



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 22 005 A1** 2004.12.02

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 22 005.4**

(22) Anmeldetag: **16.05.2003**

(43) Offenlegungstag: **02.12.2004**

(51) Int Cl.7: **B82B 3/00**
G12B 21/02

(71) Anmelder:

**Nanotools Gesellschaft für Spezialanwendungen
in der Rastersondenmikroskopie mbH, 85101
Lenting, DE**

(72) Erfinder:

**Lorenz, Heribert, Dr., 85101 Lenting, DE; Kriele,
Armin, 81543 München, DE; Irmer, Bernd, 80339
München, DE**

(74) Vertreter:

**Schließ, T., Dipl.-Phys.Univ. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.,
85055 Ingolstadt**

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

US2002/01 25 427 A1

WO 03/0 83 876 A2

WO 01/03 157 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

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

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur automatisierten Herstellung funktionaler Objekte mit einer dreidimensionalen Nanostruktur sowie Vorrichtung und Bildanalysemittel zur Durchführung des Verfahrens**

(57) Zusammenfassung: Vorgeschlagen wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur automatisierten Herstellung von funktionalen Objekten mit einer dreidimensionalen Nanostruktur, insbesondere von Sensoren für die Rastersondenmikroskopie, wobei die Vorrichtung umfaßt:

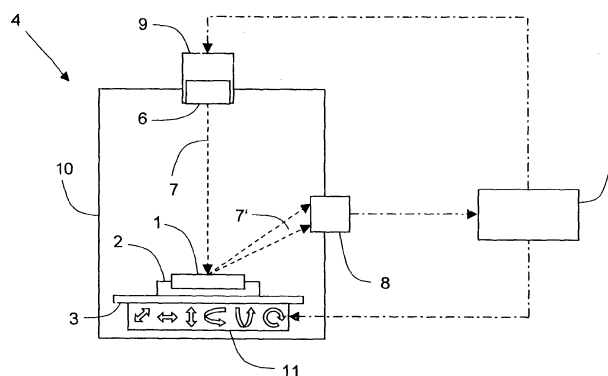
a) eine Feststelleinrichtung (2) zur Fixierung eines Substrats (1),

b) einen Verschiebetisch (3) mit Stellantrieb (11) zur Positionierung des Substrats (1) für eine Bearbeitungs- und/oder Prüfsequenz,

c) ein Mikroskop (4) zur Erzeugung von Aufnahmen des Substrats (1) oder von Teilen des Substrats (1),

d) ein Bildanalysemittel (5), welches zur Analyse der Aufnahmen hinsichtlich des Auftretens definierter Merkmale und zur Gewinnung und/oder Übermittlung von Stellanweisungen an den Stellantrieb (11) des Verschiebetischs (3) in einer Positionierungssequenz ausgebildet ist und

e) eine Quelle (6) für einen Energie- und/oder Materiestrahl (7) zur Bearbeitung des Substrats (1).



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur automatisierten Herstellung von funktionalen Objekten mit einer dreidimensionalen Nanostruktur sowie eine Vorrichtung und ein Bildanalysemittel zur Durchführung des Verfahrens.

[0002] Derartige funktionale Objekte weisen, je nach Einsatzzweck, bestimmte mechanische, elektronische oder optische Eigenschaften sowie eine definierte geometrische Struktur im Nanometerbereich auf und werden beispielsweise in der Rastersondenmikroskopie als Sensoren und/oder Werkzeuge eingesetzt.

[0003] Üblicherweise wird zur Herstellung einer derartigen Nanostruktur ein Substrat mit einer konventionell gearbeiteten Struktur im Mikrometerbereich verwendet. Die Bearbeitung der Mikrostruktur erfolgt dann in einem additiven oder subtraktiven Verfahren, wobei häufig ein feinfokussierter Energie- oder Materiestrahl zum Abscheiden oder Abtragen von Material verwendet wird. Aufgrund der Größenverhältnisse erfolgt die Bearbeitung des Substrats unter einem Mikroskop, insbesondere unter einem Rasterelektronenmikroskop.

[0004] Bei den bekannten Verfahren wird das Substrat auf dem Objektträger eines Mikroskops manuell fixiert, anhand des Mikroskopbildes die Position der Mikrostruktur bestimmt und manuell korrigiert. Dabei sind zur hinreichend genauen Positionierung des Substrats bzw. der Mikrostruktur im Regelfalle mehrere Sequenzen bestehend aus einem Ermitteln der Position, einer Korrektur der Position sowie einer Kontrolle der veränderten Position erforderlich.

[0005] In einer weiteren manuellen Sequenz wird der eigentliche Bearbeitungsprozeß eingeleitet, gesteuert und überwacht. Dabei ist insbesondere die Justierung des Energie- oder Materiestrahls äußerst aufwendig.

[0006] Nach erfolgter Bearbeitung wird die Form und damit die Qualität der erzeugten Mikrostruktur durch eine erneute Mikroskopaufnahme und die manuelle Analyse des erhaltenen Bildes überprüft.

[0007] Aufgrund der Vielzahl der manuellen Bearbeitungsschritte ist dieses Verfahren äußerst zeit- und damit kostenintensiv. Das manuell durchgeführte Verfahren weist darüber hinaus eine unzureichende Reproduzierbarkeit der erzeugten Strukturen auf, wodurch industrielle Normen nur schwer erfüllbar sind.

[0008] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es somit, die genannten Nachteile zu vermeiden.

[0009] Die Aufgabe wird gelöst durch ein Herstellungsverfahren, eine Vorrichtung und ein Bildanalysemittel mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche 1, 24 und 37.

[0010] Bei dem erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren wird in einem ersten Schritt ein Substrat mit einer Mikrostruktur auf einem Verschiebetisch eines Mikroskops fixiert. Unter einer Mikrostruktur wird dabei jede vorgefertigte Struktur verstanden, deren räumliche Ausmaße sich im Mikrometerbereich befinden. Der Verschiebetisch ist ein Objektträger, welcher mittels eines Stellantriebs translatorisch und/oder rotatorisch bezüglich einer oder mehrerer Achsen bewegt werden kann. Der Stellantrieb weist eine mechanische Komponente zur Ausführung einer Bewegung des Verschiebetischs sowie eine Steuerungseinrichtung zur Steuerung derselben auf. Als Mikroskop kann jedes abbildende Instrument verwendet werden, welches über die erforderliche Auflösung im Nanometerbereich verfügt. Insbesondere eignen sich Elektronen- oder Ionenmikroskope. Zur Fixierung des Substrats kann jede dem Substrat angepaßte Feststelleinrichtung verwendet werden. Es eignen sich beispielsweise Klemm- oder Steckvorrichtungen.

[0011] Nun erfolgen gemäß der Erfindung eine oder mehrere automatisierte Positionierungssequenzen, wobei jeweils mindestens ein Lagebild des Substrats oder eines Teiles des Substrats mit dem verwendeten Mikroskop aufgenommen wird. Das so erhaltene Lagebild wird nun hinsichtlich des Auftretens definierter Merkmale am Substrat analysiert. Hieraus kann dann die räumliche Lage der Mikrostruktur ermittelt werden und die Mikrostruktur bzw. das gesamte Substrat durch mindestens eine Stellanweisung an den Stellantrieb des Verschiebetischs in eine für die folgenden Schritte günstige Position gebracht werden. Zur Ermittlung der räumlichen Lage der Mikrostruktur können alle Bildmerkmale, die mit der Lage eindeutig korrelieren, herangezogen werden. Diese können beispielsweise bestimmte Kontrast- oder Helligkeitswerte sein. Zur Verbesserung der Genauigkeit der Lagefeststellung kann es sinnvoll sein, mehrere Lagebilder, beispielsweise aus verschiedenen Perspektiven und/oder mit verschiedener Auflösung, aufzunehmen.

[0012] Anschließend kann die derart positionierte Mikrostruktur in einer oder mehreren Sequenzen mittels eines Energie- und Materiestrahls bearbeitet werden. Hierbei können die gängigen additiven und/oder subtraktiven Verfahren in einem oder mehreren Schritten zur Ausbildung einer definierten Nanostruktur angewandt werden. Je nach Verfahren eignet sich insbesondere ein Elektronen- oder ein Ionenstrahl zur Durchführung dieses Verfahrensschrittes.

[0013] In einem weiteren Schritt werden nun eine oder mehrere automatisierte Prüfsequenzen durchgeführt. Hierbei wird mindestens ein Prüfbild des Substrats oder eines Teiles des Substrats mit dem Mikroskop aufgenommen und dieses Prüfbild hinsichtlich des Auftretens definierter Merkmale an der Nanostruktur analysiert. Hierbei können definierte Kontraste oder Helligkeitswerte, aber insbesondere die Erstreckung der Nanostruktur in einer definierten Richtung analysiert werden. Hieraus kann dann die Qualität, insbesondere die Form und die Oberflächenbeschaffenheit, der Struktur ermittelt werden. Gegebenenfalls ist es vorteilhaft, mehrere Prüfsequenzen mit Prüfbildern aus unterschiedlichen Perspektiven oder mit unterschiedlicher Auflösung durchzuführen.

[0014] Ausgehend vom Ergebnis der Prüfsequenz kann nun entschieden werden, ob weitere Positionierungs- und/oder Bearbeitungssequenzen und/oder erneute Prüfsequenzen erforderlich sind oder ob die hergestellte Nanostruktur einem bestimmten Qualitätsstandard zugeordnet werden kann, bzw. einem solchen genügt.

[0015] Vorteilhaft ist es, wenn das Substrat vor der Bearbeitung automatisch zum Verschiebetisch transportiert und dort fixiert wird und nach der Fertigstellung automatisch gelöst und entfernt wird. Hieraus ergibt sich eine weitere Beschleunigung des Herstellungsprozesses.

[0016] Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Bildanalyse die Erkennung wenigstens einer geometrischen Form, beispielsweise einer Linie, eines Kreises, eines Dreiecks, eines Vierecks oder einer L-, U-, oder V-Form und/oder die Ermittlung der Orientierung dieser geometrischen Form in der Bildebene und/oder die Bestimmung der Position der so ermittelten geometrischen Form umfaßt. Hierdurch kann sowohl die Genauigkeit der Positionierungssequenz als auch die Genauigkeit der Qualitätskontrolle verbessert werden.

[0017] Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn ein Substrat verwendet wird, das eine Vielzahl von bevorzugt regelmäßig angeordneten und gleichartigen Mikrostrukturen umfaßt, welche sequentiell bearbeitet werden. Hierbei fällt der Zeitaufwand für die Fixierung des Substrats nur vor der Bearbeitung der ersten Mikrostruktur an. Der Verfahrensablauf insgesamt kann so wesentlich beschleunigt werden.

[0018] Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn vor einer insbesondere vor der ersten Positionierungssequenz ein Vorabbild des Substrats oder eines Teils des Substrats mit dem Mikroskop aufgenommen und das Vorabbild hinsichtlich des Auftretens definierter Merkmale am Substrat analysiert wird. Hieraus kann dann die Orientierung des Substrats in einer Ebene oder im

Raum ermittelt werden. Ist die Orientierung des Substrats festgestellt, so kann eine unerwünschte Verkipfung oder Verdrehung des Substrats durch eine entsprechende Rotation des Verschiebetisches um die entsprechende Achse korrigiert werden.

[0019] Vorteilhaft ist es, wenn zur Ermittlung der Orientierung des Substrats Muster analysiert werden, die an mehreren Mikrostrukturen auftreten oder durch die Anordnung der Mikrostrukturen gebildet werden. Dabei können Muster verwendet werden, die relativ weit voneinander entfernt auftreten und dadurch zur genauen Bestimmung von Winkeln geeignet sind. Hierdurch kann die Genauigkeit des Verfahrens erhöht werden.

[0020] Die Genauigkeit der Positionierung des Substrats gegenüber dem Energie- und/oder Materiestrahl hängt wesentlich von der gewählten Auflösung des erzeugten Lagebildes ab. Allerdings kann die Auflösung nicht beliebig groß gewählt werden, da eine Vergrößerung der Auflösung mit einer Verringerung des Sehwinkels einhergeht. Bei einem geringen Sehwinkel wird das Auffinden der Mikrostruktur unter dem Mikroskop erschwert oder gar unmöglich. Es ist daher vorteilhaft, wenn in einer ersten Positionierungssequenz eine Groblagebild des Substrats mit geringer Auflösung erzeugt wird und aus diesem Groblagebild eine Stellanweisung zur Grobpositionierung der Mikrostruktur gewonnen wird. In wenigstens einer weiteren Positionierungssequenz kann dann beispielsweise ein Feinlagebild der Mikrostruktur mit hoher Auflösung erzeugt werden und aus dem Feinlagebild eine Stellanweisung zu Feinpositionierung der Mikrostruktur gewonnen werden.

[0021] Ebenso ist es vorteilhaft, wenn zu Beginn wenigstens einer Bearbeitungssequenz ein Feinstlagebild der Mikrostruktur oder eines Teiles der Mikrostruktur mit dem Mikroskop aufgenommen und das Feinstlagebild hinsichtlich des Auftretens definierter Muster an der Mikrostruktur analysiert wird. Damit kann die räumliche Lage der Mikrostruktur mit höchster Genauigkeit ermittelt werden und der Energie- und/oder Materiestrahl durch ein Steuersignal an eine Steuereinrichtung in seiner Richtung justiert werden. Beispielsweise kann ein Elektronenstrahl durch Anlegen eines elektrischen Feldes ohne mechanisch bewegte Teile, praktisch in Echtzeit, justiert werden.

[0022] Werden für wenigstens eine Positionierungssequenz des Substrats Muster analysiert, die an mehreren Mikrostrukturen auftreten oder durch die Anordnung der Mikrostrukturen, beispielsweise miteinander fluchtende Mikrostrukturen oder von drei Mikrostrukturen gebildete Dreiecke, hervorgerufen werden, so kann wegen der relativ großen Abstände der betreffenden Muster bzw. Mikrostrukturen insbesondere eine genaue Positionierung durch eine Ro-

tations- oder Schwenkbewegung des Verschiebetischs initiiert werden.

[0023] Für wenigstens eine Positionierungssequenz des Substrats und/oder die Justierung der Richtung des Strahls können vorteilhafterweise Muster analysiert werden, die jeweils an der zu bearbeitenden Mikrostruktur auftreten. Hierdurch kann eine sehr genaue relative Positionierung des Substrats und des Energie- oder Materiestrahls erfolgen.

[0024] Besonders vorteilhaft ist es, wenn während wenigstens einer Bearbeitungssequenz wenigstens ein Kontrollbild der Nanostruktur mit dem Mikroskop aufgenommen und das Kontrollbild hinsichtlich des Auftretens definierter Muster an der Nanostruktur analysiert wird. Hierdurch ist es möglich, bereits während der Bearbeitung die Qualität der Nanostruktur zu überwachen. Gegebenenfalls kann aus der Analyse zur Durchführung einer weiteren Bearbeitungssequenz eine automatische Stellenweisung zur Positionierung der Nanostruktur und/oder ein Steuersignal zur Justierung der Richtung, Stärke und/oder Dauer des Energie- und/oder Materiestrahls ermittelt und so die Form der Nanostruktur korrigiert werden.

[0025] Weiterhin vorteilhaft ist es, wenn als Substrat ein kostengünstiger, industriell hergestellter Wafer mit einer Vielzahl vorgefertigter Mikrostrukturen verwendet wird. Dieser kann aus Metall und/oder metallischen und/oder metallorganischen und/oder organischen Verbindungen, wie beispielsweise Polymeren, bestehen.

[0026] Je nach den gewünschten elektrischen Eigenschaften kann als Substrat ein Wafer verwendet werden, der aus isolierenden Materialien, z.B. SiO_2 , Si_3N_4 , halbleitenden Materialien, z.B. Si, GaAs oder leitenden Materialien, z.B. Metallen, wie Pt, Au besteht.

[0027] Prinzipiell können zur Bearbeitung der Mikrostruktur alle bekannten Verfahren eingesetzt werden. Vorteilhafterweise werden jedoch bewährte additive Verfahren, wie beispielsweise die Elektronenstrahldeposition oder Ionenstrahldeposition oder subtraktive Verfahren, wie beispielsweise chemische oder physikalische Ätzverfahren eingesetzt.

[0028] Je nach den gewünschten Eigenschaften der Nanostruktur können zu deren Ausbildung eine oder mehrere Schichten aus Metall und/oder metallischen und/oder metallorganischen und/oder organischen Verbindungen, wie beispielsweise Polymeren, angelagert werden. Dabei kann auf die schon genannten Materialien mit isolierenden, halbleitenden oder leitenden Eigenschaften zurückgegriffen werden. Grundsätzlich ist es dabei nicht erforderlich, daß dieses Material dem Material des Substrats entspricht.

[0029] Besonders kostengünstig kann das Verfahren eingesetzt werden, wenn zur Abbildung des Substrats ein Elektronen- oder Ionenmikroskop eingesetzt und dessen Elektronen- bzw. Ionenstrahl auch zur Bearbeitung der Mikrostruktur verwendet wird.

[0030] Vorteilhaft ist es weiterhin, wenn die Ergebnisse der durchgeführten Prüfsequenzen automatisch protokolliert werden. Hierzu kann insbesondere ein elektronisches Speichermittel vorgesehen werden.

[0031] Besonders vorteilhaft kann das Verfahren zur Herstellung von Sonden und/oder Werkzeugen zur Verwendung insbesondere in der Rastersondenmikroskopie eingesetzt werden. Hierzu kann als Substrat ein Wafer mit einer Vielzahl von Mikrostrukturen, welche als Trägere für eine Sonde oder Werkzeug ausgebildet sind, verwendet werden. Derartige Wafer sind im Handel kostengünstig erhältlich und umfassen beispielsweise einige hundert derartiger Träger. Der Träger kann einen Ausleger umfassen und die Nanostruktur, also insbesondere eine Sonde und/oder Werkzeug, kann an einem genau definierten Ort des Auslegers ausgebildet werden.

[0032] Bei den handelsüblichen Wafers weisen die Ausleger häufig eine pyramidenförmige oder kegelförmige oder eine sonstige Erhebung auf, die ebenfalls Abmessungen im Mikrometerbereich aufweisen. Bei der Herstellung der Sonde kommt es nun darauf an, daß die Sonde an einem genau definierten Ort der Erhebung ausgebildet wird. Dieser Ort kann eine Ecke oder Spitze oder ein definierter Ort an einer Kante oder Fläche der Erhebung sein. Aufgrund der automatisierten Positionierungssequenzen des Verfahrens ist so die Herstellung von Sonden mit höchster Genauigkeit möglich. Gegenüber den bisher bekannten manuellen Verfahren ergibt sich auch ein enormer Zeitgewinn.

[0033] Häufig ist die Erhebung am Ausleger eine Pyramide, bei der die Spitze in etwa über dem Mittelpunkt der Grundfläche angeordnet ist. Bei derartigen Strukturen ist es vorteilhaft, wenn senkrecht von oben ein Lagebild aufgenommen wird und das Bild durch einen Mustererkennungsprozeß analysiert wird, der die durch die Kanten der Pyramiden gebildeten Muster erkennt. Beispielsweise kann aus dem Schnittpunkt zweier Linien der Ort der Pyramiden Spitze ermittelt werden und damit kann die Sonde mit höchster Präzision an der Pyramiden Spitze ausgebildet werden.

[0034] Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Sonde unter einem definierten Winkel, beispielsweise 70° bis 85° , bezüglich der Grundfläche der Erhebung stabförmig, mit einem gleichbleibenden Querschnitt ausgebildet wird. Hierbei kann die Qualität der Sonde überprüft werden, indem in wenigstens einem von

oben aufgenommenen Prüfbild, das durch den Umriß der Sonde gebildete geometrische Muster hinsichtlich der Form mit dem geometrischen Muster des gewünschten Querschnitts und/oder hinsichtlich der Lage mit der gewünschten Lage der Sonde verglichen werden. Hierdurch kann die Qualität der erzeugten Sonde besonders einfach ermittelt werden. Es kann automatisch entschieden werden, ob die erzeugte Sonde nachbearbeitet oder von der weiteren Verwendung ausgeschlossen wird.

[0035] Sofern senkrecht zur Grundfläche der Erhebung angeordnete Sonden hergestellt werden sollen, die einen sich stetig oder sprunghaft ändernden Querschnitt aufweisen, ist es vorteilhaft, wenn neben wenigstens einem von oben aufgenommenen Prüfbild auch wenigstens ein von der Seite aufgenommenes Prüfbild hinsichtlich der auftretenden Muster analysiert wird. Dies gilt auch, wenn komplexere dreidimensionale Sonden und/oder Werkzeuge, wie z. B. Haken oder Ösen, erzeugt werden sollen. Aus der konkreten Ausgestaltung der Sonde ergibt sich dann, welche Muster in welcher Bildebene zur Ermittlung der Qualität zu analysieren sind.

[0036] Die Erfindung wird im folgenden anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen

[0037] Fig. 1 eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0038] Fig. 2 einen Wafer in einer Schrägansicht mit einer Vielzahl von darauf angeordneten, gegenüber dem Wafer gekippt dargestellten, Mikrostrukturen;

[0039] Fig. 3 und 4 eine vergrößerte Darstellung einer Mikrostruktur in Seitenansicht und in Aufsicht, sowie

[0040] Fig. 5 und 6 eine Mikrostruktur mit einer aufgebrachten Nanostruktur in Seitenansicht und in Aufsicht.

[0041] Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung des Herstellungsverfahrens mit einem Rasterelektronenmikroskop **4**, welches eine Quelle **6** und eine zugehörige Steuerung **9** zur Erzeugung eines Elektronenstrahls **7**, einen Detektor **8** sowie eine Objektkammer **10** umfaßt. Das als flache Scheibe ausgeführte Substrat **1** ist auf einer Feststelleinrichtung **2** eines Verschiebetischs **3** formschlüssig fixiert. Das Mikroskop **4** weist eine Quelle **6** für einen gebündelten Elektronenstrahl **7** auf, der zur Abtastung des Substrats **1** verwendet wird. Zur Erzeugung eines Bildes wird der Bildbereich Punkt für Punkt abgetastet und zumindest ein Teil der am Substrat **1** gebeugten Strahlen **7'** von einem Detektor **8** aufgenommen. Der Detektor **8** übermittelt die erhaltene Bildinformation an ein Bildanalysemittel **5**. Das Bildanalysemittel **5** erkennt wenigstens eine geomet-

rische Form sowie die Orientierung und die Position dieser Form und ermittelt dadurch die genaue Lage des Substrats **1**. Aufgrund dieser Lageinformation kann eine Abweichung zu einer Sollposition ermittelt werden und diese in eine Stellanweisung an den Stellantrieb **11** des Verschiebetischs **3** umgesetzt werden. Der Verschiebetisch führt nun die Stellanweisung als translatorische oder rotatorische Bewegung aus und bringt so das Substrat **1** in eine günstige Position für den nächsten Verfahrensschritt. Eine iterative Nachregelung kann vorgesehen sein.

[0042] Falls erforderlich kann nun erneut ein Bild des Substrates **1** beispielsweise mit einer höheren Auflösung aufgenommen und analysiert werden sowie eine erneute Positionierung mittels des Verschiebetischs **3** durchgeführt werden. Es ist jedoch auch alternativ oder zusätzlich möglich, daß durch das Bildanalysemittel **5** oder einen (nicht dargestellten) zwischengeschalteten, separaten Prozessor eine Anweisung an eine Steuereinrichtung **9** der Quelle **6** des Elektronenstrahls **7** erzeugt wird.

[0043] Sobald die Positionierung des Substrats **1** bzw. einer (hier nicht dargestellten) Mikrostruktur **15** auf dem Substrat **1** in Bezug auf den Elektronenstrahl **7** mit hinreichender Genauigkeit durchgeführt ist, kann die Mikrostruktur **15** mittels des Elektronenstrahls **7** bearbeitet werden. Im dargestellten Ausführungsbeispiel dient der Elektronenstrahl **7** sowohl zur Abbildung des Substrats **1**, als auch zu dessen Bearbeitung. Grundsätzlich kann jedoch zur Bearbeitung auch ein zweiter Energie- oder Materiestrahl, beispielsweise mit einer höheren spezifischen Energie verwendet werden.

[0044] Das Substrat **1** ist gemäß der gezeigten Ausführungsform in einer Objektkammer **10** angeordnet, innerhalb der eine für das jeweilige Bearbeitungsverfahren günstige Atmosphäre hergestellt werden kann. Die zu verändernden Parameter umfassen beispielsweise die Temperatur, den Druck oder die Zusammensetzung eines Atmosphärenmischs. Nach einer Bearbeitungssequenz kann ein Prüf- oder Kontrollbild der erzeugten Struktur **1** aufgenommen und durch das Bildanalysemittel **5** analysiert werden. Mit der dargestellten Anordnung ist eine beliebige Abfolge von Positionierungs-, Bearbeitungs-, Kontroll- und/oder Prüfsequenzen durchführbar.

[0045] Fig. 2 zeigt ein Substrat **1** in Schrägansicht mit einem Feld **13** mit mehreren in Reihen **14** angeordneten Mikrostrukturen **15**. Eine Reihe **14** ist beispielhaft vergrößert dargestellt. Die Mikrostrukturen **15**, hier in Seitenansicht dargestellt, sind als Träger für eine Sonde und/oder ein Werkzeug zur Verwendung in der Rastersondenmikroskopie ausgeführt. Die Mikrostrukturen **15** sind dabei regelmäßig angeordnet. So ist es möglich, die Positionierung einer Mikrostruktur **15** bezüglich des Energie- oder Materie-

strahls **7** aufgrund einer Analyse der Umriss des Feldes **13** oder einer oder mehrerer Reihen **14** durchzuführen.

[0046] Fig. 3 zeigt eine vergrößerte Seitenansicht einer Mikrostruktur **15**, die als Träger für eine Sonde ausgebildet ist und einen Ausleger **16** sowie eine pyramidenförmige Erhebung **17** umfaßt.

[0047] Fig. 4 zeigt dieselbe Mikrostruktur **15** in Aufsicht. Bei der Erhebung **17** handelt es sich um eine vierseitige reguläre Pyramide. Die vier Kanten der Pyramiden bilden senkrecht von oben gesehen ein Muster **18** aus vier Linien, welche einen Öffnungswinkel von 90° aufweisen und in einem Punkt, der die Pyramidenspitze in der Bildebene definiert, zusammenlaufen. Bei einer Betrachtung schräg von oben gesehen wäre ebenfalls ein Muster **18** bestehend aus vier Linien sichtbar, welche in einem gemeinsamen Punkt zusammenlaufen. Allerdings würden sich unterschiedliche Öffnungswinkel ergeben. Analog gilt dies auch für eine alternativ verwendbare dreiseitige Pyramide **17**.

[0048] Bei der Feinpositionierung der Mikrostruktur **15** bezüglich des Elektronenstrahls **7** werden diese Linien-Muster **18** in einem senkrecht oder schräg von oben aufgenommenen Feinlagebild durch das Bildanalysemittel **5** erkannt und deren Position bestimmt. Hierdurch können Stellanweisungen an den Stellantrieb **11** und/oder Steuersignale an die Steuereinrichtung **9** der Quelle **6** generiert werden, welche zu einer höchst präzisen Positionierung des Elektronenstrahls **7** an der Pyramidenspitze führen. So kann beispielsweise durch Elektronenstrahldeposition die Nanostruktur exakt an der Spitze der Pyramide **17** ausgebildet werden.

[0049] Fig. 5 zeigt eine Seitenansicht des selben Trägers mit einer exakt an der Spitze der Pyramide **17** ausgebildeten Nanostruktur **19**. Die Nanostruktur **19** ist als Sonde zum Einsatz in der Rastersondenmikroskopie ausgebildet. Sie ist senkrecht zur Grundfläche der Pyramide **17** angeordnet und weist im Verhältnis zu ihrem Querschnitt eine große Höhe auf. Alternativ könnte die Sonde in einem anderen Winkel zur Grundfläche der Pyramide **17** ausgebildet werden.

[0050] Fig. 6 zeigt den selben Ausleger **16** mit der aufgebrachtten Nanostruktur **19** aus einer axialen Perspektive. Der Begriff „axiale Perspektive“ bezieht sich auf die Achse der stabförmigen Nanostruktur und ist in dem dargestellten Beispiel wegen der senkrechten Anordnung der Sonde gleichbedeutend mit einer Aufsicht. Aus dieser Perspektive ist die Nanostruktur **19** als geometrisches Muster **20** erkennbar, wobei das Muster **20** dem Querschnitt der senkrecht angeordneten Nanostruktur **19** entspricht. Wie hier beispielsweise dargestellt, erscheint eine zylinderförmige Nanostruktur **19** als Kreis **20**. Der Mittelpunkt des Kreises **20** liegt dabei am gemeinsamen Punkt der vier Linien des Musters **18**. Zur Überprüfung der Qualität der erzeugten Nanostruktur **19** werden nun in wenigstens einem aus axialer Perspektive aufgenommenen Prüfbild durch das Bildanalysemittel **5** bevorzugt zwei Merkmale analysiert. Erstes Merkmal ist die Form des geometrischen Musters **20**. Im Idealfall entspricht das Muster genau dem gewünschten Querschnitt der Mikrostruktur **19**. Würde sich jedoch im Beispiel eine ovale Form zeigen, so würde das auf eine Abweichung von der zylindrischen Form der Nanostruktur **19** über der Grundfläche der Pyramide hindeuten. Zweites vorteilhafterweise zu untersuchendes Merkmal ist der Ort des Mittelpunktes des geometrischen Musters **20** der Nanostruktur **19**. Im Idealfall befindet er sich genau am gemeinsamen Punkt der linienförmigen Muster **18** und somit über der Spitze der Pyramide **17**. Wird durch das Bildanalysemittel **5** eine Abweichung der Position festgestellt, so deutet dies darauf hin, daß die Nanostruktur **19** an einem Punkt der Pyramide **17** angeordnet ist, der nicht der Spitze der Pyramide **17** entspricht. Zur Verbesserung der Genauigkeit der Qualitätskontrolle können anschließend weitere Prüfsequenzen durchgeführt werden, wobei bevorzugt Prüfbilder aus unterschiedlichen Winkeln und/oder mit unterschiedlicher Auflösung aufgenommen werden.

mige Nanostruktur **19** als Kreis **20**. Der Mittelpunkt des Kreises **20** liegt dabei am gemeinsamen Punkt der vier Linien des Musters **18**. Zur Überprüfung der Qualität der erzeugten Nanostruktur **19** werden nun in wenigstens einem aus axialer Perspektive aufgenommenen Prüfbild durch das Bildanalysemittel **5** bevorzugt zwei Merkmale analysiert. Erstes Merkmal ist die Form des geometrischen Musters **20**. Im Idealfall entspricht das Muster genau dem gewünschten Querschnitt der Mikrostruktur **19**. Würde sich jedoch im Beispiel eine ovale Form zeigen, so würde das auf eine Abweichung von der zylindrischen Form der Nanostruktur **19** über der Grundfläche der Pyramide hindeuten. Zweites vorteilhafterweise zu untersuchendes Merkmal ist der Ort des Mittelpunktes des geometrischen Musters **20** der Nanostruktur **19**. Im Idealfall befindet er sich genau am gemeinsamen Punkt der linienförmigen Muster **18** und somit über der Spitze der Pyramide **17**. Wird durch das Bildanalysemittel **5** eine Abweichung der Position festgestellt, so deutet dies darauf hin, daß die Nanostruktur **19** an einem Punkt der Pyramide **17** angeordnet ist, der nicht der Spitze der Pyramide **17** entspricht. Zur Verbesserung der Genauigkeit der Qualitätskontrolle können anschließend weitere Prüfsequenzen durchgeführt werden, wobei bevorzugt Prüfbilder aus unterschiedlichen Winkeln und/oder mit unterschiedlicher Auflösung aufgenommen werden.

[0051] Anhand der Ergebnisse der durchgeführten Prüfsequenzen kann nun festgestellt werden, ob die hergestellte Nanostruktur einem bestimmten Qualitätsstandard genügt oder durch weitere Positionierungs- und/oder Bearbeitungssequenzen auf den entsprechenden Standard gebracht werden kann oder ob die betreffende Nanostruktur ausgesondert werden muß.

[0052] Analog zur Qualitätskontrolle kann bereits während der Bearbeitung wenigstens ein Kontrollbild aus axialer Perspektive und/oder wenigstens ein Kontrollbild aus einer anderen Perspektive aufgenommen und analysiert werden. Beispielsweise kann bei einem additiven Verfahren vorgesehen sein, daß ein derartiges Kontrollbild aufgenommen wird, wenn die Sonde in etwa die Hälfte ihrer Sollhöhe erreicht hat.

[0053] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die Herstellung der beispielhaft dargestellten und beschriebenen Nanostrukturen beschränkt. Es sind Abwandlungen im Rahmen der Patentansprüche möglich. So sind beispielsweise Nanostrukturen unterschiedlichster Form gemäß dem automatisierten Herstellungs- und Prüfverfahren realisierbar.

Patentansprüche

1. Verfahren zur automatisierten Herstellung von funktionalen Objekten mit einer dreidimensionalen

Nanostruktur, insbesondere von Sensoren für die Rastersondenmikroskopie, wobei

- a) ein Substrat mit einer Mikrostruktur auf einem Verschiebetisch mit Stellantrieb eines Mikroskops, insbesondere eines Elektronen- oder Ionenmikroskops, fixiert wird,
- b) in einer oder mehreren automatisierten Positionierungssequenzen jeweils mindestens ein Lagebild des Substrats oder eines Teiles des Substrats mit dem Mikroskop aufgenommen wird, das mindestens eine Lagebild hinsichtlich des Auftretens definierter Merkmale am Substrat analysiert wird, hieraus die räumliche Lage der Mikrostruktur ermittelt wird, sowie die Mikrostruktur durch eine Stellanweisung an den Stellantrieb des Verschiebetischs positioniert wird,
- c) die derart positionierte Mikrostruktur in wenigstens einer Bearbeitungssequenz mittels eines Energie- und/oder Materiestrahls, insbesondere eines Elektronenstrahls oder eines Ionenstrahls, in einem additiven und/oder subtraktiven Verfahren bearbeitet und so die Nanostruktur ausgebildet wird und
- d) in einer oder mehreren automatisierten Prüfsequenzen wenigstens ein Prüfbild des Substrats oder eines Teiles des Substrats mit dem Mikroskop aufgenommen wird, das Prüfbild hinsichtlich des Auftretens definierter Merkmale an der Nanostruktur analysiert und hieraus die Qualität der erzeugten Nanostruktur ermittelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat vor der Bearbeitung dem Verschiebetisch automatisch zugeführt und dort fixiert wird und/oder nach der Fertigstellung automatisch gelöst und entfernt wird.

3. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Analyse des jeweiligen Bildes die Erkennung wenigstens einer geometrischen Form, beispielsweise einer Linie, eines Kreises, eines Dreiecks, eines Vierecks oder einer L-, U- oder V-Form, und/oder die Ermittlung der Orientierung wenigstens einer geometrischen Form in der Bildebene und/oder die Bestimmung der Position wenigstens einer geometrischen Form umfaßt.

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Substrat verwendet wird, das eine Vielzahl von bevorzugt regelmäßig angeordneten Mikrostrukturen umfaßt, welche sequentiell bearbeitet werden.

5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß vor einer, bevorzugt vor der ersten, Positionierungssequenz wenigstens ein Vorabbild des Substrats oder eines Teiles des Substrats mit dem Mikroskop aufgenommen wird, das Vorabbild hinsichtlich des Auftretens definierter Merkmale am Substrat analysiert wird und hieraus die Orientierung des Substrats in einer Ebene oder im Raum ermittelt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung der Orientierung des Substrats Muster analysiert werden, welche an mehreren Mikrostrukturen auftreten oder welche durch die Anordnung der Mikrostrukturen gebildet werden.

7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in einer ersten Positionierungssequenz ein Groblagebild des Substrats mit geringer Auflösung erzeugt wird und aus diesem Groblagebild eine Stellanweisung zur Grobpositionierung der Mikrostruktur in Bezug auf den Energie- und/oder Materiestrahl gewonnen wird, sowie in wenigstens einer weiteren Positionierungssequenz ein Feinlagebild der Mikrostruktur mit hoher Auflösung erzeugt wird und aus dem Feinlagebild eine Stellanweisung zur Feinpositionierung der Mikrostruktur in Bezug auf den Energie- und/oder Materiestrahl gewonnen wird.

8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zu Beginn wenigstens einer Bearbeitungssequenz ein Feinstlagebild der Mikrostruktur oder eines Teiles der Mikrostruktur mit dem Mikroskop aufgenommen wird, das Feinstlagebild hinsichtlich des Auftretens definierter Muster an der Mikrostruktur analysiert wird, hieraus die räumliche Lage der Mikrostruktur ermittelt sowie der Energie- und/oder Materiestrahl durch ein Steuersignal an eine Steuereinrichtung in seiner Richtung justiert wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß für wenigstens eine Positionierungssequenz des Substrats Muster analysiert werden, welche an mehreren Mikrostrukturen auftreten oder welche durch die Anordnung der Mikrostrukturen gebildet werden.

10. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für wenigstens eine Positionierungssequenz des Substrats und/oder für die Justierung der Richtung des Energie- und/oder Materiestrahls Muster analysiert werden, welche jeweils an der zu bearbeitenden Mikrostruktur auftreten.

11. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in wenigstens einer Bearbeitungssequenz wenigstens ein Kontrollbild der Nanostruktur mit dem Mikroskop aufgenommen wird, das Kontrollbild hinsichtlich des Auftretens definierter Muster an der Nanostruktur analysiert wird und hieraus zur Durchführung einer weiteren Bearbeitungssequenz eine Stellanweisung zur Positionierung der Nanostruktur und/oder ein Steuersignal zur Justierung der Richtung, Stärke und/oder Dauer des Energie- und/oder Materiestrahls ermittelt wird.

12. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Substrat ein Wafer verwendet wird, der aus isolierenden Materialien, z. B. SiO_2 , Si_3N_4 , halbleitenden Materialien, z. B. Si, GaAs oder leitenden Materialien, z. B. Metallen wie Pt, Au, besteht.

13. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitung der Mikrostruktur in wenigstens einer Bearbeitungssequenz additiv durch Elektronenstrahldeposition oder Ionenstrahldeposition erfolgt.

14. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß, an der Mikrostruktur zur Ausbildung der Nanostruktur wenigstens eine Schicht aus einem isolierenden Material, z. B. SiO_2 , Si_3N_4 , halbleitenden Material, z. B. Si, GaAs oder leitenden Material, z. B. einem Metall wie Pt, Au, angelagert wird.

15. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitung der Mikrostruktur in wenigstens einer Bearbeitungssequenz subtraktiv durch ein chemisches oder physikalisches Ätzverfahren erfolgt.

16. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Mikroskop ein Elektronen- oder Ionenmikroskop ist und dessen Elektronen- bzw. Ionenstrahl zur Bearbeitung der Mikrostruktur verwendet wird.

17. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Ergebnis mindestens einer Prüfsequenz automatisch protokolliert wird.

18. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Nanostruktur an einem definierten Ort der Mikrostruktur, insbesondere an einem Träger mit einem Ausleger, als Sonde und/oder Werkzeug zur Verwendung insbesondere in einem Rastersondenmikroskop ausgebildet wird.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausleger eine pyramidenförmige oder kegelförmige oder sonstige Erhebung aufweist und die Sonde an einer Ecke oder Spitze oder an einem definierten Ort an einer Kante oder Fläche der Erhebung ausgebildet wird.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Erhebung eine zumindest näherungsweise reguläre, insbesondere drei- oder vierseitige Pyramide ist und durch eine Erkennung der durch ihre Kanten gebildeten Muster in einem senkrecht oder schräg von oben aufgenommenen Lagebild der Ort der Pyramidenspitze bestimmt wird und

die Sonde an der Pyramidenspitze ausgebildet wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Sonde mit einem definierten Winkel, beispielsweise 70° bis 85° , bezüglich der Grundfläche der Mikrostruktur an dieser stabförmig, mit einem im wesentlichen gleichbleibenden Querschnitt, ausgebildet wird und die Qualität der Sonde überprüft wird, indem in wenigstens einem aus axialer Perspektive aufgenommenen Prüfbild das durch den Umriß der Sonde gebildete geometrische Muster hinsichtlich der Form mit dem geometrischen Muster des gewünschten Querschnitts und/oder hinsichtlich der Lage mit der gewünschten Lage der Sonde verglichen wird.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Sonde an der Mikrostruktur stabförmig, mit einem sich kontinuierlich oder sprunghaft ändernden Querschnitt, ausgebildet wird und die Qualität der Sonde überprüft wird, indem in wenigstens einem aus axialer Perspektive aufgenommenen Prüfbild das durch den Umriß der Sonde gebildete geometrische Muster hinsichtlich der Lage mit der gewünschten Lage der Sonde verglichen wird und/oder in wenigstens einem von der Seite aufgenommenen Prüfbild das durch die Sonde gebildete Muster mit dem Muster der gewünschten Struktur verglichen wird.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Sonde als komplexe dreidimensionale Struktur, beispielsweise haken- oder ösenförmig, ausgebildet wird und die Qualität der Sonde überprüft wird, indem aus mehreren Richtungen Prüfbilder aufgenommen werden und die durch die Sonde in der jeweiligen Bildebene erzeugten Muster mit korrespondierenden Sollmustern verglichen werden.

24. Vorrichtung, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung umfaßt:

- a) eine Feststelleinrichtung (2) zur Fixierung eines Substrats (1),
- b) einen Verschiebetisch (3) mit Stellantrieb (11) zur Positionierung des Substrats (1) für eine Bearbeitungs- und/oder Prüfsequenz,
- c) ein Mikroskop (4) zur Erzeugung von Aufnahmen des Substrats (1) oder von Teilen des Substrats (1),
- d) ein Bildanalysemittel (5), welches zur Analyse der Aufnahmen hinsichtlich des Auftretens definierter Merkmale und zur Gewinnung und/oder Übermittlung von Stellanweisungen an den Stellantrieb (11) des Verschiebetischs (3) in einer Positionierungssequenz ausgebildet ist und
- e) eine Quelle (6) für einen Energie- und/oder Materialstrahl (7) zur Bearbeitung des Substrats (1).

25. Vorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Feststelleinrichtung (2) zur automatisierten Fixierung und Freigabe des Substrats ausgebildet ist.

26. Vorrichtung nach Anspruch 24 oder 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung eine Transporteinrichtung zur automatisierten Zuführung des unbearbeiteten Substrats (1) zur Feststelleinrichtung (2) und zur Entnahme des bearbeiteten Substrats (1) aus der Feststelleinrichtung (2) aufweist.

27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß das Bildanalysemittel (5) zur Gewinnung und/oder Übermittlung von Steuersignalen an eine Steuereinrichtung (9) der Quelle (6) des Energie- und/oder Materiestrahls (7) und/oder von Stellanweisungen an den Stellantrieb (11) des Verschiebetischs (3) in einer Bearbeitungssequenz ausgebildet ist.

28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß das Bildanalysemittel (5) zur Ermittlung der Qualität der erzeugten Nanostruktur (19), in einer Prüfsequenz ausgebildet ist.

29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß Mittel zur automatisierten Protokollierung der Ergebnisse der Prüfsequenz vorgesehen sind.

30. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß das Mikroskop (4) als Rasterelektronen- oder Rasterionenmikroskop (4), mit einer Quelle (6) zur Erzeugung eines Elektronen- bzw. Ionenstrahls (7) und mit einem Detektor (8) zur Erzeugung von Bildern des Substrats (1) oder eines Teils des Substrats (1), ausgeführt ist.

31. Vorrichtung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Quelle (6) des Elektronen- bzw. Ionenstrahls (7) so ausgeführt ist, daß der Elektronen- bzw. Ionenstrahl (7) zusätzlich zur Bearbeitung des Substrats (1) geeignet ist.

32. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß das Bildanalysemittel (5) zur Erkennung wenigstens einer geometrischen Form, beispielsweise einer Linie, eines Kreises, eines Dreiecks, eines Vierecks oder einer L-, U- oder V-Form und/oder zur Ermittlung der Orientierung der geometrischen Form im Raum und/oder zur Bestimmung der Position der geometrischen Form ausgebildet ist.

33. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung (9) zur Steuerung der Richtung und/oder des zeitlichen und/oder energetischen Verlaufs des Elek-

tronen- bzw. Ionenstrahls (7), während der Aufnahme und/oder Bearbeitung und/oder Prüfung des Substrats (1) ausgebildet ist.

34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß das Mikroskop eine geschlossene Objektkammer (10) zur Erzeugung einer definierten Atmosphäre während der Aufnahme und/oder Bearbeitung des Substrats (1) aufweist.

35. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß der Verschiebetisch (3) für die Positionierung des Substrats (1) zur Ausführung einer wenigstens eindimensionalen Translation ausgebildet ist.

36. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 35, dadurch gekennzeichnet, daß der Verschiebetisch (3) für die Positionierung des Substrats (1) zur Ausführung einer Rotation um wenigstens eine Achse ausgebildet ist.

37. Bildanalysemittel, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß das Bildanalysemittel (5) zur Analyse von Mikroskopaufnahmen hinsichtlich des Auftretens definierter Merkmale und zur Gewinnung und/oder Übermittlung von Steuersignalen an eine Steuereinrichtung (9) für eine Quelle eines Energie- und/oder Materiestrahls (7) und/oder von Stellanweisungen an einen Stellantrieb (11) eines Verschiebetischs (3) ausgebildet ist.

38. Bildanalysemittel nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, daß das Bildanalysemittel (5) zur Erkennung wenigstens einer geometrischen Form, beispielsweise eines Kreises, eines Dreiecks, eines Vierecks oder einer L-, U- oder V-Form und/oder zur Ermittlung der Orientierung der geometrischen Form im Raum und/oder zur Bestimmung der Position der geometrischen Form ausgebildet ist.

39. Bildanalysemittel nach einem der Ansprüche 37 oder 38, dadurch gekennzeichnet, daß das Bildanalysemittel (5) zur Ermittlung der Qualität der erzeugten Nanostruktur (19), in mindestens einer Prüfsequenz ausgebildet ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

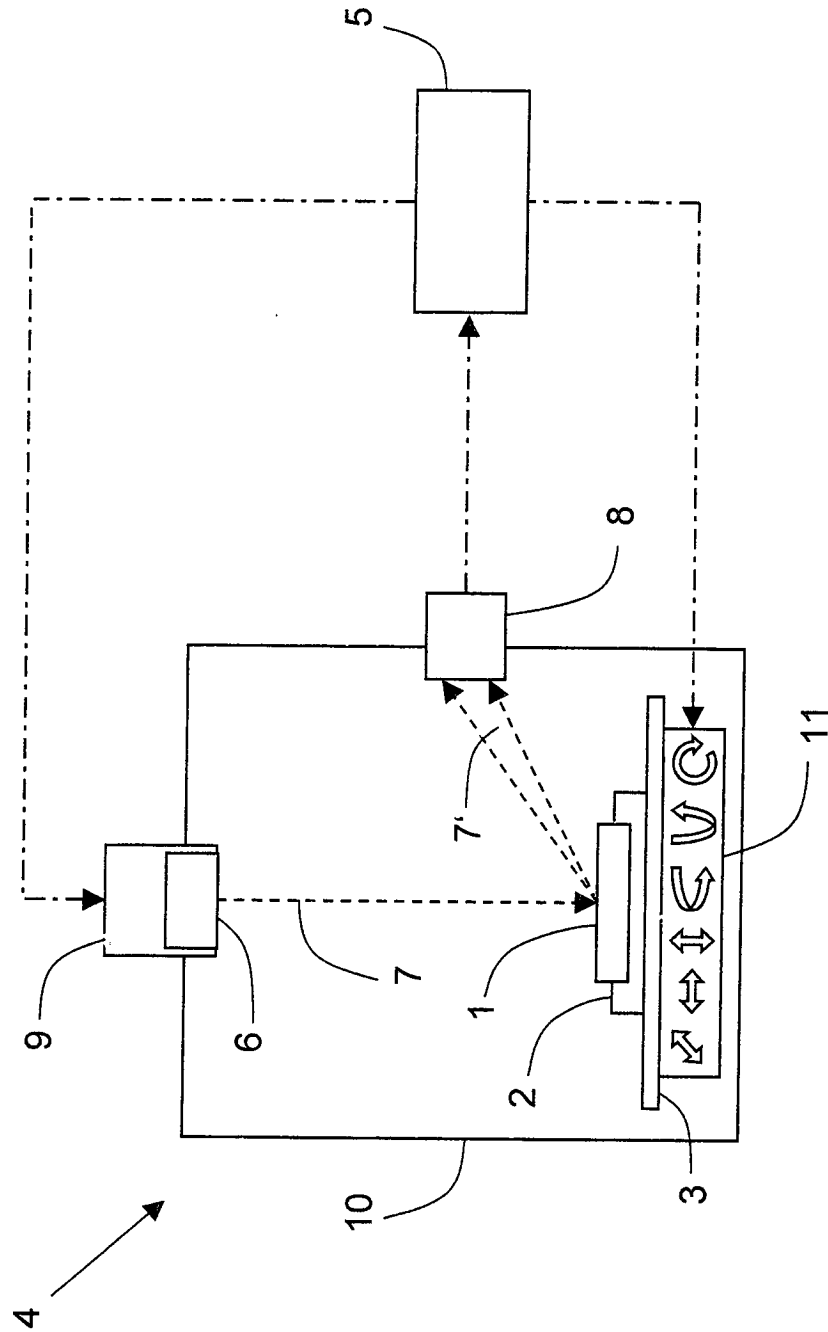


Fig. 1

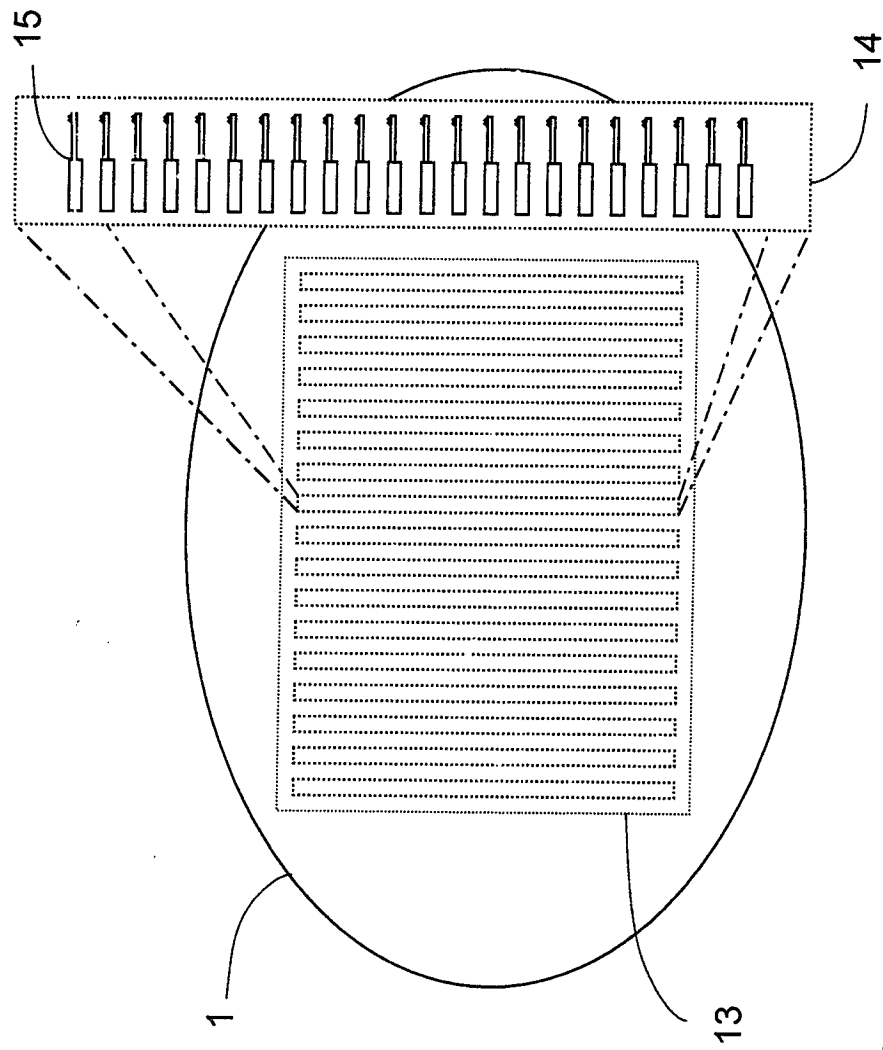


Fig. 2

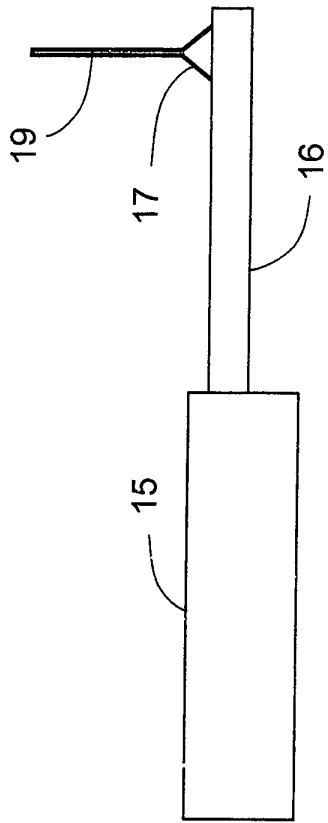


Fig. 5

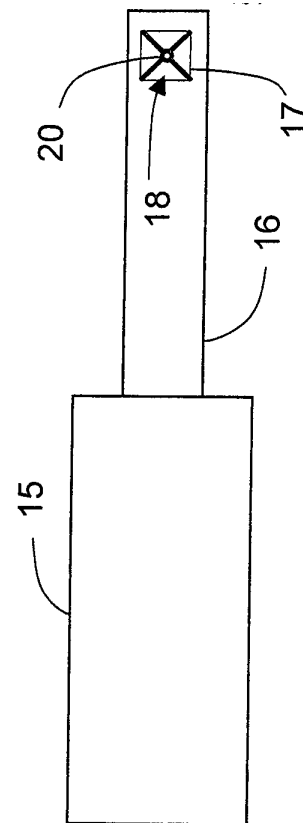


Fig. 6

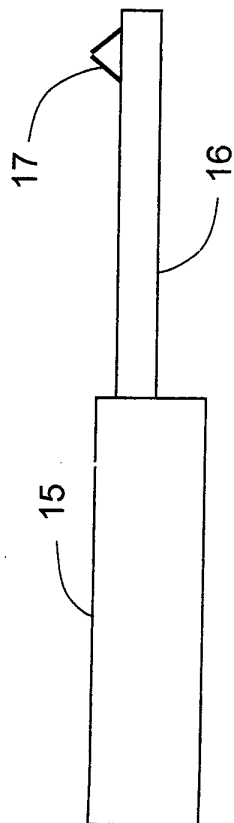


Fig. 3

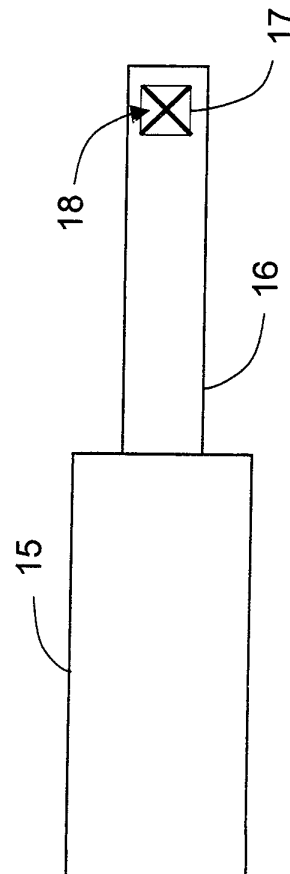


Fig. 4