssystem zeigt, in welchem ein oder mehrere Teilchen von einem Mikrostrukturbauelement entfernt und unter Anwendung zumindest eines Teils einer entsprechenden Sonde als eine Messumgebung gemäß anschaulicher Ausführungsformen analysiert wird; und

[0020] [Fig. 1i](#) schematisch das Teilchenbehandlungssystem gemäß noch weiterer anschaulicher Ausführungsformen zeigt, in denen ein optisches Erkennungsverfahren nach dem Entfernen eines oder mehrerer Teilchen angewendet wird, ohne dass die entsprechende Sonde manipuliert wird.

Detaillierte Beschreibung

[0021] Obwohl die vorliegende Offenbarung mit Bezug zu den Ausführungsformen beschrieben ist, wie sie in der folgenden detaillierten Beschreibung sowie in den Zeichnungen dargestellt sind, sollte beachtet werden, dass die folgende detaillierte Beschreibung sowie die Zeichnungen nicht beabsichtigen, die vorliegende Offenbarung auf die speziellen anschaulichen offenbarten Ausführungsformen einzuschränken, sondern die beschriebenen anschaulichen Ausführungsformen stellen lediglich beispielhaft die diversen Aspekte der vorliegenden Offenbarung dar, deren Schutzbereich durch die angefügten Patentansprüche definiert ist.

[0022] Die vorliegende Offenbarung betrifft im Allgemeinen Techniken und Teilchenbehandlungssysteme, in denen ein oder mehrere entfernbare Materialprobe oder ein Teilchen einem Analyseprozess auf der Grundlage eines beliebigen geeigneten Sondierungsstrahles oder einer Strahlung unterzogen wird, wobei das Teilchen physikalisch auf der Grundlage einer Sonde versetzt wird, um damit das gesamte Leistungsverhalten des nachfolgenden Analyseprozesses zu verbessern. In einigen anschaulichen hierin offenbarten Ausführungsformen ist das Verschieben des interessierenden Teilchens mit einem Entfernen von entsprechenden Oberfläche eines Mikrostrukturbauelements verknüpft wodurch das Teilchen in effizienter Weise von seiner lokalen Nachbarschaft

in den Mikrostrukturbauelement isoliert wird, die konventioneller Weise in einem entsprechenden Analyseprozess eine deutliche Störung darstellt. In anderen Fällen wird das Teilchen innerhalb des Mikrostrukturbauelements verschoben, um damit bessere Messbedingungen zu schaffen, beispielsweise im Hinblick auf das Hintergrundrauschen und dergleichen, wodurch ebenfalls zu einer höheren Messempfindlichkeit beigetragen wird. Wie zuvor erläutert ist, ist eine Vielzahl von Messsystemen verfügbar, in denen ein Kontakt einer Sonde mit einer interessierenden Oberfläche angewendet wird, um Eigenschaften einer Oberflächentopographie oder sogar von erweiterten Oberflächenbereichen im Hinblick auf physikalische Eigenschaften, etwa die Reaktion auf das Anregen auf der Grundlage von Ultraschall und dergleichen, zu bestimmen. Diese Techniken sind jedoch weniger effizient beim Erkennen von chemischen Eigenschaften, chemischen Bindungen, der optischen Erscheinung und dergleichen bei einer gewünschten hohen räumlichen Auflösung, insbesondere wenn das interessierende Material ein Teilchen repräsentiert, das eine mehr oder minder ausgeprägte Haftung an dem darunter liegenden Oberflächenbereich besitzt. Gemäß den hierin offenbarten Prinzipien kann somit eine geeignete Sonde, etwa eine Nano-Sonde, die aus einem beliebigen geeigneten Material, etwa leitenden Materialien, dielektrischen Materialien und dergleichen, aufgebaut ist, Kohlenstoffnanoröhrchen, geeignet präparierte optischen Fasern, wenn eine moderat grobe räumliche Auflösung ausreichend ist, und dergleichen in Verbindung mit einem Abtastsystem eingesetzt werden, um auf einen gewünschten Oberflächenbereich eines Mikrostrukturbauelements zuzugreifen, um damit einem Kontakt mit dem interessierenden Teilchen zu ermöglichen. Somit kann eine gewünschte hohe räumliche Auflösung erreicht werden, in dem eine geeignete Form und Konfiguration der Sonde ausgewählt wird, beispielsweise mit einer Spitze, einem schaufelartigen Bereich, einen schabenartigen Aufbau und dergleichen, um damit das interessierende Teilchen auf Grund der Wechselwirkung mit der Sonde zu verschieben oder zu entfernen. Folglich können die Konfiguration und die Größe der Sonde ebenfalls im Hinblick auf die Oberflächentopographie des betrachteten Mikrostrukturbauelements eingestellt werden, so dass in effizienter Weise beliebige Arten von Bauteilstrukturbauelementen sondiert werden können, etwa Kontaktöffnungen, Gräben und dergleichen, die ohne Verwendung destruktiver Techniken in konventionellen Strategien nur schwer sondiert werden können. Beispielsweise können kritische Bereiche, etwa die Unterseite von Kontaktöffnungen und Kontaktdurchführungen im Hinblick auf Kontaminationsstoffe oder andere Teilchen untersucht werden, und diese Teilchen können verschoben werden, beispielsweise können diese Teilchen auf erwarteten Oberflächenbereichen positioniert werden, die für effiziente Analysetechniken zugänglich sind oder Teilchen können

vollständig von dem Mikrostrukturbauelement entfernt und in einer entsprechenden Messumgebung angeordnet werden. Beispielsweise können ein oder mehrere interessierende Teilchen auf Grund der Wechselwirkung mit der Sonde entfernt werden, die dann als Teil der Messumgebung dienen kann, so dass eine Analyseprozess ausgeführt werden kann, ohne dass das interessierende Teilchen von der Sonde zu entfernen ist. Auf diese Weise ist eine schnelle und effiziente Anwendung einer Vielzahl von Messtechniken möglich, etwa von AES (Auger Elektronenspektroskopie), SIMS (Sekundärionenmassenspektroskopie), FTIR (Fourier-transformierte Infrarotspektroskopie), Raman-Spektroskopie, TEM (Transmissionselektronenmikroskopie) und dergleichen, nachdem das Teilchen entfernt ist.

[0023] Mit Bezug zu den begleitenden Zeichnungen werden nunmehr weitere anschauliche Ausführungsformen detaillierter beschrieben.

[0024] [Fig. 1a](#) zeigt schematisch eine Querschnittsansicht eines Mikrostrukturbauelements **150** mit einem Substrat **151**, über welchem eine oder mehrere Schichten **152**, **153** gebildet sind. Beispielsweise repräsentiert das Bauelement **150** ein beliebiges Mikrostrukturbauelement, das auf der Grundlage mikroelektronischer oder mikromechanischer Techniken hergestellt werden kann, etwa in Form von Halbleiterbauelementen und dergleichen. Z. B. repräsentiert das Substrat **151** ein Trägermaterial, um darüber ein Halbleitermaterial herzustellen, in und über welchem Schaltungselemente gebildet werden. Beispielsweise repräsentiert die Schicht **152** eine Bauteilebene mit derartigen Schaltungselementen, die einfach halber in [Fig. 1a](#) nicht gezeigt sind. Ferner repräsentiert die Schicht **153** eine beliebige Materialschicht, etwa eine dielektrische Schicht möglicherweise in Verbindung mit zusätzlichen Materialien, etwa Barrierenmaterialien und dergleichen, in der eine Oberflächentopographie vorgesehen ist. Z. B. repräsentiert eine Oberfläche **153s** die Oberfläche des Bauelements **150** gemäß der Fertigungsphase, die in [Fig. 1a](#) gezeigt ist, und umfasst ein oder mehrere Bauteilstrukturelemente **153a**, etwa eine Öffnung und dergleichen. Das Bauteilstrukturelement **153** besitzt eine kritische Abmessung, beispielsweise die laterale Erstreckung in [Fig. 1a](#), von mehreren 10 nm oder weniger bis mehrere 100 nm und mehr, wobei dies von den gesamten Entwurfsregeln für das Bauelement **150** und der jeweiligen Ebene, die durch die Materialschicht **153** repräsentiert ist, abhängt.

[0025] Im Hinblick auf Fertigungsstrategien zur Herstellung des Mikrostrukturbauelements **150** sei angemerkt, dass ein beliebiges Fertigungsschema angewendet werden kann, wie es beispielsweise zuvor erläutert ist, entsprechend den Bauteil- und Prozessanforderungen. Wie zuvor beschrieben ist, können sich während der Fertigungssequenz spezielle Teilchen

auf der Oberfläche **153s** anlagern, etwa Kontaminationsstoffe oder andere Materialproben, die einen wesentlichen Einfluss auf die weitere Bearbeitung des Bauelements **150** und auch auf das schließlich erreichte Leistungsverhalten ausüben können. Z. B. sind Teilchen **154** an der Unterseite der Öffnung **153a** angeordnet und deren entsprechende Eigenschaften, etwa die chemische Zusammensetzung, chemische Bindungen, die Größe und die Form und dergleichen, sind zu bestimmen. Wie zuvor erläutert ist, sind die Teilchen **154** typischerweise in einer lokalen Nachbarschaft **154a** angeordnet, die als die Materialien zu verstehen ist, die das Teilchen **154** umgeben und die ebenfalls auf einen sondierenden Strahl **101** reagieren, wenn eine spezielle Analysetechnik eingesetzt wird. Beispielsweise wird ein optischer Strahl verwendet, wobei typischerweise die räumliche Auflösung deutlich geringer ist, so dass die Nachbarschaft **154a** als Ganzes auf den Strahl reagiert, so dass die spezielle Antwort der Teilchen **154** schwer herauszulösen ist. In der gezeigten Ausführungsform besitzt eine Sonde **110** eines Teilchenbehandlungssystems (in [Fig. 1a](#) nicht gezeigt), das nachfolgend detaillierter beschrieben ist, eine geeignete Konfiguration, d. h. Größe und Form, um die Form **153a** zu sondieren, wodurch ebenfalls ein Kontakt mit dem Teilchen **154** ermöglicht wird. Wie nachfolgend detaillierter beschrieben ist, sind eine Vielzahl von Sonden verfügbar oder können in geeigneter Weise hergestellt werden, so dass diese mit der Oberfläche **153s** in Kontakt gebracht werden können. Bei Kontakt mit der Sonde **110** haften ein oder mehrere der Teilchen **154** an der Sonde **110**, die dann so bewegt wird, dass das eine oder die mehreren Teilchen **154** versetzt werden, was in der gezeigten Ausführungsform zu einer Positionierung des einen oder der mehreren Teilchen **154** in einem Gebiet **160** resultiert, das den sondierenden Strahl **101** zugänglich ist. Folglich kann das Gebiet **160** durch den Strahl **101** ohne das Teilchen **154** sondiert werden, wodurch Referenzdaten gewonnen werden, die dann in effizienter Weise beim Sondieren des Gebiets **160** verwendet werden, wenn dieses das eine oder die mehreren Teilchen **154** enthält. Auf diese Weise kann das Gebiet **160** als eine gut definierte Messumgebung im Hinblick auf eine Analysetechnik unter Anwendung des sondierenden Strahls **101** betrachtet werden. Beispielsweise repräsentiert der sondierende Strahl **101** einen optischen Strahl, einen Infrarotstrahl und dergleichen, um die gewünschte Information im Hinblick auf einige Eigenschaften des Teilchens **154** zu gewinnen.

[0026] [Fig. 1b](#) zeigt schematisch das Mikrostrukturbauelement **150** gemäß weiterer anschaulicher Ausführungsformen, in denen das Mikrostrukturbauelement **150** ein Halbleiterbauelement repräsentiert. In der gezeigten Ausführungsform repräsentieren die Schicht **152**, **153** Metallisierungsschichten eines Metallisierungssystems des Bauelements **150**, wobei die Metallisierungsschicht **152** ein Metallgebiet **155**

aufweist, etwa in Form eines kupferbasierten Metallgebiets, das in einem dielektrischen Material, etwa einem dielektrischen Material mit kleinem ϵ , und dergleichen, eingebettet ist. In ähnlicher Weise repräsentiert die Schicht **153** eine Metallisierungsschicht mit einem dielektrischen Material **156**, etwa einem dielektrischen Material mit kleinem ϵ , einem ULK-Material und dergleichen, in welchem die Öffnung **153a** einen Graben und/oder eine Kontaktlochoffnung gemäß den gesamten Entwurfsregeln der Metallisierungsschicht **153** repräsentiert. Wie gezeigt, auch in diesem Falle können Teilchen **154** durch die Sonde **110** an einem gewünschten Oberflächenbereich kontaktiert werden, beispielsweise in im Wesentlichen horizontalen Bereichen, oder in der Öffnung **153a**, wie dies für die anzuwendende gesamte Messstrategie erforderlich ist. Im Hinblick auf das Kontaktieren der Teilchen mit der Sonde **110** zum Versetzen oder Entfernen der Teilchen gelten die gleichen Kriterien, wie sie zuvor erläutert sind, oder wie sie nachfolgend detaillierter beschrieben sind. Beispielsweise enthält die Metallisierungsschicht **153**, wie dies zuvor erläutert ist, ein komplexes Barrieren/Saatmaterialsystem **157**, das die weitere Bearbeitung, etwa das Einfüllen von Kupfermaterial auf der Grundlage elektrochemischer Abscheidetechniken, deutlich beeinflusst, wobei die Anwesenheit der Teilchen **154** einen wichtigen Faktor für das schließlich erhaltene Metallgebiet repräsentiert, beispielsweise im Hinblick auf die Defektrate und dergleichen. Somit repräsentiert der Oberflächenbereich innerhalb der Öffnung **153a** einen kritischen Bereich, da hier anspruchsvolle Abscheidungsbedingungen während des Abscheidens des Materialsystems **157** und während der nachfolgenden Abscheidung des Metalls, etwa von Kupfer, angetroffen werden. Somit ermöglichen die hierin offenbarten Prinzipien die Möglichkeit, die Teilchen **154** der Öffnung **153a** zu detektieren, zu versetzen und schließlich zu analysieren.

[0027] **Fig. 1c** zeigt schematisch das Strukturbauelement **150** in einer Phase, in der ein oder mehrere Teilchen **154** durch die Sonde **110** verschoben sind. Zu diesem Zweck wird das Teilchen **154** durch die Sonde **110** kontaktiert und haftet an der Sonde **110**, die nachfolgend so bewegt wird, dass das Teilchen **154** von der Oberfläche **153s** entfernt wird. Dazu wird eine Spitze **111** der Sonde **110** in geeigneter Weise konfiguriert, um beispielsweise mechanischen Druck auf das Teilchen **154** auszuüben, um damit das gewünschte Maß an Haftung zu erreichen.

[0028] **Fig. 1d** zeigt schematisch das Bauelement **150** während eines Prozesses zum Entfernen eines oder mehrerer der Teilchen **154**, wobei die Haftung an einem Endbereich **111d** der Sonde **110** initiiert wird, indem der Endbereich **111b** und/oder eine lokale Umgebung der Teilchen **154** geeignet präpariert wird. Beispielsweise wird in einigen anschaulichen Ausführungsformen zumindest der Endbereich **111b**

konditioniert, indem etwa ein chemisches Mittel und dergleichen aufgebracht wird, um damit die Haftung der Teilchen **154** zu verbessern. Zu diesem Zweck wird vor dem Kontaktieren der Oberfläche **153s** der Endbereich **111b** mit einer geeigneten Chemikalie in Kontakt gebracht, beispielsweise in Form eines Bades und dergleichen, oder das chemische Mittel wird mittels einer beliebigen anderen geeigneten Abscheidetechnik aufgebracht, etwa durch Sprühen und dergleichen. In noch anderen Fällen wird eine elektrochemische Reaktion in Gang gesetzt, um die Haftung der Teilchen **154** zu verbessern. Zu diesem Zweck wird ein geeignetes Elektrolyt in die Umgebung **112** eingebracht und es wird eine entsprechende Spannung erzeugt, beispielsweise über dem Bereich **111b**. In noch anderen Fällen wird eine chemische Reaktion zwischen dem Endbereich **111b**, der darauf ausgebildet ein geeignetes chemisches Mittel aufweist, oder der generell eine Reaktion mit dem Teilchen **154** oder zumindest einen Teil davon ermöglicht, initiiert oder durch Einrichten einer geeigneten Umgebung verbessert, beispielsweise durch Strahlung, Wärme, Temperatur, Verringerung, Plasma und dergleichen. **Fig. 1e** zeigt schematisch das Bauelement **150**, wobei die Sonde **110** eine Faser, etwa eine optische Faser aufweist, wenn deren lateralen Größe geeignet ist, um die Oberfläche **153s** der Struktur **150** abzutasten. Wenn beispielsweise Teilchen **154** in der ausgeprägten Größe versetzt oder entfernt werden sollen, kann die Sonde **110** auf der Grundlage eines optischen Glasfasermaterials vorgesehen werden, wobei bei Bedarf selbst optische Energie **113** über die Faser **110** zugeführt werden kann. Somit kann Lichtenergie direkt dem Teilchen **154** zugeführt werden, um damit eine chemische oder eine andere Reaktion zur Verbesserung der Haftung an der Sonde **110** in Gang zu setzen.

[0029] **Fig. 1f** zeigt schematisch das Mikrostrukturbauelement **150**, wenn es durch eine Sonde **110** kontaktiert wird, die ausgebildet ist, die Oberfläche **153s** „zu zerkratzen“, um ein oder mehrere der Teilchen **154** freizusetzen und dieses für die nachfolgende Analyse zu verschieben oder zu entfernen. Beispielsweise besitzt der Endbereich **111c** eine schaufelartige Konfiguration, wodurch eine moderat große Oberfläche zum Aufnehmen eines oder mehrerer Teilchen **154** bereitgestellt wird. Beispielsweise wird auf diese Weise ein gewisses Maß an Materialakkumulation an dem Endbereich **111c** bewerkstelligt, wobei die gesamte Messempfindlichkeit während des nachfolgenden Erlöseprozesses weiter verbessert werden kann.

[0030] **Fig. 1g** zeigt schematisch das Mikrostrukturbauelement **100** mit der Sonde **110**, deren Endbereich **111d** geeignet ausgebildet ist, um ein elektrostatisches Feld **112a** zu erzeugen, so dass eine Wechselwirkung mit einem oder mehreren Teilchen **154** erfolgt. Abhängig von der Art des Materials kann somit eine bessere Haftung mittels des elektrostati-

schen Feldes **112a** erreicht werden, so dass das Entfernen des einen oder der mehreren Teilchen **154** möglich ist.

[0031] Es sollte beachtet werden, dass auch ein anderes Kontaktschema zwischen der Sonde **110** und den Teilchen **154** angewendet werden kann, wobei dies von den gesamten Oberflächenbedingungen, der erforderlichen räumlichen Auflösung, dem Erfordernis für eine bessere Integrität der Nachbarschaft der Teilchen **154**, und dergleichen, abhängt. Ferner können eine Vielzahl verfügbarer Sonden, etwa wie sie in AFM-Anlagen verwendet werden, vorteilhaft eingesetzt werden, um die Teilchen **154** zu versetzen oder zu entfernen. In anderen Fällen werden geeignete Sonden hergestellt, beispielsweise auf der Grundlage mikromechanischer oder mikroelektronischer Fertigungstechniken. Zu diesem Zweck werden geeignete Substratmaterialien, etwa Silizium, Siliziumnitrid, Siliziumdioxid und dergleichen möglicherweise in Verbindung mit geeigneten Materialschichten, etwa leitenden oder isolierenden Materialien angewendet und in einer dreidimensionalen Weise strukturiert, um die Sonde gemäß einer gewünschten Form und Größe zu schaffen, möglicherweise in Verbindung mit einem geeigneten Hebel, um eine Verbindung zu einem Abtastsystem zur geeigneten Positionierung und Bewegung der Sonde **110** herzustellen.

[0032] [Fig. 1h](#) zeigt schematisch ein Teilchenbehandlungssystem **100** mit einem Substrathalter **121**, der in geeigneter Weise ausgebildet ist, ein Substrat mit einem oder mehreren Mikrostrukturbauelementen, etwa dem Bauelement **150**, wie es zuvor mit Bezug zu den [Fig. 1a](#) bis [Fig. 1g](#) beschrieben ist, aufzunehmen. Des weiteren umfasst das System **100** einen Halter oder einen Hebel **113**, der mechanisch mit der Sonde **110** gekoppelt ist, die wiederum einen geeigneten Endbereich **111** aufweist, wie dies zuvor erläutert ist. Der Hebel **113** ist mit einer Steuereinheit **120** verbunden, die eine geeignete Ansteuer- und Steueranordnung zum Einstellen von Parametern, etwa der Andruckskraft der Sonde **110**, dem Erzeugen eines elektrostatischen Feldes, und dergleichen, aufweist. Die Steuereinheit **120** ist ferner ausgebildet, als ein Abtastsystem zu fungieren, das eine Relativbewegung zwischen dem Substrathalter **121** und der Sonde **110** ermöglicht, wie dies zum Bewegen des Endbereichs **111** über einen speziellen Oberflächenbereich erforderlich ist. In anderen anschaulichen Ausführungsformen wird eine separate Abtasteinheit **122** vorgesehen, die funktionsmäßig mit dem Substrathalter **121** und/oder der Sonde **110** verbunden ist, um damit die gewünschte Abtastbewegung zu ermöglichen. Beispielsweise enthält das System **100** ähnliche Komponenten, wie sie typischerweise in einer AFM-Anlage verwendet werden, wenn eine räumliche Auflösung im Submikrometerbereich gewünscht ist.

[0033] Während des Betriebs der Teilchenbehandlungssystems **100** wird ein Substrat auf dem Substrathalter **121** angeordnet und die Sonde **110** wird über dem Substrat an einer gewünschten Position platziert. Beispielsweise wird ein interessierendes Gebiet im Voraus bestimmt und die Sonde **110** wird in dem Interessierenden Gebiet angeordnet und es wird eine entsprechende Abtastbewegung in Gang gesetzt, indem die entsprechende Oberfläche kontaktiert wird, um ein oder mehrere interessierende Teilchen „zu sammeln“. In anderen anschaulichen Ausführungsformen wird die Sonde **110** als ein Detektor zum Erkennen von Teilchen verwendet, beispielsweise indem eine Oberflächenrauigkeit eines interessierenden Gebiets gemessen und eine ausgeprägte Erhebung auf der Grundlage der Oberflächentopographie ermittelt wird, die dann als Teilchen erkannt wird. In diesem Falle geht die Anlage **100** in einen Verschiebe- oder Entfernungsmodus über, um beispielsweise eine Wechselwirkung zwischen dem erkannten Teilchen, etwa auf der Grundlage der zuvor erkannten Strategien, zu initiieren. Nach der Wechselwirkung mit der Oberfläche wird das interessierende Teilchen, das an dem Endbereich **111** anhaftet, versetzt, wie dies zuvor mit Bezug zu [Fig. 1a](#) beschrieben ist, oder dieses wird von der Oberfläche unter Steuerung der Abtasteinheit **122** und/oder der Steuereinheit **120** entfernt. Anschließend wird ein Analyseprozess ausgeführt, etwa auf der Grundlage der zuvor genannten Messtechniken. Z. B. wird in einigen anschaulichen Ausführungsformen der Endbereich **111** als ein Teil einer gut definierten Messumgebung verwendet, indem beispielsweise der Endbereich **111** verwendet und positioniert wird in einer geeigneten Umgebung, etwa einer Prozesskammer und dergleichen. Zu diesem Zweck werden Referenzdaten von dem Endbereich **111** in einem „nicht-kontaminierten“ Zustand gewonnen, beispielsweise vor dem Entfernen eines oder mehrerer Teilchen, so dass eine Differenz zweier Messungen ermittelt werden kann und für eine quantitative Abschätzung einer oder mehrerer Eigenschaften des interessierenden Teilchens verwendet werden kann.

[0034] [Fig. 1i](#) zeigt schematisch das System **100** gemäß weiterer anschaulicher Ausführungsformen, in denen zusätzliche ein Analysesystem **130** vorgesehen ist. Das Analysesystem **130** umfasst beliebige geeignete Komponenten, um eine oder mehrere Eigenschaften der interessierenden Teilchen zu bestimmen. In der gezeigten Ausführungsform repräsentiert das System **130** ein optisches Messsystem, das beispielsweise ausgebildet ist, eine Fourier-transformierte Infrarotspektroskopie (FTIR) auszuführen, in der effizient chemische Zusammensetzungen, chemische Bindungen und dergleichen auf der Grundlage von Messspektren bestimmt werden. Z. B. wird eine Strahlungsquelle **131**, die einen Infrarotstrahl mit Interferenzmodulation bereitstellt, so positioniert, dass der Endbereich **111** gestrahlt wird,

während ein Detektor **132** in geeigneter Weise so positioniert ist, dass zumindest ein Teil des Strahls der Strahlungsquelle **131** nach Wechselwirkung mit dem Endbereich **111** empfangen wird. Es ist eine Datenverarbeitungseinheit **133** vorgesehen, die die Messdaten in Form von Interferogrammen empfängt und eine Fourier-Transformation ausführt, so dass entsprechende Spektren **134** erhalten werden, die Information über eine oder mehrere interessierende Materialeigenschaften enthält. Z. B. kann die Menge und die Art spezifischer Atomsorten, die Anwesenheit und der Status spezieller chemischer Bindungen und dergleichen auf der Grundlage der Spektren **134** bestimmt werden. Die Datenverarbeitungseinheit **133** empfängt Referenzdaten, die beispielsweise von dem Bereich **111** vor dem Kontaktieren des interessierenden Oberflächenbereichs gewonnen werden. Folglich umfasst das System **130** die Messumgebung **160** in einem gut definierten Status, wodurch eine effiziente Bewertung von Materialeigenschaften möglich ist, da die Referenzdaten „subtrahiert“ werden können, oder anderweitig verwendet werden können, um die relevante Information aus den Messspektren **134** zu gewinnen. Es sollte beachtet werden, dass in einigen anschaulichen Ausführungsformen der Endbereich **111** nach einem entsprechenden Kontakt mit der interessierenden Oberfläche ersetzt werden, während in anderen Fällen ein geeigneter Reinigungsprozess ausgeführt wird, beispielsweise durch Einbringen des Endbereichs **111** in eine geeignete Umgebung, etwa eine nasschemische Umgebung, eine plasmaunterstützte Umgebung und dergleichen, um damit zumindest ausgeprägte Bereiche der vorhergehenden „Kontamination“ zu entfernen. Es sollte ferner beachtet werden, dass ein geringer Grad an Kontamination einfach berücksichtigt werden kann, indem entsprechende Messdaten vor einem eigentlichen Messprozess ermittelt werden.

[0035] Es gilt also: Die vorliegende Offenbarung stellt Systeme und Techniken bereit, um die Effizienz der Charakterisierung von Teilchen zu verbessern, die auf einem Mikrostrukturbauelement angeordnet sind, in dem Teilchen von der unmittelbaren Nachbarschaft getrennt werden, etwa indem die Teilchen verschoben oder entfernt werden, um nachfolgend einen Messprozess auszuführen.

[0036] Weitere Modifizierungen und Variationen der vorliegenden Offenbarung werden für den Fachmann angesichts dieser Beschreibung offenkundig. Daher ist diese Beschreibung lediglich anschaulicher Natur und dient dem Zweck, dem Fachmann die allgemeine Art und Weise des Ausführens der hierin offenbarten Prinzipien zu vermitteln. Selbstverständlich sind die hierin gezeigten und beschriebenen Formen als die gegenwärtig bevorzugten Ausführungsformen zu betrachten.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Analysieren einer interessierenden Materialprobe, die auf einer Oberfläche eines Mikrostrukturbauelements ausgebildet ist, wobei das Verfahren umfasst:

Entfernen der Materialprobe von der Oberfläche durch Kontaktieren der Materialprobe mit einer Sonde; und

Ausführen eines Analyseprozesses an der Materialprobe entfernt von der Oberfläche.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Mikrostrukturbauelement eine Oberflächentopographie aufweist, die laterale Abmessungen von ungefähr 1 Mikrometer (μm) oder weniger definiert.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Entfernen der Materialprobe umfasst: Kontaktieren der Oberfläche mit der Sonde und mechanisches Versetzen der Materialprobe durch die Sonde.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Entfernen der Materialprobe umfasst: Initiieren der Anhaftung der Materialprobe an der Sonde durch Erzeugen eines elektrischen Feldes zwischen der Sonde und der Materialprobe.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Entfernen der Materialprobe umfasst: lokales Ausüben von Druck auf die Materialprobe durch die Sonde, ohne im Wesentlichen die Oberfläche zu kontaktieren.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Entfernen der Materialprobe umfasst: Bereitstellen einer elektrochemischen Umgebung zumindest lokal an der Materialprobe.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Entfernen der Materialprobe umfasst: Bestrahlen der Materialprobe, um eine Haftung an der Sonde zu erhöhen.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Ausführen des Analyseprozesses umfasst: Analysieren der Materialprobe in Anwesenheit zumindest eines Teils der Sonde.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei Ausführen des Analyseprozesses umfasst: Ermitteln von Referenzdaten von zumindest dem Teil der Sonde in Abwesenheit der Materialprobe und Analysieren der Materialprobe auf der Grundlage der Referenzdaten.

10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Ausführen des Analyseprozesses umfasst: Entfernen zumindest eines Bereichs der Materialprobe von der Sonde und Analysieren des mindestens einen Bereichs der Materialprobe.

11. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Ausführen

des Analyseprozesses umfasst: Ausführen einer Auger-Elektronenspektroskopie und/oder einer Sekundärionenmassenspektroskopie und/oder einer Fourier-transformierten Infrarotspektroskopie und/oder einer Raman-Spektroskopie und/oder einer Elektronenmikroskopie.

12. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Materialprobe eine Größe von ungefähr 100 Nanometer (nm) oder weniger besitzt.

13. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Oberfläche eine Oberfläche einer Metallisierungsschicht eines Halbleiterbauelements ist.

14. Verfahren mit:

Detektieren eines Teilchens auf einer Oberfläche eines Mikrostrukturbauelements, wobei das Teilchen eine lokale Nachbarschaft in der Oberfläche besitzt; Erhalten von Referenzmessdaten von einer definierten Messumgebung; Positionieren des Teilchens in der definierten Messumgebung ohne die lokale Nachbarschaft; und Ausführen eines Analyseprozesses an dem Teilchen in der definierten Messumgebung auf der Grundlage der Referenzmessdaten.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei Positionieren des Teilchens in der definierten Messumgebung umfasst: Kontaktieren des Teilchens mit einer Sonde.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei Positionieren des Teilchens in der definierten Messumgebung umfasst: Entfernen des Teilchens von der Oberfläche.

17. Verfahren nach Anspruch 15, wobei Positionieren des Teilchens in der definierten Messumgebung umfasst: Verschieben des Teilchens in der Oberfläche, wobei die definierte Messumgebung auf der Oberfläche außerhalb der lokalen Nachbarschaft angeordnet ist.

18. Verfahren nach Anspruch 15, wobei Kontaktieren des Teilchens mit einer Sonde umfasst: Initiieren einer Wechselwirkung zwischen der Sonde und dem Teilchen durch Ausüben eines mechanischen Druckes und/oder Verkratzen der lokalen Nachbarschaft und/oder Bereitstellen einer chemischen Haftung an der Probe und/oder Anlegen eines elektrischen Feldes und/oder Einrichten einer elektrochemischen Umgebung und/oder Steuern einer Temperatur der lokalen Nachbarschaft und/oder Anwenden von Strahlungsenergie.

19. Verfahren nach Anspruch 14, wobei das Mikrostrukturbauelement Bauteilstrukturelemente enthält, die eine Oberflächentopographie in der Oberfläche bewirken.

20. Teilchenbehandlungssystem mit: einer Sonde zum Kontaktieren einer Oberfläche eines strukturierten Mikrostrukturbauelements; einem Substrathalter zum Aufnehmen des Mikrostrukturbauelements; einem Abtastsystem, das funktionsmäßig mit der Sonde und dem Substrathalter verbunden und ausgebildet ist, die Sonde auf einem Oberflächenbereich des Mikrostrukturbauelements zu positionieren; und einer Teilchenaufnahmeeinheit, die funktionsmäßig mit der Sonde und/oder dem Substrathalter verbunden und ausgebildet ist, das Anhaften eines interessierenden Teilchens an der Probe zu initiieren und das Teilchen von dem Oberflächenbereich zu entfernen.

21. Teilchenbehandlungssystem nach Anspruch 20, wobei die Sonde ausgebildet ist, die Oberfläche des Mikrostrukturbauelements mit einer Sub-Mikrometer-Auflösung zu sondieren.

22. Teilchenbehandlungssystem nach Anspruch 20, das ferner ein Analysesystem aufweist, das ausgebildet ist, einen Analyseprozess in Anwesenheit zumindest eines Teils der Sonde auszuführen.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

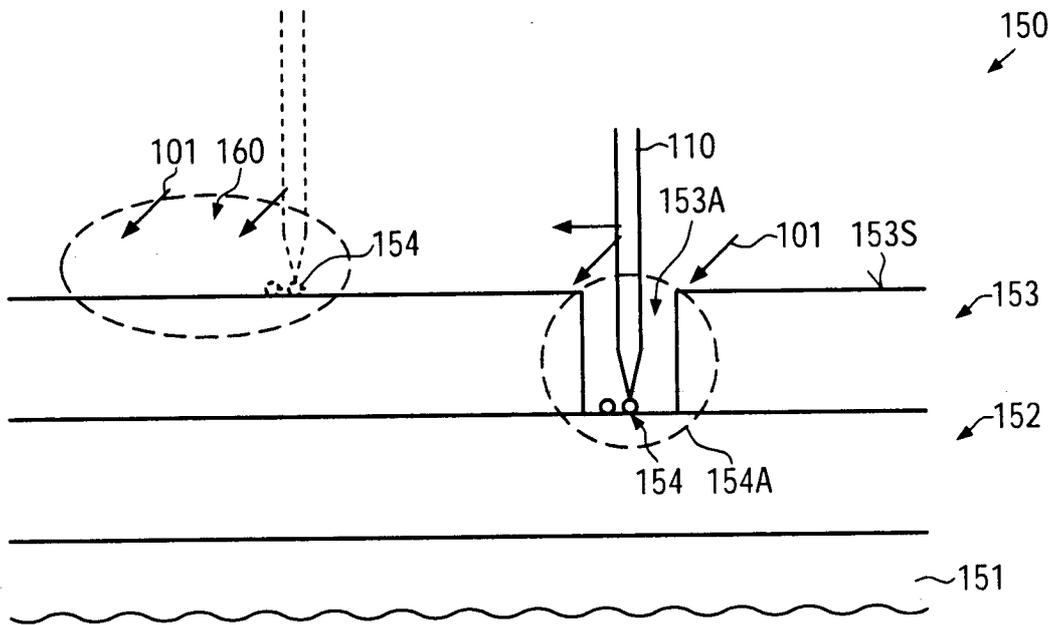


FIG. 1a

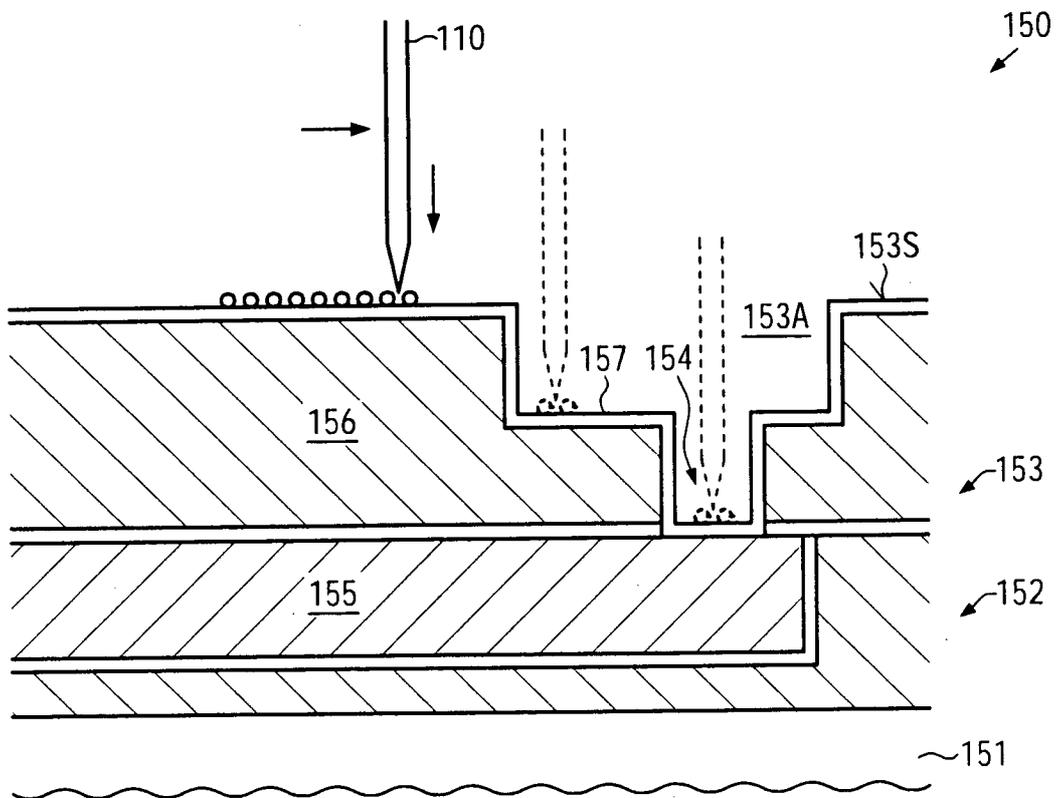


FIG. 1b

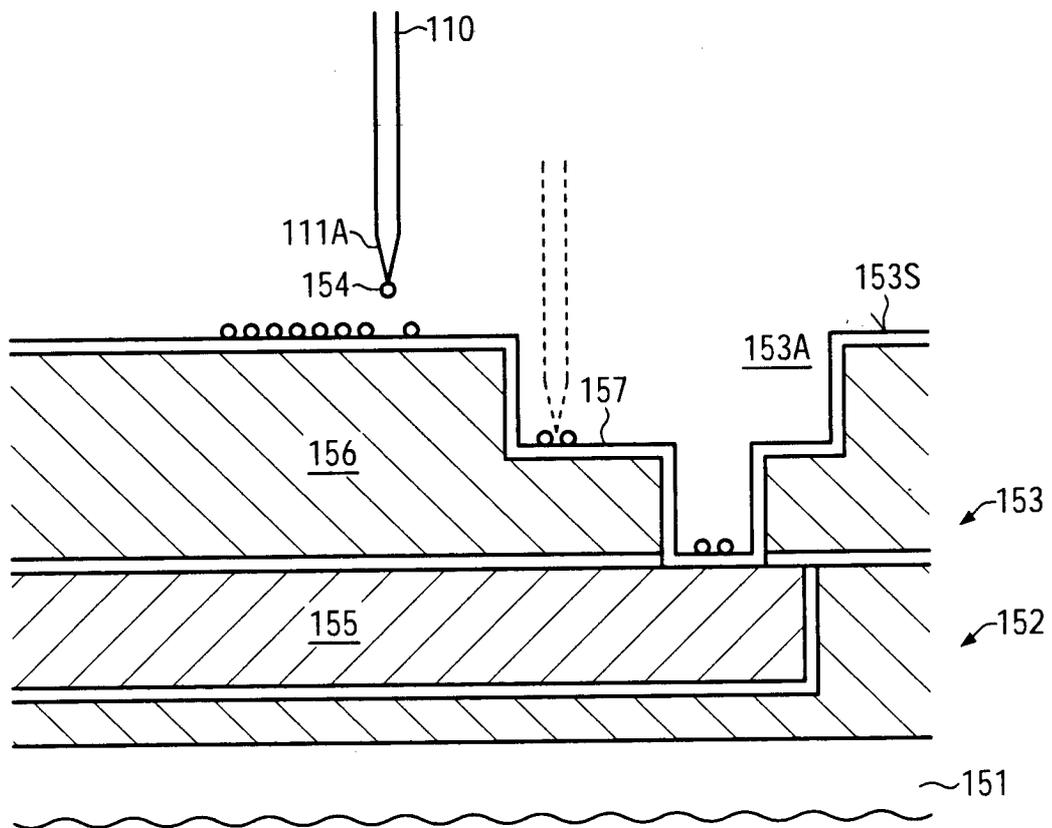


FIG. 1c

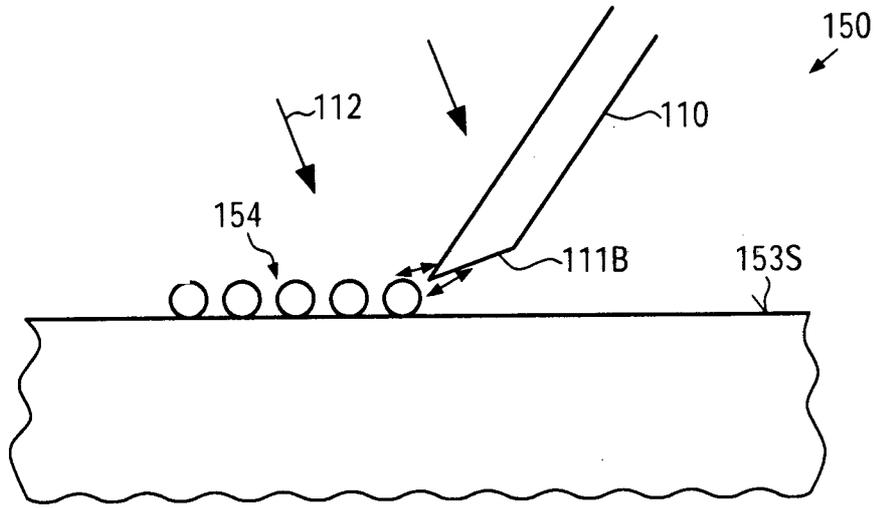


FIG. 1d

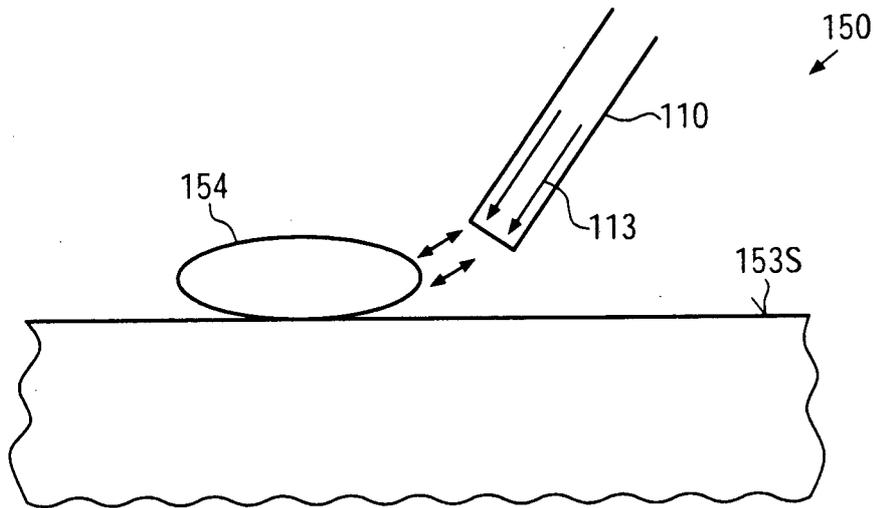


FIG. 1e

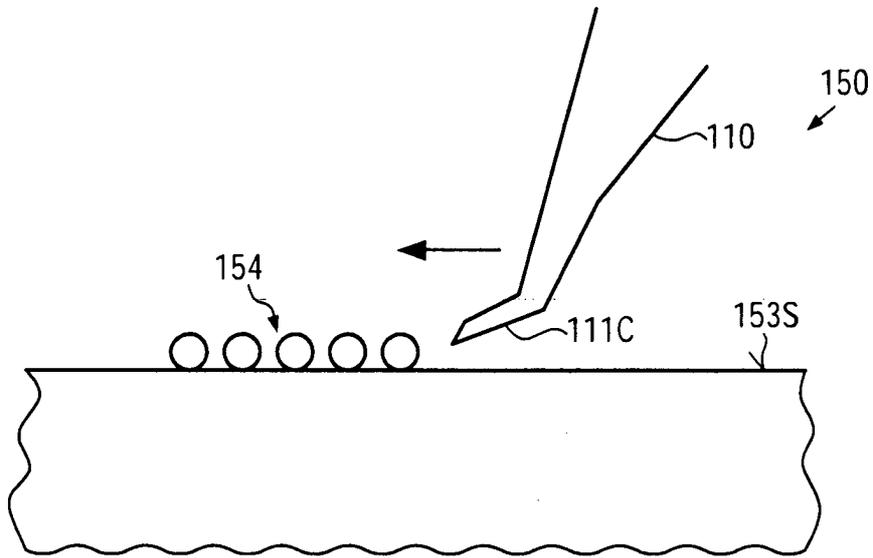


FIG. 1f

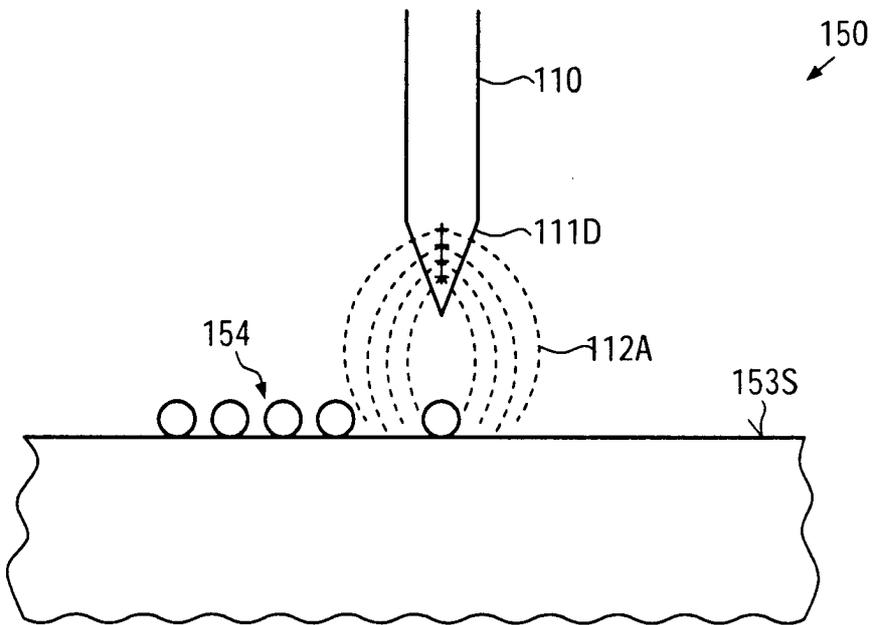


FIG. 1g

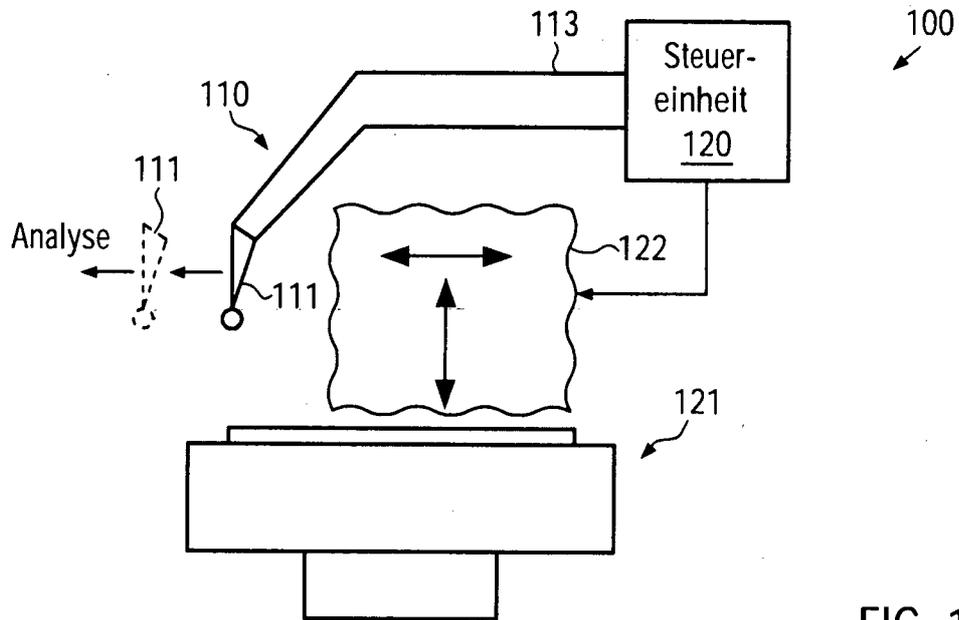


FIG. 1h

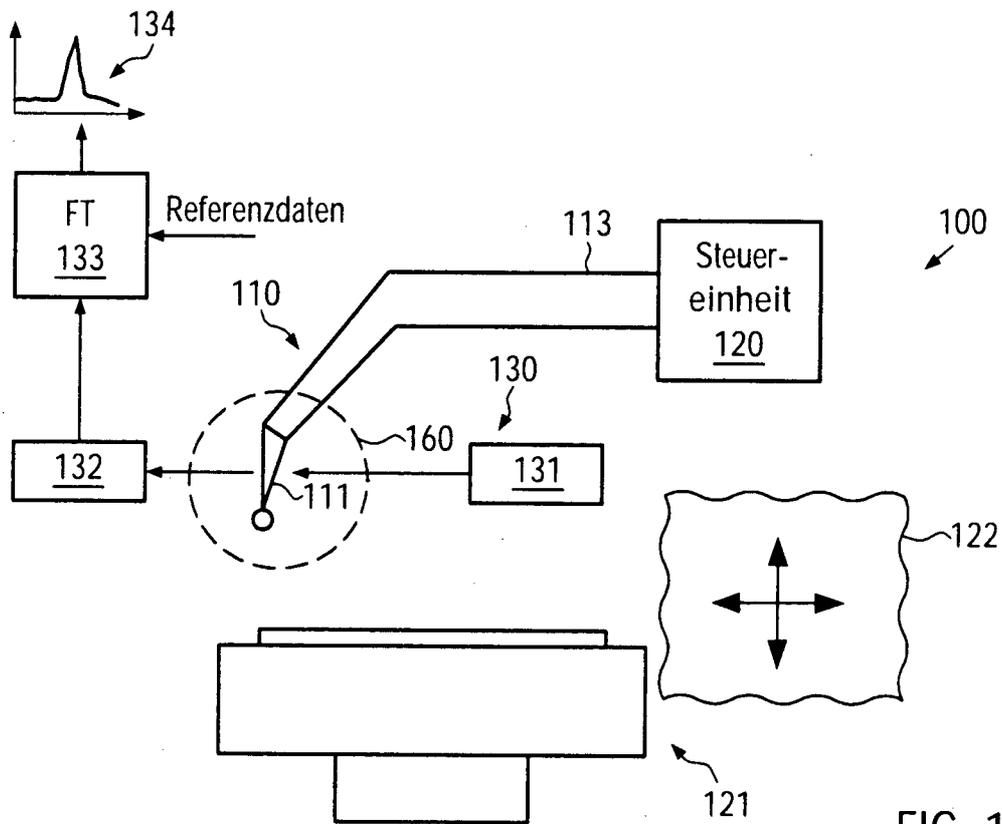


FIG. 1i