

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
17. Januar 2019 (17.01.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/011702 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01Q 40/00 (2010.01) G01Q 40/02 (2010.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/067835

(22) Internationales Anmeldedatum:
02. Juli 2018 (02.07.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2017 211 957.8
12. Juli 2017 (12.07.2017) DE

(71) Anmelder: CARL ZEISS SMT GMBH [DE/DE]; Ru-
dolf-Eber-Str. 2, 73447 Oberkochen (DE).

(72) Erfinder: KORNILOV, Kinga; Auf der Schmelz 6, 64380
Rossdorf (DE). BAUR, Christof; Goethestr. 67, 64285
Darmstadt (DE). BAUER, Markus; Rossbergweg 7b,
64380 Rossdorf (DE).

(74) Anwalt: WEGNER, Hans et al.; Bardehle Pagenberg Part-
nerschaft mbB Patentanwälte, Rechtsanwälte, Prinzregen-
tenplatz 7, 81675 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP,
KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

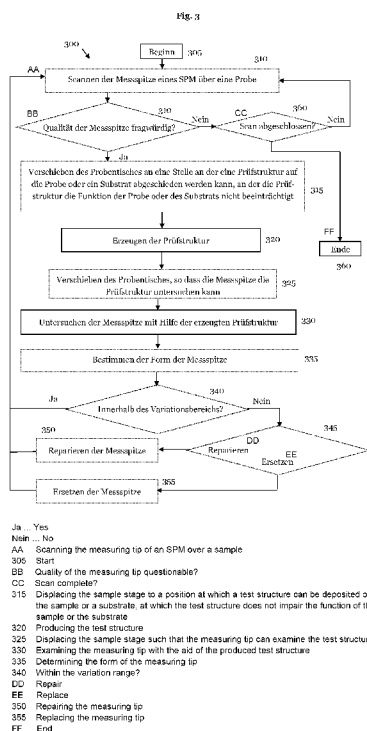
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,
LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI,
SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR EXAMINING A MEASURING TIP OF A SCANNING PROBE MICROSCOPE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM UNTERSUCHEN EINER MESSSPITZE EINES
RASTERSONDENMIKROSKOPS



(57) Abstract: The present invention relates to a method for examining a measuring tip (100, 110) of a scanning probe microscope (520), wherein the method includes the following steps: (a) producing at least one test structure (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850) before or after analyzing a sample (400, 510) by means of the measuring tip (100, 110); and (b) examining the measuring tip (100, 110) with the aid of the at least one test structure (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850) produced.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung bezieht sich ein Verfahren zum Untersuchen einer Messspitze (100, 110) eines Rastersondenmikroskops (520), wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist: (a) Erzeugen zumindest einer Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850) vor oder nach einem Analysieren einer Probe (400, 510) durch die Messspitze (100, 110); und (b) Untersuchen der Messspitze (100, 110) mit Hilfe der zumindest einen erzeugten Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850).

WO 2019/011702 A1

Verfahren und Vorrichtung zum Untersuchen einer Messspitze eines Rastersondenmikroskops

5

Die vorliegende Patentanmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung DE 10 2017 211 957.8, die am 12. Juli 2017 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht wurde und die hiermit durch Bezugnahme in ihrer Gänze in diese Beschreibung aufgenommen wird.

10

1. Technisches Gebiet

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Untersuchen einer Messspitze eines Rastersondenmikroskops.

15

2. Stand der Technik

Rastersondenmikroskope tasten mit einer Messspitze eine Probe bzw. deren Oberfläche ab und liefern damit Messdaten zum Erzeugen einer Darstellung der Topographie der Probenoberfläche. Im Folgenden werden Rastersondenmikroskope durch SPM – eng-
20 lisch für Scanning Probe Microscope - abgekürzt. Je nach Art der Wechselwirkung zwischen der Messspitze und der Probenoberfläche werden verschiedene SPM-Typen unterschieden. Häufig werden Rastertunnelmikroskope (STM, Scanning Tunneling Microscope) eingesetzt, bei denen zwischen der Probe und der Messspitze, die einander
25 nicht berühren, eine Spannung angelegt wird und der resultierende Tunnelstrom gemessen wird.

Beim Rasterkraftmikroskop (AFM für Atomic Force Microscope oder SFM für Scanning Force Microscope) wird eine Messsonde durch atomare Kräfte der Probenoberfläche, typischerweise attraktive Van-der-Waals-Kräfte und/oder repulsive Kräfte der Aus-
30 tauschwechselwirkung, ausgelenkt.

Neben diesen gängigen SPM-Typen gibt es eine Vielzahl weiterer Gerätetypen, die für spezielle Anwendungsgebiete eingesetzt werden, wie beispielsweise Magnetkraftmikroskope oder optische und akustische Rasternahfeldmikroskope.

5 Die Störung eines Bildes, das durch Rastern einer Sonde eines SPM aufgenommen wurde, aufgrund einer nicht idealen Geometrie einer Messspitze ist eine gewichtige Einschränkung der nanometrischen Messtechnik eines Rastersondenmikroskops. Dies gilt in besonderem Maße für Proben mit einem großen Aspektverhältnis, insbesondere falls das Aspektverhältnis der Probenoberfläche der Geometrie der Messspitze nahe-
10 kommt oder diese gar überschreitet. Um zu überprüfen, ob dies der Fall ist, werden Prüfkörper mit Teststrukturen zum Analysieren der Geometrie oder der Form einer Messspitze einer Sonde eines Rastersondenmikroskops eingesetzt. Die nachfolgenden Dokumente beschreiben das Herstellen einer Teststruktur zum Ermitteln der Geometrie oder der Form einer Messspitze einer Sonde eines Rastersondenmikroskops: US 5
15 960 255, DE 101 07 796 A1, EP 0 676 614 A1 und US 8 650 661 B2.

Die nachfolgenden Druckschriften beschäftigen sich mit der Berücksichtigung des Einflusses der Geometrie oder Form einer Messspitze eines SPM auf SPM-Bilder einer Probenoberfläche: V. Bykov et al.: „Test structure for SPM tip shape deconvolution“,
20 Appl. Phys. A 66, S. 499-502 (1998); G. Reiss et al.: „Scanning tunneling microscopy on rough surfaces: Deconvolution of constant current images“, Appl. Phys. Lett. 57 (9), 27 August 1990, S. 867-869; Y. Martin und H.K. Wickramasinghe: „Method of imaging sidewalls by atomic force microscopy“, Appl. Phys. Lett. 64 (19), 9 May 1984, S. 2498-2500; L. Martinez et al.: „Aspect-ratio and lateral-resolution enhancement in force mi-
25 croscopy by attaching nanoclusters generated by an ion cluster source at the end of a silicon tip“, Rev. Sci. Instrum. 82, (2011), S. 023710-1 – 023710-7; X. Qian et al.: „Image simulation and surface reconstruction of undercut features in atomic force microscopy“, SPIE Proc. Vol. 6518, (2007), S. 1-12; L. Udpa et al.: „Deconvolution of atomic
30 force microscopy data for cellular and molecular imaging“, IEEE, Sig. Proc. Mag. 23, 73 (2006); Ch. Wong et al.: „Tip dilation and AFM capabilities in the characterization of nanoparticles“, J. O. Min. 59, 12 (2007); J.S. Villarrubia: „Algorithms for scanned particle microscope image simulation, surface reconstruction, and tip estimation“, J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. 102, S. 425-454 (1997); X. Qian und J.S. Villarrubia: „Gene-

ral three-dimensional image simulation and surface reconstruction in scanning probe microscopy using a dixel representation“, Ultramicroscopy 1008 (2007), S. 29-42.

Rastersondenmikroskope können in verschiedenen Betriebsarten eingesetzt werden.

5 In allen Betriebsarten unterliegen die Messspitzen von Rastersondenmikroskopen durch die Wechselwirkung mit der Probe einer Abnutzung. Der Grad der Abnutzung oder des Abriebs hängt unter anderem vom Betriebsmodus des SPM und der Art der Wechselwirkung zwischen der Messspitze und der Probe ab. Die folgenden Veröffentlichungen beschäftigen sich mit der Abnutzung der Messspitze einer Sonde eines SPM: J. Schneir et al.: „Increasing the value of atomic force microscopy process metrology using high-accuracy scanner, tip characterization, and morphological image analysis“, J. Vac. Sci. Technol. B14(2), Mar/Apr 1996, S. 1540-1546; G. Dahlen et al.: „Tip characterization and surface reconstruction of complex structures with critical dimension atomic force microscopy“, J. Vac. Technol. B 23(6), Nov/Dec 2005, S. 2297-2303; G. Dahlen et al.: „Critical dimension AFM tip characterization and image reconstruction applied to the 45 nm node“, SPIE Proc. Vol. 6152, S. 61522R-1 bis 61522 R-11; J.E. Griffith und D.A. Grigg: „Dimensional metrology with scanning probe microscopes“, J. Appl. Phys. 74 (9), 1 Nov 1993, S. R83-R109.

20 Neben einer Abnutzung können Messspitzen während ihres Betriebs auch verschmutzen. Sowohl die Abnutzung als auch eine Verschmutzung der Messspitze eines Rastersondenmikroskops haben einen Einfluss auf die Qualität der Messdaten und damit des daraus erzeugten Bildes der Oberfläche einer Probe.

25 Eine Möglichkeit der beschriebenen Problematik zumindest teilweise zu entkommen, besteht in einem regelmäßigen Austausch einer Sonde eines Rastersondenmikroskops ohne vorhergehende Prüfung des Zustandes der Messspitze der Sonde. Diese Vorgehensweise führt zu einem Aussortieren noch einsetzbarer Sonden, was mit erheblichen Kosten verbunden ist und resultiert zum anderen aufgrund des häufigen Wechsels der Sonden in langen Stillstandzeiten des Rastersondenmikroskops.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher das Problem zu Grunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, die es ermöglichen, den Einsatz einer Messspitze eines Rastersondenmikroskops zu optimieren.

3. Zusammenfassung der Erfindung

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird dieses Problem durch ein Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. In einer Ausführungsform weist ein Verfahren zum Untersuchen einer Messspitze eines Rastersondenmikroskops die folgenden Schritte auf: (a) Erzeugen zumindest einer Prüfstruktur vor oder nach einem Analysieren einer Probe durch die Messspitze; und (b) Untersuchen der Messspitze mit Hilfe der zumindest einen erzeugten Prüfstruktur.

Falls die Messspitze eines Rastersondenmikroskops nicht in regelmäßigen Abständen präventiv ausgetauscht wird, ist es notwendig – wie im vorhergehenden Abschnitt beschrieben – die Geometrie oder die Form der Messspitze von Zeit zu Zeit zu bestimmen, um die Abnutzung und/oder den Verschmutzungsgrad einer Messspitze eines SPM zu bestimmen. Dies erfordert typischerweise den Austausch der zu untersuchenden Probe gegen einen Prüfkörper. Alternativ kann die Sonde aus dem SPM ausgebaut werden, um deren Messspitze extern mit Hilfe eines Prüfkörpers, der eine Prüfstruktur trägt, zu analysieren. Beides sind sehr zeitaufwändige Prozesse, insbesondere dann, wenn das Rastersondenmikroskop in einer Vakuumumgebung betrieben wird.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren vermeidet diese zeitaufwändigen Prozesse, indem bei Bedarf vor Ort im Rahmen eines Analyseprozesses einer Probe, der mit Hilfe einer Messspitze eines SPM ausgeführt wird, eine Prüfstruktur generiert wird, die zum Untersuchen der momentanen Geometrie oder Form der Messspitze eingesetzt wird. Die Stillstandzeit eines SPM kann dadurch verringert werden, bzw. der Durchsatz eines Rastersondenmikroskops an zu untersuchenden Proben kann gesteigert werden.

Ferner unterliegt eine Prüfstruktur auf einem externen Prüfkörper einer Abnutzung und/oder einer Verschmutzung. Deshalb muss die Topographie der Prüfstruktur in periodischen Zeitabständen analysiert werden und ggf. gereinigt werden. Dies führt zu einem weiteren zeitaufwändigen Reinigungsprozess, der den Arbeitsablauf bei vielen Analyseprozessen von Proben, der mit einer Messspitze eines Rasersondenmikroskops ausgeführt wird, erheblich behindert.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren definiert das in situ Herstellen einer Prüfstruktur in der Umgebung oder Nähe ihres Einsatzortes. Beim unmittelbar anschließenden Untersuchen der Messspitze mit der erzeugten Prüfstruktur weist diese weder eine Abnutzung noch eine Verschmutzung auf.

5

Häufig werden SPMs zum Detektieren der Kontur von Defekten einer Probe eingesetzt. Falls diese Detektion aufgrund einer nicht genau bekannten Form der zum Rastern eingesetzten Messspitze kein realitätsnahes Bild der Kontur eines Defekts oder einer oder mehrerer Markierungen, die zur Ausrichtung einer Reparaturvorrichtung bezüglich eines Defekts eingesetzt werden, ergibt, kann eine Korrektur des Defekts fehlschlagen und im schlimmsten Fall den Defekt sogar verschlimmern.

10

Eine einmal erzeugte Prüfstruktur steht für ein regelmäßiges Untersuchen der Messspitze des SPMs zur Verfügung und verringert dadurch die Gefahr einer fehlerbehafteten Analyse der Kontur eines Defekts und/oder von dessen Reparatur bzw. Kompensierung.

15

Der Ausdruck „nach einem Analysieren einer Probe durch die Messspitze“ schließt ein, dass das Scannen oder Rastern der Probe unterbrochen wird, falls sich bei der simultan ausgeführten Analyse der mittels des Rasterns erzeugten Messdaten Anzeichen ergeben, dass die Messspitze des SPM zum Abtasten der Probe nicht oder nur bedingt geeignet ist. Ferner schließt die oben angegebene Passage nicht aus, dass das Erzeugen einer Prüfstruktur und das Analysieren einer Probe durch die Messspitze gleichzeitig ausgeführt werden.

20

25

Das Erzeugen der zumindest einen Prüfstruktur kann auf der Probe und/oder einem Substrat ausgeführt werden. Das Substrat kann in einer Vakuumkammer angeordnet sein, in der die Probe analysiert wird und ist an einer Stelle in der Vakuumkammer des Rastersondenmikroskops angeordnet, die der Messspitze zugänglich ist. Das Substrat kann einen Probentisch und/oder eine Probenhalterung umfassen.

30

Das Erzeugen der zumindest einen Prüfstruktur kann ein Abscheiden zumindest einer Prüfstruktur und/oder ein Ätzen der zumindest einen Prüfstruktur umfassen.

Das Wichtige einer Prüfstruktur ist deren Kontur. Ob diese Kontur durch Abscheiden von Material auf einem Substrat erzeugt wird, durch Ätzen der Prüfstruktur in ein Substrat und/oder durch Abscheiden von Material auf ein Substrat und anschließendes Ätzen der Prüfstruktur in das abgeschiedene Material ist für deren Funktion nicht von Bedeutung.

Eine Kontur der zumindest einen Prüfstruktur kann an eine Kontur der Probe angepasst sein.

Es ist ein Vorteil eines in situ Erzeugens einer Prüfstruktur, dass deren Kontur an die Kontur einer zu untersuchenden Probe angepasst werden kann. Dadurch kann einerseits sichergestellt werden, dass eine Messspitze mit ausreichender Qualität, d.h. mit entsprechendem Krümmungsradius der Spitze der Messspitze sowie mit angepasstem Öffnungswinkel der Messspitze zum Analysieren der Probe eingesetzt wird und andererseits der Aufwand zum Erzeugen der Prüfstruktur und zum Untersuchen der Messspitze mittels der erzeugten Prüfstruktur in vertretbarem Rahmen bleibt.

Die Kontur der zumindest einen Prüfstruktur kann an die Form der Messspitze angepasst sein.

Beispielsweise kann die Kontur der Prüfstruktur im Wesentlichen die gleiche Form wie die ursprüngliche oder die vorgegebene Form der Messspitze selber aufweisen. Diese Konfiguration erleichtert das Untersuchen der Messspitze bzw. der momentanen Form der Messspitze eines SPM und/oder das Bestimmen von Korrekturwerten zum Korrigieren der mit der Messspitze aufgenommenen Messdaten zum Generieren einer realitätsnahen Kontur der analysierten Probe. Denkbar ist auch eine Kombination, bei der die Prüfstruktur sowohl an die Form der Messspitze als auch an eine Kontur der Probe angepasst sein kann.

Der Ausdruck „im Wesentlichen“ bedeutet hier wie an anderen Stellen dieser Anmeldung eine Angabe einer Messgröße innerhalb ihrer Fehlertoleranzen, wenn die Messgröße mit Messgeräten gemäß dem Stand der Technik gemessen wird.

Die Kontur der zumindest einen Prüfstruktur kann ausgebildet sein zum Detektieren einer von einer Probennormalen abweichenden Bewegungsrichtung der Messspitze.

5 Dadurch können Artefakte beim Bestimmen einer Position eines Defekts bzw. einer Markierung erkannt und korrigiert werden. Indem die Prüfstruktur ermöglicht festzustellen, ob die Bewegungsrichtung der Messspitze eine Abweichung von der z-Richtung, d.h. zur Probennormalen aufweist, kann die Messgenauigkeit der Messspitze des SPM verbessert werden. Der Effekt einer nicht senkrechten Bewegung der Messspitze kann beim Erzeugen eines Bildes aus den mittels des Rasterns generierten Messdaten be-
10 rücksichtigt werden.

Eine Bewegung der Messspitze relativ zu einer Probenoberfläche tritt in einem Betriebsmodus auf, in dem ein Cantilever, an dem die Messspitze befestigt ist, in eine Schwingung versetzt wird, vorzugsweise bei oder in der Nähe einer Resonanzfrequenz
15 des Cantilevers. Ferner tritt eine periodische Relativbewegung zwischen Probe und Messspitze bei einem Step-in Betriebsmodus auf.

Die Kontur der zumindest einen Prüfstruktur kann ausgebildet sein zum Detektieren eines höhenabhängigen Lateralversatzes einer Messspitze, die eine von der Proben-
20 normalen abweichende Bewegungsrichtung der Messspitze umfasst.

Die Bestimmung dieser Größe ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn die Messspitze zur Analyse der Kontur eines Defektes eingesetzt wird und der Defekt mittels einer Reparaturvorrichtung repariert oder kompensiert wird, wobei das Bild des Ras-
25 tersondenmikroskops des Defekts bzw. einer Markierung mit einem von der Reparaturvorrichtung aufgenommenen Bild des Defekts bzw. der Markierung ausgerichtet wird.

Die Kontur der zumindest einen Prüfstruktur kann ausgebildet sein zum Detektieren
30 einer Messspitze, die unter einem von Null verschiedenen Winkel zur Probennormalen orientiert ist, während die Messspitze eine periodische Bewegung parallel zur Probennormalen ausführt.

Die Kontur der zumindest einen Prüfstruktur kann ausgebildet sein zum Unterscheiden einer von der Probennormalen abweichenden Bewegungsrichtung der Messspitze von einer Bewegung der Messspitze in Normalenrichtung, wobei die Messspitze einen von Null verschiedenen Winkel bezüglich der Probennormalen aufweist.

5

Diese Eigenschaft der Prüfstruktur erlaubt es zu unterscheiden, ob beim Scannen der Messspitze über der Prüfstruktur der Regelung für die z-Richtung eine laterale Komponente, etwa in x-Richtung oder der schnellen Scan-Richtung beigemischt ist oder ob eine schräg gestellte Messspitze entlang der Probennormalen eine Schwingung auf-

10

führt. Im erstgenannten Betriebsmodus wird typischerweise ein besseres Abbilden von Proben mit überhängenden Strukturelementen erreicht unter der Voraussetzung, dass die schräge Bewegung eine Bewegungskomponente in Richtung des Überhangs hat.

15

Die Kontur der zumindest einen Prüfstruktur kann ausgebildet sein zum Maximieren eines Anteils der Messspitze, der von der zumindest einen Prüfstruktur abgebildet wird.

20

Eine derartige Prüfstruktur ermöglicht nicht nur das präzise Abbilden der Spitze der Messspitze, sondern eines möglichst großen Anteils der gesamten Oberfläche der Messspitze. Bei Kenntnis der Geometrie oder der Form der gesamten Messspitze kann der Einfluss der Messspitze auf die Messdaten eines Scan- oder eines Rastervorgangs bestmöglich bestimmt werden und beim Erzeugen eines Bildes einer gescannten Probenoberfläche kompensiert werden.

25

Die Prüfstruktur kann rotationssymmetrisch zur Probennormalen sein. Ein Querschnitt der Prüfstruktur kann elliptisch oder vieleckig sein. Die Prüfstruktur kann zumindest eine säulenartige Struktur mit einer konusförmigen Spitze umfassen, die halbkugelförmig endet.

30

Die zumindest eine Prüfstruktur kann zumindest eine Spitze mit einem Krümmungsradius < 100 nm, bevorzugt < 50 nm, mehr bevorzugt < 20 nm, und/oder am meisten bevorzugt < 10 nm umfassen, und/oder die zumindest eine Prüfstruktur kann einen Öffnungswinkel $< 40^\circ$, bevorzugt $< 30^\circ$, mehr bevorzugt $< 20^\circ$, und am meisten bevorzugt $< 10^\circ$ umfassen.

Die Prüfstruktur kann zumindest ein Strukturelement mit einem Unterschnitt umfassen.

5 Aufgrund dieser Eigenschaft der Prüfstruktur kann die Form einer Messspitze außerhalb ihrer Spitze analysiert werden, ohne dass die Spitze der Messspitze mit der Prüfstruktur in Wechselwirkung tritt. Dies sichert ein präzises Untersuchen der Messspitze. Zudem kann eine geeignet unterschnittene Prüfstruktur zum Untersuchen der Messspitze eines CD AFM (Critical Dimension Atomic Force Microscope) eingesetzt
10 werden.

Das Erzeugen der zumindest einen Prüfstruktur kann an einer Stelle der Probe oder des Substrats erfolgen, an der die zumindest eine Prüfstruktur eine Funktion der Probe oder des Substrats im Wesentlichen nicht beeinträchtigt.

15 Das Erzeugen der zumindest einen Prüfstruktur kann umfassen: Bereitstellen eines fokussierten Teilchenstrahls und zumindest eines Präkursor-Gases an der Stelle, an der die zumindest eine Prüfstruktur erzeugt wird. Das Präkursor-Gas zum Abscheiden einer Prüfstruktur kann ein Metallcarbonyl und/oder ein Metallalkoxid umfassen. Das
20 Metallcarbonyl kann Chromhexacarbonyl ($\text{Cr}(\text{CO})_6$) und/oder Molybdänhexacarbonyl ($\text{Mo}(\text{CO})_6$), Wolframhexacarbonyl ($\text{W}(\text{CO})_6$), Dikobaltoctocarbonyl ($\text{Co}_2(\text{CO})_8$), Tri-rutheniumdodecarbonyl ($\text{Ru}_3(\text{CO})_{12}$) und Eisenpentacarbonyl ($\text{Fe}(\text{CO})_5$) umfassen. Das Metallalkoxid kann Tetraethylorthosilicat (TEOS) ($\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$) und/oder Titanisopropoxid ($\text{Ti}(\text{OCH}(\text{CH}_3)_2)_4$) umfassen. Weitere Präkursor-Gase zum Abscheiden einer oder
25 mehrerer Prüfstrukturen sind in der US-Patentanmeldung der Anmelderin mit der Nr. 13 / o 103 281 angegeben.

Ferner kann die zumindest eine Prüfstruktur Kohlenstoff als Hauptbestandteil umfassen. Eine derartige Prüfstruktur, die beispielsweise auf einer photolithographischen
30 Maske abgeschieden wird, weist den Vorzug auf, dass die Prüfstruktur am Ende des Maskenherstellungsprozesses oder des Maskenreparaturprozesses durch Standardreinigungsverfahren wieder im Wesentlichen rückstandsfrei von der Maske entfernt werden kann. Präkursor-Gase zum Abscheiden von vorwiegend Kohlenstoff enthaltende Prüfstrukturen sind: Ethen (H_2C_2), Pyren ($\text{C}_{16}\text{H}_{10}$), Hexadecan ($\text{C}_{16}\text{H}_{34}$), Ameisensäure

(CH₂O₂), Essigsäure (C₂H₄O₂), Propensäure (C₃H₄O₂), Propansäure (C₃H₆O₂), Methylmethacrylat (MMA) (C₅H₈O₂) und Paraffine.

5 Der Teilchenstrahl kann einen Elektronenstrahl, einen Ionenstrahl, einen Photonenstrahl, einen Atomstrahl und/oder einen Molekülstrahl umfassen. Das Abscheiden der zumindest einen Prüfstruktur kann mit Hilfe eines Elektronenstrahl-induzierten Abscheideprozess (EBID) erfolgen. Ein Elektronenstrahl-induzierter Abscheideprozess hat der Vorteil, dass der eingesetzte Elektronenstrahl keinen oder keinen nennenswerten Schaden an der zu untersuchenden Probe verursacht.

10

Das Abscheiden und/oder das Ätzen der zumindest einen Prüfstruktur kann umfassen: Bereitstellen eines fokussierten Teilchenstrahls und zumindest eines Ätzgases an der Stelle der zumindest einen Prüfstruktur. Das Ätzgas kann umfassen: Xenondifluorid (XeF₂), Xenondichlorid (XeCl₂), Xenontetrachlorid (XeCl₄), Wasserdampf (H₂O),
15 schweres Wasser (D₂O), Sauerstoff (O₂), XNO, XONO₂, X₂O, XO₂, X₂O₂, X₂O₄, X₂O₆, wobei X ein Halogenid ist, Ammoniak (NH₃) und/oder Nitrosylchlorid (NOCl). Weitere Ätzgase zum Ätzen einer oder mehrerer der abgeschiedenen Prüfstrukturen sind in der US-Patentanmeldung der Anmelderin mit der Nr. 13 / O 103 281 angegeben.

20 Mit Hilfe eines lokalen Ätzprozesses können zum einen abgeschiedene Prüfstrukturen bei Bedarf an eine zu untersuchende Probe und/oder an eine Messspitze angepasst werden. Dadurch können Prüfstrukturen erzeugt werden, deren Strukturgrößen Abmessungen aufweisen, die mit Hilfe eines Abscheideprozesses nicht erreicht werden können. Zum anderen können mit Hilfe eines lokalen Ätzprozesses direkt Prüfstruktu-
25 ren erzeugt werden, beispielsweise durch Ätzen in ein Substrat einer Maske.

Das Erzeugen der zumindest einen Prüfstruktur kann beim Herstellen der Probe auf der Probe erfolgen.

30 In einer anderen Ausführungsform wird die Prüfstruktur bereits während des Herstellungsprozesses der Probe auf dieser erzeugt. Dadurch kann die Prüfstruktur individuell auf die Strukturelemente einer Probe abgestimmt werden. Diese individualisierte Prüfstruktur steht dann während der Lebensdauer der Probe zur Verfügung, um das Analysieren der Probe mit Hilfe einer Messspitze eines SPM durch Untersuchen der zur

Analyse eingesetzten Messspitze zu optimieren. Die oben ausgeführte Abnutzungs- und Verschmutzungsproblematik muss jedoch beachtet werden, insbesondere bei einem Betrieb der Probe außerhalb einer Vakuumumgebung.

- 5 Die Schritte a. und b. können im Vakuum ohne Brechen des Vakuums ausgeführt werden.

10 Eine Anwendung eines Rastersondenmikroskops erfolgt häufig in Kombination mit einem Rasterteilchenmikroskop, etwa einem Rasterelektronenmikroskop. Ein Rasterteilchenmikroskop arbeitet typischerweise in einer Vakuumumgebung. Das oben definierte Verfahren weist den Vorteil auf, dass das Rasterteilchenmikroskop einen fokussierten Teilchenstrahl zum Abscheiden und/oder zum Ätzen der Prüfstruktur bereitstellen kann, sodass zum Abscheiden der Prüfstruktur und zum Untersuchen der Messspitze des SPM weder die Probe getauscht noch die Messspitze gewechselt werden
15 muss. Da das SPM die Probe in einer Vakuumumgebung rastert, unterliegt die abgeschiedene Prüfstruktur im Wesentlichen keiner Verschmutzung.

Das Untersuchen der Messspitze kann umfassen: Scannen der Messspitze über die zumindest eine abgeschiedene Prüfstruktur.

20

Beim Rastern einer Messspitze eines SPM über eine Probe oder eine Prüfstruktur enthalten die Messdaten des SPM eine Überlagerung der Geometrie oder der Form der Messspitze und der Kontur der Probe oder der Kontur der Prüfstruktur. Mathematisch wird die Überlagerung durch eine Faltung oder einen Faltungsoperator beschrieben.

25

Im nächsten Abschnitt sind Literaturstellen angegeben, in denen eine Faltung von einer Probe und der Messspitze eines SPM beschrieben wird. Falls ein Krümmungsradius der Messspitze und deren Öffnungswinkel klein gegen die Kontur der Probe ist, bilden die Messdaten eines Rastervorgangs über die Probe im Wesentlichen die Kontur der Probe ab. Im anderen Grenzfall, wenn die Kontur der Probe Änderungen des Höhenprofils aufweist, die größer oder sehr viel größer sind als die Form oder Geometrie der
30 Messspitze bilden die Änderungen des Höhenprofils der Probe im Wesentlichen die Form der Messspitze ab.

Um den zuletzt genannten Fall zu verhindern, übernimmt eine Prüfstruktur die Funktion eines Referenznormals, mit dessen Hilfe die Messspitze eines SPM untersucht werden kann, um deren Geometrie oder Form zu bestimmen. Dies bedeutet, die Kontur der Prüfstruktur sollte zumindest eine ähnliche Größe aufweisen wie die Form der Messspitze. Besser ist es jedoch, wenn die Kontur der Prüfstruktur steilere Änderungen aufweist als die Form der Messspitze des SPM. Auf der Basis der Kenntnis der Form der Messspitze kann aus den Messdaten des Rasterns einer Probe auf deren tatsächliche Kontur geschlossen werden. Dieser Prozess bzw. dieser Entfaltungsprozess ist in der Literatur bereits vielfach beschrieben worden, beispielsweise in den im einleitenden Teil zitierten Dokumenten: X. Qian et al.: „Image simulation and surface reconstruction of undercut features in atomic force microscopy“, SPIE Proc. Vol. 6518, (2007), S. 1-12; L. Udpa et al.: „Deconvolution of atomic force microscopy data for cellular and molecular imaging“, IEEE, Sig. Proc. Mag. 23, 73 (2006); J.S. Villarrubia: „Algorithms for scanned particle microscope image simulation, surface reconstruction, and tip estimation“, J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. 102, S. 425-454 (1997); G. Dahlen et al.: Tip characterisation and surface reconstruction of complex structures with critical dimension atomic force microscopy“, J. Vac. Sci. Technol. B 23(6), Nov/Dec 2005, S. 2297-2303; und X. Qian und J.S. Villarrubia: „General three-dimensional image simulation and surface reconstruction in scanning probe microscopy using a dixel representation“, Ultramicroscopy 1008 (2007), S. 29-42.

Die Entfaltungsoperation stellt mathematisch die Umkehrung der Faltungsoperation dar. Die Entfaltung der Messdaten, die durch Rastern der Messspitze eines SPM über eine Bedeutung erzeugt wurden, bezüglich des Einflusses der Messspitze gewinnt an Wichtigkeit, falls die größten Änderungen des Höhenprofils der Probe in die Nähe der Form der Messspitze kommen oder diese gar überschreiten.

Darüber hinaus ist es für ein reproduzierbares quantitatives Messen eines SPM sehr wichtig, die Formänderungen einer Messspitze aufgrund von Abnutzung und/oder Verschmutzung zu kennen und bei der Analyse der von der Messspitze erzeugten Messdaten zum Erzeugen einer Kontur einer Probenoberfläche zu berücksichtigen.

Das Untersuchen der Messspitze kann umfassen: Abbilden der zumindest einen abge- schiedenen Prüfstruktur mit einem fokussierten Teilchenstrahl.

Vorzugsweise wird die Prüfstruktur auf die Probe und/oder das Substrat mittels eines Teilchenstrahl-induzierten Abscheide- oder Depositionsprozesses und/oder mittels eines Teilchenstrahl-induzierten Ätzprozesses erzeugt. Dadurch steht in einer Vorrichtung zum Ausführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens typischerweise ein fokussierter Teilchenstrahl bereit. Dieser kann benutzt werden, um zu analysieren, ob die Kontur der abgeschiedenen Prüfstruktur einer vorgegebenen Kontur entspricht. Falls Abweichungen hiervon bestehen, kann die abgeschiedene Prüfstruktur mit Hilfe eines lokalen Ätzprozesses so verändert werden, dass deren gemessene Kontur im Wesentlichen mit der vorgegebenen Kontur übereinstimmt.

Das Untersuchen der Messspitze kann ferner umfassen: Erzeugen einer Karte von Bereichen der Probe, die von der Messspitze des Rastersondenmikroskops nicht erreicht werden können.

Anhand dieser Karte können der oder die Bereiche einer Probe ermittelt werden, in denen die aus dem Messdaten erzeugten Bilddaten, die tatsächliche Kontur der Probe nicht richtig wiedergeben. Durch Austausch der Messspitze gegen eine feinere Messspitze, d.h. mit geringerem Krümmungsradius und/oder mit kleinerem Öffnungswinkel und/oder durch ein Rastern der Messspitze, wobei die Bewegung der Messspitze eine Bewegungskomponente senkrecht zur Probennormalen und damit eine laterale Bewegungskomponente aufweist, können die Bereiche, in denen die Kontur der Probe nicht bestimmt werden kann, verkleinert werden oder nahezu zum Verschwinden gebracht werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann ferner den Schritt aufweisen: Scannen der Probe mit einem Teilchenstrahl zum Auffinden eines Defekts der Probe. Zum Analysieren einer Probenoberfläche wird vorzugsweise ein Photonenstrahl und/oder ein Elektronenstrahl benutzt.

Ferner kann das erfindungsgemäße Verfahren den Schritt aufweisen: Erzeugen zumindest einer Markierung auf der Probe zum Auffinden des Defekts durch die Messspitze des Rastersondenmikroskops. Die zumindest eine Markierung kann die zumindest eine Prüfstruktur umfassen.

Häufig wird eine Markierung auf einer Probe angebracht, die einen oder mehrere Defekte aufweisen, die mit verschiedenen Typen von Metrologie-Geräten analysiert werden. Die Markierung(en) dienen zum leichteren Identifizieren der von dem jeweiligen Metrologie-Gerät zu analysierenden Bereiche. Ferner können diese Markierung(en) zur Driftkorrektur der Reparaturvorrichtung während eines Reparaturprozesses eingesetzt werden. Indem die Markierung(en) so ausgeführt werden, dass diese zusätzlich die Funktion einer Prüfstruktur für eine Messspitze eines Rastersondenmikroskops erfüllen, kann mit minimalen zusätzlichem Aufwand eine Prüfstruktur in unmittelbarer Nähe eines zu analysierenden Bereichs einer Probe geschaffen werden. Hierdurch wird zudem der Aufwand zum Umschalten zwischen einem Analysieren der Probe mit der Messspitze und dem Untersuchen der Messspitze des SPM mit der Prüfstruktur minimiert.

Das Untersuchen der Messspitze kann umfassen: Bestimmen einer derzeitigen Form der Messspitze anhand des Scannens der Messspitze über die zumindest eine abge-schiedene Prüfstruktur. Ferner kann das Untersuchen der Messspitze umfassen: Ver-gleichen der derzeitigen Form der Messspitze mit einer vorgegebenen Form der Mess-spitze und/oder Vergleichen der derzeitigen Form der Messspitze mit der Kontur der Probe.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann ferner den Schritt aufweisen: Scannen der Pro-be mit der Messspitze, wenn die derzeitige Form der Messspitze innerhalb eines vorge-gebenen Variationsbereichs bezüglich der vorgegebenen Form der Messspitze ist, und/oder wenn die derzeitige Form der Messspitze einen vorgegebenen Abstand zur maximalen Änderung des Höhenprofils der Probe aufweist.

Zudem kann das erfindungsgemäße Verfahren den Schritt aufweisen: Wechseln der Messspitze des Rastersondenmikroskops, wenn die derzeitige Form außerhalb des vor-gegebenen Variationsbereichs bezüglich der vorgegebenen Form ist. Das Wechseln der Messspitze kann umfassen: Wechseln der Messspitze des Rastersondenmikroskops oder Verwenden einer anderen Messspitze einer Sonden-Anordnung des Rasterson-denmikroskops.

Durch das Verwenden einer Sonden-Anordnung mit zwei oder mehr Sonden kann zum einen die Ausnutzung der einzelnen Messspitzen in Abhängigkeit der zu analysierenden Probe(n) gesteigert werden, indem bereits abgenutzte Messspitzen zum Analysieren von Proben eingesetzt werden, die kein großes Aspektverhältnis in ihrer Kontur aufweisen. Zum anderen kann der Zeitabstand zwischen dem Austausch einer Sonden-Anordnung verglichen mit einer Sonde, die nur eine einzige Messspitze aufweist, deutlich vergrößert werden. Das Aspektverhältnis bezeichnet das Verhältnis aus der Tiefe bzw. Höhe einer Struktur zu ihrer (kleinsten) lateralen Abmessung.

Überdies kann das erfindungsgemäße Verfahren den Schritt aufweisen: Reinigen und/oder Schärfen der Messspitze des Rastersondenmikroskops, wenn die derzeitige Form außerhalb des vorgegebenen Variationsbereichs der vorgegebenen Form ist. Das Reinigen und/oder das Schärfen der Messspitze des Rastersondenmikroskops kann umfassen: Bestrahlen der Messspitze mit einem fokussierten Teilchenstrahl. Darüber hinaus kann das Reinigen und/oder das Schärfen der Messspitze umfassen: Bereitstellen eines Ätzgases an der Stelle der Messspitze.

Es ist ein Vorteil des beschriebenen Verfahrens, dass die Prozesse des Schärfens und Reinigens einer Messspitze in einem SPM ausgeführt werden können, ohne dass hierzu die Messspitze aus dem Rastersondenmikroskop ausgebaut werden muss.

Der Schritt des Schärfens und/oder der Schritt des Reinigens kann einmal bis zehnmal, bevorzugt, einmal bis achtmal, mehr bevorzugt einmal bis fünfmal, und am meisten bevorzugt einmal bis dreimal wiederholt werden.

Überdies kann das erfindungsgemäße Verfahren den Schritt aufweisen: Abscheiden von Material auf die Spitze der Messspitze, wenn die derzeitige Form der Messspitze außerhalb des vorgegebenen Variationsbereichs der Form der Messspitze liegt.

Durch das Abscheiden von Material auf die Spitze einer abgenutzten Messspitze kann deren ursprünglicher Krümmungsradius wiederhergestellt werden und damit deren Lebensdauer signifikant erhöht werden.

Beispielsweise kann auf die Messspitze eine Kohlenstoff-basierte lange, feine Messspitze abgeschieden werden, die im englischen Sprachraum als „whisker tip“ bekannt ist.

5 Schließllich kann das erfindungsgemäße Verfahren die Schritte umfassen: (a) Entfernen einer Messspitze, wenn die derzeitige Form der Messspitze außerhalb des vorgegebenen Variationsbereichs der Form der Messspitze liegt und (b) Abscheiden einer neuen Messspitze. Der Schritt (a) kann mit Hilfe eines Elektronenstrahl- und/oder eines Ionenstrahl-induzierten Ätzprozesses ausgeführt werden.

10 Die zuletzt erläuterten Maßnahmen können ausgeführt werden, da deren Erfolg anhand der durchgehend verfügbaren Prüfstruktur in einfacher Weise überprüft werden kann, sodass der Einfluss der reparierten, d.h. geschärften oder gereinigten oder neu hergestellten Messspitze auf die mit der Messspitze generierten Messdaten stets bekannt ist und rechnerisch beseitigt werden kann. Dadurch ermöglichen die diskutierten
15 Maßnahmen, die Zeit zwischen zwei Wechseln einer Messspitze drastisch zu verlängern im Vergleich zu einem Rastersondenmikroskop, dessen Messspitze nicht repariert werden kann.

Die Probe kann eine photolithographische Maske oder einen Wafer umfassen. Die zumindest eine Prüfstruktur kann auf einem Rand der photolithographischen Maske abgeschieden werden, auf den im Wesentlichen keine Strahlung einer aktinischen Wellenlänge auftrifft. Ferner kann die zumindest eine Prüfstruktur auf einem Rand eines Wafers zwischen zwei Chips abgeschieden werden.

25 Die zumindest eine Prüfstruktur kann auf einem Pattern-Element der photolithographischen Maske abgeschieden werden. Insbesondere kann die zumindest eine Prüfstruktur auf einem absorbierenden Pattern-Element der photolithographischen Maske abgeschieden werden.

30 Diese Ausführungsform hat den Vorzug, dass ein Abstand zwischen der Prüfstruktur und dem mit der Messspitze des SPM zu analysierenden Bereich klein gehalten werden kann, was ein Untersuchen der Messspitze in kurzen Zeitabständen innerhalb eines Analyseprozesses der Probe durch die Messspitze des SPM erleichtert.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird das oben genannte Problem durch eine Vorrichtung nach Anspruch 18 gelöst. In einer Ausführungsform weist eine Vorrichtung zum Untersuchen einer Messspitze eines Rastersondenmikroskops auf: (a) eine Erzeugungseinheit, die ausgebildet ist zum Erzeugen einer Prüfstruktur vor oder nach einer Analyse einer Probe durch die Messspitze; und (b) eine Untersuchungseinheit, die ausgebildet ist zum Untersuchen der Messspitze mit Hilfe der zumindest einen erzeugten Prüfstruktur.

Die Erzeugungseinheit kann ausgebildet sein zum Abscheiden einer Prüfstruktur und/oder zum Ätzen einer Prüfstruktur.

Die Erzeugungseinheit kann ausgebildet sein, die zumindest eine Prüfstruktur auf der Probe und/oder einem Substrat zu erzeugen.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann ferner eine Verschiebungseinheit aufweisen, die ausgebildet ist, einen Abstand zwischen einem Auftreffpunkt eines Teilchenstrahls der Erzeugungseinheit auf der Probe und/oder einem Substrat und einem Wechselwirkungsort zwischen der Probe und/oder dem Substrat und der Messspitze zu überbrücken.

Überdies kann die erfindungsgemäße Vorrichtung ausgebildet sein, die Verfahrensschritte des oben definierten, erfindungsgemäßen Verfahrens und der oben spezifizierten Aspekte auszuführen.

Schließlich kann ein Computersystem Anweisungen umfassen, die, wenn sie von einem Computersystem einer Vorrichtung ausgeführt werden, eine Steuereinrichtung der Vorrichtung veranlassen, die Schritte des oben definierten Verfahrens und der oben spezifizierten Aspekte auszuführen.

4. Beschreibung der Zeichnungen

In der folgenden detaillierten Beschreibung werden derzeit bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben, wobei

- Fig. 1 im Teilbild A eine schematische Darstellung einer Sonde eines Rastersondenmikroskops (SPM) zeigt und im Teilbild B eine Sonden-Anordnung eines Rastersondenmikroskops wiedergibt, die zwei unterschiedliche Messspitzen aufweist;
- 5 Fig. 2 schematisch den Ablauf einer Prüfung einer Messspitze eines SPM und eines Sondenwechsels nach dem Stand der Technik veranschaulicht;
- 10 Fig. 3 schematisch ein Ablaufdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens darstellt, wobei die notwendigen Verfahrensschritte hervorgehoben sind;
- 15 Fig. 4 im Teilbild A links eine Aufsicht auf eine photolithographische Maske wiedergibt mit einem Ausschnitt, der mit einer Messspitze eines SPM abgetastet werden soll und der rechts vergrößert dargestellt ist und im Teilbild B das Teilbild A nach einem Anbringen einer Prüfstruktur auf den Rand der photolithographischen Maske (links) bzw. auf ein Pattern-Element präsentiert (rechts);
- 20 Fig. 5 einen schematischen Schnitt durch eine Vorrichtung zum Erzeugen einer Prüfstruktur und zum Untersuchen einer Messspitze eines SPM mit Hilfe der zuvor erzeugten Prüfstruktur zeigt;
- Fig. 6 einen Schnitt durch zwei Ausführungsformen einer Prüfstruktur wiedergibt;
- 25 Fig. 7 Schnitte und Aufsichten auf vier weitere Beispiele von Prüfstrukturen präsentiert;
- Fig. 8 Schnitt durch zwei beispielhafte geätzte Prüfstrukturen;
- 30 Fig. 9 im Teilbild A eine unbenutzte Messspitze zeigt, im Teilbild A eine abgenutzte Messspitze wiedergibt, im Teilbild C eine verunreinigte Messspitze darstellt und im Teilbild D eine durch einen Elektronenstrahl-induzierten Ätzprozess reparierte Messspitze zeigt;

Fig. 10 im Teilbild A das Abtasten eines Ausschnitts einer photolithographischen Maske mit einer idealen Messspitze darstellt, die senkrecht zur Maskennormalen orientiert ist, und im Teilbild B Änderungen angibt, die reale Messspitzen hervorrufen;

5

Fig. 11 den Abtastprozess des Teilbildes A der Fig. 10 wiederholt, bei dem eine ideale zur Proben- oder Maskennormalen orientierte Messspitze eine schräge oder nicht senkrechte Bewegung bezüglich der Maskennormalen ausführt;

10

Fig. 12 den Abtastprozess des Teilbildes A der Fig. 10 wiederholt, bei dem eine ideale Messspitze, d.h. eine Messspitze die keine laterale Ausdehnung aufweist, eine Bewegung entlang der Maskennormalen ausführt und wobei die Orientierung der Messspitze einen von Null verschiedenen Winkel bezüglich der Maskennormalen aufweist;

15

Fig. 13 Schnitte von einem Abtastvorgang über eine Ausführungsform einer Prüfstruktur veranschaulicht, die mit verschiedenen Bewegungsformen einer Messspitze ausgeführt werden, wobei die Prüfstruktur zwei Strukturelemente mit zwei Hinter- oder Unterschnitt aufweist;

20

Fig. 14 im linken Teilbild A die Analyse von Markierungen unterschiedlicher Höhe auf Pattern-Elementen eines Maskenausschnitts mit Hilfe eines Rasterkraftmikroskops (AFM) wiedergibt und im rechten Teilbild A den Ausschnitt der Maske des rechten Teilbildes B präsentiert, der mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops (SEM) abgetastet wurde; und

25

Fig. 15 einen Schnitt eines Scan-Vorgangs einer Messspitze eines Rastersondenmikroskops über eine in der Fig. 7 angegebene Prüfstruktur darstellt, wobei die Messspitze eine von der Probennormalen abweichende Bewegung ausführt.

30

5. Detaillierte Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele

Im Folgenden werden derzeit bevorzugte Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Untersuchen einer Messspitze eines Rastersondenmikroskops

(SPM) am Beispiel eines Rasterkraftmikroskops oder AFMs (Atomic Force Microscope) genauer erläutert. Das erfindungsgemäße Verfahren ist jedoch nicht auf die Anwendung durch ein Rasterkraftmikroskop beschränkt. Vielmehr kann das erfindungsgemäße Verfahren für alle Arten von Rastersondenmikroskopen eingesetzt werden, deren

5 Messspitze durch Wechselwirkung mit einer Probe einer Abnutzung unterliegen. Ferner kann das definierte Verfahren zum Untersuchen einer Messspitze eingesetzt werden, die durch das Rastern der Messspitze über eine Probenoberfläche verschmutzt.

Im Folgenden wird das erfindungsgemäße Verfahren am Beispiel der Analyse einer

10 photolithographischen Maske mit einer Messspitze eines AFM ausgeführt. Die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist jedoch nicht auf das Rastern einer photolithographischen Maske beschränkt. Im Gegenteil kann das in dieser Anmeldung spezifizierte Verfahren zum Optimieren des Untersuchens aller Arten von Proben mit Hilfe eines Rastersondenmikroskops benutzt werden. Beispielfhaft erwähnt werden sollen

15 hier lediglich die Analyse eines Wafers während der verschiedenen Herstellungsschritte einer integrierten Schaltung oder eines Halbleiter-Bauelements. Schließlich soll an dieser Stelle noch beispielhaft erwähnt werden, dass die Messspitze eines SPM neben der Analyse auch für Bearbeitungszwecke einer Probe eingesetzt werden kann. Bei einer Bearbeitung einer Probe mit Hilfe einer Messspitze eines SPM findet eine intensive

20 Wechselwirkung zwischen der Messspitze und einer Probenoberfläche statt. Beim Bearbeiten einer Probe unterliegt deshalb die Messspitze eines SPM einer erhöhten Abnutzung und/oder einer verstärkten Verschmutzung. Dies bedeutet, beim Bearbeiten einer Probe durch eine Messspitze eines SPM kann das erfindungsgemäße Verfahren besonders vorteilhaft zum Optimieren des Bearbeitungsprozesses eingesetzt werden.

25 Das obere Teilbild A der Fig. 1 zeigt schematisch und stark vergrößert eine Sonde 150 eines Rastersondenmikroskops. Die Sonde 150 weist einen Cantilever 140 auf, der an einem Ende in einer Halteplatte 160 endet. Mit Hilfe der Halteplatte 160 wird die Sonde 150 in einen Messkopf eines SPM eingesetzt. Beispielsweise kann die Halteplatte 160

30 der Sonde 150 zum Befestigen der Sonde 150 an einem Piezo-Aktuator eines SPM verwendet werden (in der Fig. 1 nicht dargestellt). Das der Halteplatte 160 entgegengesetzte oder freie Ende des Cantilevers 140 trägt eine Messspitze 100, die in einer Spitze 120 endet. Die Messspitze 100 kann eine beliebige Form aufweisen. Beispielsweise kann die Messspitze 100 eine pyramidenförmige Form oder die Form eines Rotationsparabolo-

ids aufweisen. Ferner kann die Messspitze 100 eine Elefantenfuß-ähnliche Form (englisch: flared tip) aufweisen (in der Fig. 1 nicht dargestellt).

Der Cantilever 140 und die Messspitze 100 können einstückig ausgeführt werden. Beispielsweise kann der Cantilever 140 und die Messspitze 100 aus einem Metall, wie etwa Wolfram, Kobalt, Iridium, einer Metalllegierung, aus einem Halbleiter, wie etwa Silizium oder einen Isolator wie etwa Siliziumnitrid gefertigt werden. Es ist auch möglich, den Cantilever 140 und die Messspitze 100 als zwei getrennte Komponenten zu fertigen und anschließend miteinander zu verbinden. Dies kann beispielsweise durch Kleben
10 erfolgen.

Anstelle der im Teilbild A dargestellten Sonde 160 mit einer einzigen Messspitze 100 und einem einzigen Cantilever 140 kann von einem SPM ein Messspitzenträger oder eine Sonden-Anordnung 190 eingesetzt werden, die zwei oder mehr Messspitzen 100 und 110 aufweist. Im unteren Teilbild B der Fig. 1 ist schematisch und stark vergrößert eine Sonden-Anordnung 190 dargestellt, die fünf Messspitzen 100 und 110 aufweist, die
15 eine verschiedenen Länge und eine verschiedene Form haben. Die Messspitze 100, die mit der Messspitze 100 der Sonde 150 identisch sein kann, ist an zwei Cantilever 140 der Sonden-Anordnung 190 angebracht und drei Cantilever 140 des Messspitzenträgers 190 weisen die Messspitze 110 auf. In der Sonden-Anordnung 190 der Fig. 1 sind beide
20 Messspitzen 100 und 110 für Analysezwecke ausgelegt. Es ist auch möglich, dass jeder der fünf Cantilever 140 der Sonden-Anordnung 190 eine Messspitze trägt, deren Form verschieden ist und somit für spezifische Analysezwecke einer Probe designt ist (in der Fig. 1 nicht wiedergegeben). Ferner ist es möglich, dass der Messspitzenträger 190
25 gleichzeitig eine Anzahl von Messspitzen trägt, die für Analyse- und Bearbeitungszwecke optimiert sind (in der Fig. 1 nicht gezeigt).

Bei einem Wechsel einer Messspitze 100 der Sonde 150 wird immer die gesamte Sonde 150 ausgetauscht. Bei einem Wechsel der Messspitze 100, 110 der Sonden-Anordnung
30 190 wird entweder die Sonden-Anordnung 190 ausgetauscht oder es wird von einer abgenutzten und/oder verschmutzten Messspitze 100, 110 zu einer weniger oder nicht abgenutzten und einer nicht verschmutzten Messspitze 110, 100 gewechselt.

Wenn im Folgenden von einer Messspitze 100, 110 die Rede ist, wird nicht unterschieden, ob diese Messspitze 100 an einer Sonde 150 oder einer Sonden-Anordnung 190 angebracht ist. Überdies wird nicht unterschieden, welche spezifische Form oder Geometrie diese Messspitze 100, 110 aufweist und für welche Aufgabe diese ausgelegt ist.

5

Die Fig. 2 präsentiert beispielhaft den Ablauf eines Verfahrens zum Untersuchen einer Messspitze 110, 110 eines SPM nach dem Stand der Technik. Werden während eines Scannens der Messspitze 100, 110 über eine Probe Anzeichen detektiert, dass die Qualität der Messspitze 100, 110 nicht einem vorgegebenen Qualitätslevel entspricht, so kann auf zwei Arten mit diesem Hinweis umgegangen werden. Zum einen kann die Messspitze 100, 110 ohne weitere Analyse ausgetauscht werden und der Scan-Vorgang der Probe wird sodann mit der neuen Messspitze fortgesetzt. Dies kann insbesondere dann günstig sein, wenn das Rastersondenmikroskop eine Sonden-Anordnung 190 verwendet, die mehrere Messspitzen 100, 110 umfasst.

10

15

Bei einem alternativen Vorgehen wird die Messspitze 100, 110 aus dem SPM ausgebaut und in einem speziellen Testaufbau anhand eines kommerziell verfügbaren Prüfkörpers, der eine Test- oder eine Prüfstruktur enthält, analysiert. Alternativ kann die Probe in einem SPM durch den Prüfkörper ersetzt werden und die Messspitze 100, 110, die eine fragwürdige Qualität aufweist, wird durch Abtasten der Prüfstruktur des Prüfkörpers vermessen. Bei den beiden zuletzt genannten Alternativen wird anschließend die Qualität der Messspitze 100, 110 bestimmt und mit einer vorgegebenen Qualitätsschwelle verglichen. Eine Messspitze 100, 110, die diesen Test besteht, wird weiterverwendet. Falls die analysierte Messspitze 100, 110 den geforderten Qualitätslevel nicht erreicht, wird diese Messspitze 100, 110 gegen eine neue Messsonde ausgetauscht und der Scan-Vorgang der Probe wird mit einer neuen Messspitze fortgesetzt bzw. neu begonnen.

20

25

30

Die Fig. 3 gibt ein Flussdiagramm 300 eines erfindungsgemäßen Verfahrens wieder. Die nicht unbedingt notwendigen Verfahrensschritte sind durch eine gepunktete Umrandung dargestellt. Diese geben die Einbettung des erfindungsgemäßen Verfahrens in einen Analyseprozess an und dienen zum Abgrenzen des in dieser Anmeldung spezifizierten Verfahrens von dem in der Fig. 2 erläuterten Stand der Technik. Die für das Ausführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens essentiellen Prozessschritte sind

durch eine durchgezogene, fette Umrandung hervorgehoben. In der Fig. 4 werden parallel einige der Verfahrensschritte schematisch am Beispiel einer Probe in Form einer photolithographischen Maske 400 veranschaulicht.

- 5 Das Verfahren beginnt mit Schritt 305. In einem ersten Schritt 310 wird eine Probe durch eine Messspitze 100, 110 eines SPM abgetastet oder gescannt. Im Teilbild A der Fig. 4 ist links schematisch eine Aufsicht auf eine photolithographische Maske 400 gezeigt. Die photolithographische Maske 400, die Photomaske 400 oder einfach die Maske 400 weist einen Rand 410 und eine aktive Fläche 420 auf. Der Rand 410 weist anders als der aktive Bereich 420 keine Pattern-Elemente auf und dient somit nicht zum
- 10 Abbilden von Strukturen in einen Photolack, der auf einem Wafer angeordnet ist. Die Maske 400 kann eine transmittierende oder eine reflektierende Photomaske 400 sein. Mit einer Messspitze 100, 110 tastet ein Rastersondenmikroskop einen kleinen Ausschnitt 430 der Photomaske 400 ab. Der Ausschnitt 430 ist im Teilbild A rechts vergrößert dargestellt. Der Ausschnitt 430 der Photomaske 400 umfasst ein Substrat 440 auf das drei Pattern-Elemente 450 in Form von absorbierenden Pattern-Elementen abgeschieden sind. Ferner weist der Ausschnitt 430 der Photomaske 400 einen Defekt 460 auf, der auf dem Substrat 440 der Maske 400 angeordnet ist. Der Defekt 460 kann eine Vertiefung des Substrats 440, eine Erhöhung des Substrats 440 und/oder der De-
- 15 fekt 460 kann absorbierendes Material umfassen, das an einer Stelle auf dem Substrat 440 der Maske 400 deponiert ist, die frei von absorbierendem Material sein sollte. Der Defekt 460 ist typischerweise der Grund warum der Ausschnitt 430 der Maske 400 mit der Messspitze 100, 110 eines SPM abgetastet wird.
- 20
- 25 Die mittels des Abtastvorgangs der Messspitze 100, 110 erzeugten Messdaten werden parallel zum Scan-Vorgang der Messspitze 100, 110 über den Ausschnitt 430 der Maske 400 ausgewertet. Dabei wird analysiert, ob eine Kontur der Probe, d.h. das Aspektverhältnis der Pattern-Elemente 450 und/oder ein Höhen- bzw. ein Tiefenprofil des Defekts 460 des Ausschnitts 430 der Maske 400 mit einer vorgegebenen Form oder Geometrie der Messspitze 100, 110 untersucht werden kann. Dies trifft beispielsweise zu,
- 30 wenn die Messspitze 100, 110 dafür ausgelegt ist, das Aspektverhältnis der absorbierenden Pattern-Elemente 450 und/oder das Höhen- bzw. des Tiefenprofils des Defekts 460 realitätsnah abzutasten. Falls dies nicht zutrifft, ist es fragwürdig, ob die Qualität der Messspitze 100, 110 ausreicht, um die Kontur der Probe, d.h. die Pattern-Elemente

450 und/oder das Höhen- bzw. das Tiefenprofil des Defekts 460 so abzutasten, dass die Messspitze 100, 110 des SPM alle oder fast alle Bereiche des Substrats 440, der Pattern-Elemente 450 und des Defekts 460 erreichen kann. Falls die analysierten Messdaten Anlass zu der Befürchtung geben, dass diese Bedingung nicht erfüllt ist, sind Anzeichen
5 vorhanden, dass die Qualität der Messspitze 100, 110 zum Analysieren der Probe oder der Maske 400 nicht ausreicht. Bei Entscheidungsblock 310 wird entschieden, ob diese Anzeichen vorliegen, d.h. ob die Qualität der Messspitze 100, 110 fragwürdig ist. Falls dies nicht zutrifft und die Messspitze 100, 110 zum Abtasten des Ausschnitts 430 der photolithographischen Maske 400 geeignet ist, wird bei Entscheidungsblock 360
10 geprüft, ob der Scan der Messspitze 100, 110 über die Probe abgeschlossen ist. Ist dies der Fall, endet das Verfahren bei Schritt 365. Wird jedoch bei Entscheidungsblock festgestellt, dass der Scan der Probe noch nicht abgeschlossen ist, springt das Verfahren zu Schritt 310 zurück und setzt das Scannen oder Abtasten der Probe oder der Maske 400 mit der Messspitze 100, 110 fort.

15 Wenn bei Entscheidungsblock 310 hingegen bestimmt wird, dass die Qualität der verwendeten Messspitze 100, 110 in Zweifel zu ziehen ist, schreitet das Verfahren zu Schritt 315 fort. Bei diesem Schritt wird ein Probenstück an eine Stelle verschoben, an der eine Prüfstruktur auf die Probe, beispielsweise die Maske 400 oder ein Substrat
20 abgeschieden werden kann. Diese Verschiebung kann in dem in der Fig. 4 dargestellten Ausführungsbeispiel durch Verschiebeelemente eines Probenstückes erfolgen, die den Probenstück in der Probenebene, d.h. in der xy-Ebene verschieben können. Die x-Bewegung des Probenstückes in der x- und/oder der y-Richtung kann durch ein Interferometer für jede Bewegungsrichtung kontrolliert werden (vgl. die Beschreibung der Fig.
25 5).

Im nächsten Schritt 320 wird eine Prüfstruktur erzeugt. Im Teilbild B der Fig. 4 sind zwei Ausführungsbeispiele für Stellen 470 und 480 auf der Maske 400 angegeben, an denen eine Prüfstruktur erzeugt werden kann. Das Erzeugen einer Prüfstruktur kann
30 durch Abscheiden einer Prüfstruktur auf einer Probe und/oder durch Ätzen einer Prüfstruktur in eine Probe erfolgen. Details eines Erzeugungsprozesses einer Prüfstruktur werden im Kontext der Diskussion der Figuren 5 und 6 erläutert. Beispiele von Prüfstrukturen sind in den Figuren 6, 7 und 8 angegeben. Das linke Diagramm des Teilbildes B zeigt ein Beispiel einer Prüfstruktur, die auf dem Rand 410 oder dem nicht

aktiven Bereich 410 der photolithographischen Maske 400 abgeschieden ist. Das linke Diagramm des Teilbildes B präsentiert den Ausschnitt 430 der Maske 400, der bereits im darüberliegenden Teilbild A dargestellt ist. Auf das mittlere Pattern-Element der Pattern-Elemente 450 des Ausschnitts 430 des Teilbildes B ist an der Stelle 480 eine Prüfstruktur deponiert.

In einem anderen Ausführungsbeispiel kann eine Prüfstruktur auf einem Substrat eines SPM erzeugt werden (in der Fig. 4 nicht gezeigt). Als ein Substrat eines SPM kommen alle Komponenten eines SPM in Frage, die so verschoben werden können, dass eine auf dem Substrat platzierte Prüfstruktur unter die Messspitze 100, 110 des Rastersondenmikroskops platziert werden kann. Als Substrat kommen damit insbesondere der Probenstisch und/oder die Probenhalterung des SPM in Frage.

Wieder mit Bezug zur Fig. 3 wird im nächsten Schritt 325 der Probenstisch oder das Substrat so verschoben, dass die Messspitze 100, 110 des SPM die an den Stellen 470, 480 erzeugte Prüfstruktur abtasten kann. Hierzu können in der in der Fig. 4 dargestellten beispielhaften Ausführungsform die beiden oben erwähnten Verschiebeelemente des Probenstisches benutzt werden.

Sodann wird bei Schritt 330 die Messspitze 100, 110 mit Hilfe der an der Stelle 470, 480 erzeugte Prüfstruktur untersucht. Details dieses Analyseprozesses werden im Kontext der nachfolgenden Fig. 6 diskutiert.

Bei Prozessschritt 335 wird auf der Basis der Messdaten, die beim Untersuchen der Messspitze 100, 110 anhand der bei der Position 470, 480 erzeugten Prüfstruktur gewonnen wurden, die aktuelle oder derzeitige Form der Messspitze 100, 110 bestimmt. Dieser Prozessschritt wird nachfolgend anhand der Fig. 6 erläutert.

Bei Entscheidungsblock 340 wird festgestellt, ob die derzeitige oder aktuelle Form der Messspitze 100, 110 innerhalb eines vorgegebenen Variationsbereichs einer neuen oder unbenutzten Messspitze liegt. Falls die der Fall ist, springt das Verfahren zu Schritt 310 zurück und fährt mit dem Abtasten der Probe, beispielsweise der Maske 400 mit der Messspitze 100, 110 des Rastersondenmikroskops fort.

Falls hingegen die aktuelle Form der Messspitze 100, 110 aus dem zulässigen Variationsbereichs fällt, fährt das Verfahren mit dem Entscheidungsblock 345 fort. Bei Entscheidungsblock 345 wird entschieden, ob die Messspitze 100, 110 repariert oder ersetzt werden soll. Falls die Entscheidung zugunsten des Reparierens fällt, wird die

5 Messspitze 100, 110 bei Schritt 350 repariert. Das Reparieren einer Messspitze 100, 110 kann auf vier verschiedene Arten erfolgen, die in der Fig. 3 aus Übersichtlichkeitsgründen nicht gezeigt sind. Zum einen kann die Messspitze 100, 110 gereinigt werden, zum zweiten kann die Messspitze 100, 110 geschärft werden, zum dritten kann Material auf die Messspitze 100, 110 abgeschieden werden, um deren derzeitige Form wieder inner-

10 halb des zulässigen Variationsbereichs bezüglich der vorgegebenen oder ursprünglichen Form der Messspitze 100, 110 zu bringen und schließlich kann die vorhandene Messspitze vom Cantilever 140 entfernt werden und eine neue Messspitze 100, 110 kann an der Stelle der ursprünglichen Messspitze auf dem Cantilever 140 abgeschieden werden.

15 Bevor mit der reparierten Messspitze bei Schritt 310 der Scan-Vorgang fortgesetzt wird, kann das Verfahren von Prozessschritt 350 zu Schritt 330 zurückspringen und die reparierte Messspitze wird mit Hilfe der bei der Position 470, 480 abgeschiedenen Prüfstruktur untersucht, um festzustellen, ob die Reparatur erfolgreich war. Dieser

20 Prozessschritt ist in dem Ablaufdiagramm 300 der Fig. 3 aus Übersichtlichkeitsgründen unterdrückt.

Wenn bei Entscheidungsblock 345 für das Ersetzen der Messspitze 100, 110 optiert wird, schreitet das Verfahren zu Schritt 355 fort, bei dem die derzeitige Messspitze 100,

25 110 ersetzt wird. Das Ersetzen der Messspitze 100, 110 kann wiederum auf zwei Wegen erfolgen, die in dem Flussdiagramm 300 der Fig. 3 aus Übersichtlichkeitsgründen ebenfalls nicht wiedergegeben sind. Zum einen kann die Messspitze 100 der Sonde 150 durch eine neue Messspitze einer unbenutzten Sonde ersetzt werden. Alternativ kann eine Messspitze 100, 110 der Sonden-Anordnung 190 durch eine Messspitze 110, 100

30 ersetzt werden, die zum Abtasten der Probe, beispielsweise des Ausschnitts 430 der Maske 400 besser geeignet ist als die bisher eingesetzte Messspitze 100, 110. Die bisher benutzte Messspitze 100, 110 der Sonden-Anordnung 190 steht noch immer zum Rastern einer Probe zur Verfügung, deren Kontur ein kleineres Aspektverhältnis aufweist als die derzeit zu analysierende Probe.

- Schließlich kann in einem weiteren Schritt, der in der Fig. 3 ebenfalls nicht repräsentiert ist, das Verfahren von Schritt 355 zu Prozessschritt 330 zurückspringen und die neu zum Einsatz vorgesehene Messspitze 110, 100 der Sonden-Anordnung 190 kann vor ihrem Einsatz mit Hilfe der bei 470, 480 abgeschiedenen Prüfstruktur untersucht werden, um sicherzustellen, dass die zum Einsatz vorgesehene Messspitze 110, 100 eine Form oder Geometrie aufweist, die zum Rastern der Probe besser geeignet ist als die ursprünglich für diesen Zweck eingesetzte Messspitze 100, 110.
- 10 In einer alternativen Ausführungsform wird vor Beginn des Untersuchens einer Probe, beispielsweise der Maske 400, stets die Qualität der Messspitze 100, 110 einer Prüfstruktur überprüft. Bei dieser Vorgehensweise ist der erste Schritt eines erfindungsgemäßen Verfahrens das Erzeugen einer Prüfstruktur. In einer weiteren Abwandlung wird eine Messspitze 100, 110 nach einer vorgegebenen Anzahl ausgeführter Messzyklen einer Qualitätskontrolle unterzogen. Falls die Qualitätskontrolle ansteht, wird eine Prüfstruktur auf der Probe erzeugt und die momentane Kontur der Messspitze 100, 110 mit Hilfe der erzeugten Prüfstruktur bestimmt.
- 20 Die wesentlichen Unterschiede zwischen dem herkömmlich benutzten Ablauf zum Überprüfen der Funktionsfähigkeit einer Messspitze 100, 110, der in der Fig. 2 wiedergegeben ist und dem in dieser Anmeldung definierten Ablaufdiagramm 300 der Fig. 3 sind: (a) Das in der Fig. 3 wiedergegebene Verfahren benötigt keinen Sonden- oder Probenwechsel. Die Zeit zum Ein- und Ausschleusen einer Sonde 150 bzw. einer Prüfstruktur entfällt. (b) Die kurz vor ihrem Einsatz vor Ort 470, 480 abgeschiedene Prüfstruktur ist neu und weist demnach keine Spuren einer Abnutzung auf. Ferner ist die gerade erst deponierte Prüfstruktur im Wesentlichen frei von Verunreinigungen. Das Überprüfen der Funktionsfähigkeit der Prüfstruktur und ggf. das Ausführen eines Reinigungsvorgangs der Prüfstruktur entfällt.
- 30 Das in der Fig. 3 präsentierte Flussdiagramm 300 kann als ein automatisierter Prozess ausgeführt werden. Dies bedeutet, das Abscheiden einer Prüfstruktur, das Untersuchen der Messspitze 100, 110 und das Bestimmen der aktuellen Form der Messspitze 100, 110 auf der Basis des Untersuchungsprozesses der Messspitze 100, 110 mit Hilfe der abgeschiedenen Prüfstruktur kann ohne menschliche Interaktion erfolgen.

Die Fig. 5 zeigt einen schematischen Schnitt durch einige wichtige Komponenten einer Vorrichtung 500, die zum Ausführen des in der Fig. 3 wiedergegebenen Verfahrens eingesetzt werden kann. Die in der Fig. 5 dargestellte Vorrichtung 500 umfasst ein Rastersondenmikroskop 520, das in der beispielhaften Vorrichtung 500 in Form eines Rastertkraftmikroskops 520 oder eines Atomkraftmikroskops (AFM, Atomic Force Microscope) 520 ausgeführt ist. Ferner umfasst die beispielhafte Vorrichtung 500 der Fig. 5 ein modifiziertes Rasterteilchenmikroskop 530, das als ein modifiziertes Rasterelektronenmikroskop (SEM, Scanning Electron Microscope) 530 realisiert ist. Wie bereits oben erwähnt, kann das in dieser Anmeldung beschriebene Verfahren vorteilhaft zum Optimieren des Einsatzes eines Rastersondenmikroskops 520 eingesetzt werden, dessen Messspitze 100, 110 durch Wechselwirkung mit einer Probe einer Abnutzung und/oder einer Verschmutzung unterliegt.

Von dem Rastersondenmikroskop 520 ist in der Vorrichtung 500 der Fig. 5 der Messkopf 523 dargestellt. Der Messkopf 523 umfasst eine Haltevorrichtung 525. Mittels der Haltevorrichtung 525 ist der Messkopf 523 am Rahmen der Vorrichtung 500 befestigt (in der Fig. 5 nicht gezeigt). Die Haltevorrichtung 525 kann um ihre Längsachse, die in horizontaler Richtung verläuft, gedreht werden (in der Fig. 5 nicht gezeigt). Dadurch wird es möglich, die Messspitze 100, 110 unter den Elektronenstrahl 535 zu platzieren, wobei die Spitze 120, 130 der Messspitze 100, 110 in Richtung der Elektronenquelle 532 weist. In einer alternativen Ausführungsform wird die Sonde 150 oder die Sonden-Anordnung 190 in einem Sonden-Speicher in der Vakuumkammer der Vorrichtung 500 abgelegt. Eine mechanische Einheit, die in der Fig. 5 nicht gezeigt ist, dreht der Messspitze 100, 110 um die Längsachse des Cantilevers 140 und platziert diese unter dem Elektronenstrahl 535 des SEM 530.

An der Haltevorrichtung 525 des Messkopfes 523 ist ein Piezo-Aktuator 515 angebracht, der eine Bewegung des freien Endes des Piezo-Aktuators 515 in drei Raumrichtungen ermöglicht (in der Fig. 5 nicht dargestellt). Am freien Ende des Piezo-Aktuators 515 ist ein Biegebalken 140 befestigt, der im Folgenden, wie im Fachgebiet üblich, Cantilever 140 genannt wird.

Wie in der Fig. 1 schematisch vergrößert dargestellt ist, weist der Cantilever 140 eine Halteplatte 160 zum Befestigen an dem Piezo-Aktuator 515 auf. Anstelle einer einzigen Messspitze 100 der Sonde 150 kann ein Messspitzenträger 190 oder eine Sonden-Anordnung 190 an dem Messkopf 523 des SPM 520 angebracht werden, der zwei oder
5 mehr Messspitzen aufweist. Ein Beispiel einer Sonden-Anordnung 190 mit fünf Messspitzen 100, 110 ist im Teilbild B der Fig. 1 angegeben.

In der Vorrichtung 500 der Fig. 5 wird eine zu untersuchende Probe 510 auf einem Probentisch 505 fixiert. Die zu untersuchende Probenoberfläche 512 der Probe 510
10 weist vom Probentisch 505 weg. Das Fixieren der Probe 510 kann beispielsweise durch Auflegen der Probe 510 auf Auflagepunkte des Probentisches 505 in einer Vakuum- oder Hochvakuumumgebung oder durch eine elektrostatische Wechselwirkung zwischen dem Probentisch 505 und einer elektrisch leitfähigen Rückseite der Probe 510
15 erfolgen. Zudem kann die Probe 510 durch Klemmen auf dem Probentisch 505 gehalten werden (in der Fig. 5 nicht gezeigt).

Die Probe 510 kann eine beliebige mikrostrukturierte Komponente oder Bauteil sein. Beispielsweise kann die Probe 510 eine transmittierende oder eine reflektierende Photomaske, etwa die Photomaske 400 der Fig. 4 und/oder ein Template für die Nano-
20 imprint-Technik umfassen. Ferner kann das SPM 520 zum Untersuchen beispielsweise einer integrierten Schaltung, eines mikroeletromechanischen Systems (MEMS) und/oder einer photonischen integrierten Schaltung eingesetzt werden.

Wie in der Fig. 5 durch Pfeile symbolisiert, kann der Probentisch 505 durch ein Positionierungssystem 507 in drei Raumrichtungen relativ zum Messkopf 523 des AFM 520
25 bewegt werden. Im Beispiel der Fig. 5 ist das Positionierungssystem 507 in Form mehrerer Mikromanipulatoren oder Verschiebeelemente ausgeführt. Die Bewegung des Probentisches 505 in der Probenebene, d.h. in der xy-Ebene kann durch zwei Interferometer kontrolliert werden (in der Fig. 5 nicht gezeigt). In einer alternativen Ausführungsform kann das Positionierungssystem 507 zusätzlich Piezo-Aktuatoren enthalten
30 (in der Fig. 5 nicht dargestellt). Das Positionierungssystem 507 wird durch Signale einer Steuereinrichtung 580 kontrolliert. In einer alternativen Ausführungsform bewegt die Steuereinrichtung 580 nicht den Probentisch 505, sondern die Haltevorrichtung 525 des Messkopfes 523 des AFM 520. Es ist ferner möglich, dass die Steuereinrichtung

580 eine grobe Positionierung der Probe 510 in der Höhe (z-Richtung) ausführt und der Piezo-Aktuator 515 des Messkopfes 523 eine präzise Höheneinstellung des AFM 520 vornimmt. Die Steuereinrichtung 580 kann Teil eines Computersystems 585 der Vorrichtung 500 sein.

5

Alternativ oder zusätzlich kann in einer weiteren Ausführungsform die Relativbewegung zwischen der Probe 510 und der Messspitze 100, 110 zwischen dem Positionierungssystem 507 und dem Piezo-Aktuator 515 aufgeteilt werden. Beispielsweise führt das Positionierungssystem 507 die Bewegung der Probe 510 in der Probenebene (xy-Ebene) aus und der Piezo-Aktuator 515 ermöglicht die Bewegung der Messspitze 100, 110 oder allgemein der Sonde 150 bzw. der Sonden-Anordnung 190 in Richtung der Probennormalen (z-Richtung).

10

15

Wie bereits erwähnt, enthält das beispielhafte Rasterteilchenmikroskop 530 der Fig. 5 ein modifiziertes SEM 530. Eine Elektronenkanone 532 erzeugt einen Elektronenstrahl 535, der von den in der Säule 537 angeordneten Abbildungselementen, die in der Fig. 5 nicht dargestellt sind, als fokussierter Elektronenstrahl 535 an der Stelle 545 auf die Probe 510 gerichtet wird, die auf einem Probentisch 505 (oder Stage) angeordnet ist. Die Abbildungselemente der Säule 537 des SEM 530 können ferner den Elektronenstrahl 535 über die Probe 510 rastern oder scannen. Ferner ist es möglich, den Elektronenstrahl 535 auf den Probentisch 505 oder eine Probenhalterung zu richten (in der Fig. 5 nicht gezeigt).

20

25

Die aus dem Elektronenstrahl 535 von der Probe, beispielsweise der Position 470 und/oder 480 rückgestreuten Elektronen und die von dem Elektronenstrahl 535 in der Probe 510, etwa an der Stelle 470 und/oder 480 erzeugten Sekundärelektronen werden von dem Detektor 540 registriert. Ein Detektor 540, der in der in der Elektronensäule 537 angeordnet ist, wird als „in lens detector“ bezeichnet. Der Detektor 540 kann in verschiedenen Ausführungsformen in die Säule 537 installiert werden. Der Detektor 540 wird von der Steuereinrichtung 580 gesteuert. Ferner empfängt die Steuereinrichtung 580 des SPM 530 die Messdaten des Detektors 540. Die Steuereinrichtung 580 kann aus den Messdaten und/oder den Daten des Messkopfes 523 bzw. der Messspitze 100, 110 Bilder erzeugen, die auf einem Monitor 590 dargestellt werden.

30

Die Steuereinrichtung 580 und/oder das Computersystem 585 können ferner einen oder mehrere Algorithmen umfassen, die die Vorrichtung 500 veranlassen, eine Prüfstruktur an der Position 470, 480 abzuscheiden, Ferner kann der oder die Algorithmen auf die Vorrichtung 500 einwirken, um die Messspitze 100, 110 mit Hilfe der abgeschiedenen Prüfstruktur zu untersuchen. Zudem kann der oder die Algorithmen ausgelegt sein, die derzeitige Form der Messspitze 100, 110 aus den generierten Messdaten zu ermitteln.

Alternativ oder zusätzlich kann das Rastersondenmikroskop 530 einen Detektor 542 für rückgestreute Elektronen oder für Sekundärelektronen aufweisen, der außerhalb der Elektronensäule 537 angeordnet ist. Der Detektor 542 wird ebenfalls von der Steuereinrichtung 580 gesteuert.

Der Elektronenstrahl 535 des SEM 530 kann zum Abbilden der Probe 510 eingesetzt werden. Darüber hinaus kann der Elektronenstrahl 535 des SEM 530 auch zum Erzeugen einer oder mehrerer Prüfstrukturen an den Stellen 470, 480 auf der Probe 510 bzw. des Probenstückes 505 benutzt werden. Das Erzeugen einer Prüfstruktur kann durch Abscheiden und/oder Ätzen einer Prüfstruktur erfolgen. Zum Erzeugen einer Prüfstruktur und zum Ausführen weiterer Aufgabe weist die Vorrichtung 500 der Fig. 5 drei verschiedene Vorratsbehälter 550, 555 und 560 auf.

Der erste Vorratsbehälter 550 speichert ein erstes Präkursor-Gas, insbesondere ein erstes Kohlenstoff-enthaltendes Präkursor-Gas. Im ersten Vorratsbehälter 550 kann beispielsweise ein Metallcarbonyl, etwa Chromhexacarbonyl ($\text{Cr}(\text{CO})_6$) oder ein Metallalkoxid gespeichert werden, wie etwa TEOS. Weitere Präkursor-Gase, die zum Abscheiden einer Prüfstruktur mit großem Kohlenstoffanteil geeignet sind, sind im dritten Teil dieser Beschreibung angegeben. Mit Hilfe des im ersten Vorratsbehälter 550 gespeicherten Präkursor-Gases kann in einer lokalen chemischen Reaktion eine Prüfstruktur 470, 480 auf die Probe 510 bzw. die Maske 400 abgeschieden werden, wobei der Elektronenstrahl 535 des SEM 530 als Energielieferant fungiert, um das im ersten Vorratsbehälter 550 bevorratete Präkursor-Gas an der Stelle zu spalten, an der die Prüfstruktur 470, 480 auf der Maske 400 abgeschieden werden soll. Dies bedeutet, durch das kombinierte Bereitstellen eines Elektronenstrahls 535 und eines Präkursor-

Gases wird ein EBID- (Electron Beam Induced Deposition) Prozess zum Generieren einer Prüfstruktur ausgeführt.

5 Ein Elektronenstrahl 535 kann auf einen Fleckdurchmesser von wenigen Nanometern fokussiert werden. Dadurch erlaubt ein EBID-Prozess das Abscheiden von Prüfstrukturen die Strukturelemente im niedrigen zweistelligen Nanometerbereich aufweisen. Die Kombination aus einem Rasterteilchenmikroskop 530 und der Steuereinrichtung 580 wird auch als Erzeugungseinheit 584 bezeichnet. Ferner wird die Kombination aus einem Rastersondenmikroskop 520 und der Steuereinrichtung 580 als Untersuchungseinheit 582 bezeichnet.

15 Neben dem Abscheiden einer Prüfstruktur 470, 480 kann ein EBID-Prozess auch zum Abscheiden von Material auf die Spitze 120, 130 einer abgenutzten Messspitze 100, 110 eingesetzt werden. Dadurch kann eine abgenutzte Spitze 120, 130 einer Messspitze 100, 110 wieder geschärft werden, so dass ihre Form zumindest soweit verbessert werden kann, dass diese innerhalb eines vorgegebenen Variationsbereichs einer neuen unbenutzten Messspitze liegt.

20 Zudem kann ein lokaler EBID-Prozess zum Korrigieren des Defekts 460 verwendet werden, wenn der Defekt 460 ein Defekt fehlenden Materials ist.

25 Der zweite Vorratsbehälter 555 speichert ein Ätzgas, das das Ausführen eines Elektronenstrahl-induzierten Ätzprozesses (EBIE, Electron Beam Induced Etching) ermöglicht. Mit Hilfe eines Elektronenstrahl-induzierten Ätzprozesses kann eine mittels eines EBID-Prozesses abgeschiedene Prüfstruktur so modifiziert werden, so dass diese eine vorgegebene Kontur aufweist. Eine Prüfstruktur kann durch Verschleppen einer Verschmutzung der Probe 510 über die Messspitze 100, 110 auf die Prüfstruktur übertragen werden. Durch einen Reinigungsprozess der Prüfstruktur 470, 480 kann deren Funktionsfähigkeit im Wesentlichen wiederhergestellt werden. Dazu wird die
30 Prüfstruktur an die Stelle 470, 480 mit einem Elektronenstrahl 535 und ggf. unter Bereitstellung des im zweiten Vorratsbehälter 555 gespeicherten Ätzgases gereinigt.

Ferner kann der Elektronenstrahl 535 in Kombination mit einem Ätzgas zum Erzeugen einer Prüfstruktur durch Ätzen einer Prüfstruktur in einer Probe 510 und/oder einer Probentisch 505 erzeugt werden.

5 Wie oben erwähnt, kann die Messspitze 100, 110 des SPM 520 um dessen horizontale Achse gedreht werden. Dadurch wird es möglich, eine verschmutzte Messspitze 100, 110 durch Bestrahlen mit dem Elektronenstrahl 535 und ggf. durch Bereitstellen eines geeigneten Ätzgases, das beispielsweise in dem Vorratsbehälter 555 bereitgehalten wird, zu reinigen.

10

Wenn der Defekt 460 ein Defekt überschüssigen Materials ist, kann der Defekt 460 von der Maske 400 durch Ausführen eines lokalen EBIE-Prozesses entfernt werden. Ein Ätzgas kann beispielsweise Xenondifluorid (XeF_2), Chlor (Cl_2), Sauerstoff (O_2), Ozon (O_3), Wasserdampf (H_2O), Wasserstoffperoxid (H_2O_2), Distickstoffmonoxid (N_2O),
15 Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO_2), Salpetersäure (HNO_3) Ammoniak (NH_3) oder Schwefelhexafluorid (SF_6) umfassen. Weitere geeignete Ätzgase sind im dritten Teil dieser Beschreibung aufgeführt.

In dem dritten Vorratsbehälter 560 kann ein additives Gas gespeichert werden, das
20 dem in dem zweiten Vorratsbehälter 555 bereitgehaltenen Ätzgas oder dem im ersten Vorratsbehälter 550 gespeicherten Präkursor-Gas bei Bedarf hinzugegeben wird. Alternativ kann der dritte Vorratsbehälter 560 ein zweites Präkursor-Gas oder ein zweites Ätzgas gespeichert werden.

25 Die Anzahl der Vorratsbehälter 550, 555, 560 in der Vorrichtung 500 ist nicht auf drei Vorratsbehälter festgelegt. Die minimale Anzahl umfasst einen Vorratsbehälter zum Bevorraten von wenigstens einem Präkursor-Gas zum Abscheiden einer Prüfstruktur. Nach oben kann die Anzahl der Vorratsbehälter der Vorrichtung 500 flexibel an die für die auszuführenden Bearbeitungsprozesse von der Vorrichtung 500 benötigten Pro-
30 zessgase angepasst werden.

Jeder der Vorratsbehälter 550, 555 und 560 hat in der Vorrichtung 500 der Fig. 5 sein eigenes Steuerventil 551, 556 und 561, um den pro Zeiteinheit bereitgestellten Betrag des entsprechenden Gases, d.h. den Gasmengenstrom an der Stelle 545 des Auftreffens

des Elektronenstrahls 535 auf die Probe 510, die Probenhalterung oder auf die Messspitze 100, 110 zu kontrollieren bzw. zu steuern. Die Steuerventile 551, 556 und 561 werden durch die Steuerungseinrichtung 580 gesteuert und kontrolliert. Damit lassen sich die Partialdruckverhältnisse der am Bearbeitungsort 545 zum Abscheiden einer Prüfstruktur an der Position 470, 480 bzw. zum Ausführen der weiteren für die oben beschriebenen Prozesse bereitgestellten Gase in einem weiten Bereich einstellen.

Ferner hat in der beispielhaften Vorrichtung 500 der Fig. 5 jeder Vorratsbehälter 550, 555 und 560 sein eigenes Gaszuleitungssystem 552, 557 und 562, das mit einer Düse 553, 558 und 563 in der Nähe des Auftreffpunkts 545 des Elektronenstrahls 535 auf die Probe 510, den Probentisch 510 bzw. auf die Messspitze 100, 110 endet.

In dem in der Fig. 5 dargestellten Beispiel sind die Ventile 551, 556 und 561 in der Nähe der entsprechenden Behälter 550, 555 und 560 angeordnet. In einer alternativen Anordnung können die Steuerventile 551, 556 und 561 in der Nähe der entsprechenden Düsen eingebaut werden (in der Fig. 5 nicht gezeigt). Anders als in der Fig. 5 dargestellt und gegenwärtig nicht bevorzugt, ist es auch möglich, ein oder mehrere der in den Behältern 550, 555 und 560 gespeicherten Gase ungerichtet im unteren Teil 572 der Vakuumkammer 570 oder der Reaktionskammer 572 der Vorrichtung 500 bereitzustellen. In diesem Fall ist es günstig, wenn die Vorrichtung 500 eine Blende (in der Fig. 5 nicht dargestellt) zwischen dem unteren Reaktionsraum 572 und dem oberen Teil 574 der Vorrichtung 500, der die Säule 537 des SEM 530 enthält, die den fokussierten Elektronenstrahl 535 bereitstellt, einzubauen, um einen zu geringen Unterdruck im oberen Teil 574 der Vorrichtung 500 zu verhindern.

Die Vorratsbehälter 550, 555 und 560 können ihr eigenes Temperatureinstellelement und /oder Kontrollelement haben, das sowohl ein Kühlen wie auch ein Heizen der entsprechenden Vorratsbehälter 550, 555 und 560 ermöglicht. Dies ermöglicht das Speichern und insbesondere das Bereitstellen des bzw. der Kohlenstoff enthaltenden Präkursor-Gase und/oder des bzw. der Ätzgase bei der jeweils optimalen Temperatur (in der Fig. 5 nicht gezeigt). Darüber hinaus können die Zuführungssysteme 552, 557 und 562 ihre eigenen Temperatureinstellelemente und/oder Temperaturkontrollelemente umfassen, um alle Bearbeitungsgase bei ihrer optimalen Bearbeitungstemperatur an dem Auftreffpunkt 545 des Elektronenstrahls 535 auf der Probe 510, den Probentisch 505,

falls die Prüfstruktur 470, 480 auf letzterem abgeschieden wird, bzw. der Messspitze 100, 110 bereitzustellen (in der Fig. 5 ebenfalls nicht angegeben). Die Steuerungseinrichtung 580 kann die Temperatureinstellelemente und die Temperaturkontrollelemente sowohl der Vorratsbehälter 550, 555, 560 als auch der Gaszuleitungssysteme 552, 557, 562 steuern. Während des Bearbeitens der Probe 510 mittels EBID- und/oder EBIE-Prozessen können die Temperatureinstellelemente der Vorratsbehälter 550, 555 und 560 ferner eingesetzt werden, um durch die Wahl einer entsprechenden Temperatur den Dampfdruck der darin gespeicherten Präkursor-Gase einzustellen.

Die in der Fig. 5 dargestellte Vorrichtung 500 kann unter Umgebungsbedingungen oder in einer Vakuumkammer 570 betrieben werden. Zum Abscheiden einer Prüfstruktur an einer der Stellen 470, 480 ist ein Unterdruck in der Vakuumkammer 570 bezogen auf den Umgebungsdruck notwendig. Zu diesem Zweck weist die Vorrichtung 500 der Fig. 5 ein Pumpensystem 575 zum Erzeugen und zum Aufrechterhalten eines in der Vakuumkammer 570 geforderten Unterdrucks auf. Bei geschlossenen Steuerventilen 551, 556 und 561 wird in der Vakuumkammer 570 der Vorrichtung 500 ein Restgasdruck $< 10^{-4}$ Pa erreicht. Das Pumpensystem 575 kann separate Pumpensysteme für den oberen Teil 574 der Vorrichtung 500 zum Bereitstellen des Elektronenstrahls 535 des SEM und des unteren Teils 572 bzw. des Reaktionsraumes 572 umfassen (in der Fig. 5 nicht gezeigt).

Herkömmlich werden Prüfstrukturen typischerweise auf Prüfkörpern mittels Herstellungsverfahren generiert, die aus dem Bereich der Herstellung von Halbleiter-Bauelementen bekannt sind. Durch diese Herstellungsverfahren bedingt, ergeben sich erhebliche Einschränkungen bezüglich der Kontur der Prüfstruktur. Dadurch kann die Geometrie der Messspitze 100, 110 eines SPM 520 nur unvollständig bestimmt werden. Das Herstellen einer Prüfstruktur mit Hilfe eines EBID- und/oder eines EBIE-Prozesses, der von der Vorrichtung 500 ausgeführt wird, vermeidet die meisten dieser Einschränkungen. Zusätzlich ermöglicht ein EBID-Prozess das flexible Anpassen einer Prüfstruktur an die Form der vom SPM 520 verwendeten Messspitze 100, 110.

Die Fig. 6 zeigt im Teilbild A einen Schnitt durch eine Ausführungsform einer Prüfstruktur 600. Die Prüfstruktur 600 weist einen zylinderförmigen Schaft 610 auf, an den sich ein konusförmig verjüngender Spitzenbereich 620 anschließt, der in einer

halbkreisförmigen Spitze 630 endet. Wie oben im Kontext der Fig. 5 ausgeführt, kann die Prüfstruktur 600 aus einem Kohlenstoff-enthaltenden Präkursor-Gas abgeschieden werden, das in der beispielhaften Vorrichtung 500 in dem Vorratsbehälter 550 gespeichert ist. Der Schaft 610 kann einen Durchmesser aufweisen, der vom einstelligen Mikrometerbereich bis in den dreistelligen Nanometerbereich reicht. Die Länge des Schaftes 610 der Prüfstruktur 600 weist typischerweise ähnliche Abmessungen auf. Der Öffnungswinkel α 640 des Spitzenbereichs 620 reicht von 40° bis etwa 10° . Der Krümmungsradius der Spitze 630 reicht von 100 nm bis in den einstelligen Nanometerbereich. Zum Abscheiden des Schaftes 610 wird der fokussierte Elektronenstrahl 535 unter gleichzeitigem Bereitstellen des Präkursor-Gases auf die Stelle 470, 480 fokussiert, an der die Prüfstruktur abgeschieden werden soll. Die Kontur oder die Geometrie der erzeugten Prüfstruktur hängt von dem Fleckdurchmesser in Fokus, der kinetischen Energie der Elektronen des Elektronenstrahls 535, dessen Stromstärke sowie der Strahlzeit des Elektronenstrahls 535 und dem Gasdruck des verwendeten Präkursor-Gases ab.

Eine Prüfstruktur 600, die vorwiegend Kohlenstoff umfasst, weist den Vorteil auf, dass die Prüfstruktur 600 an Ende eines Maskenherstellungs- oder eines Maskenreparaturprozesses mittels eines konventionellen Reinigungsprozesses wieder von der Maske 400 entfernt werden kann. Dadurch wird die Möglichkeit eröffnet, die Prüfstruktur 600 nicht nur auf absorbierende Pattern-Elemente 450 der Maske 400 abzuscheiden, sondern auf phasenschiebende Pattern-Elemente bzw. auf das Substrat 430 einer Maske 400. Zudem kann eine vorwiegend Kohlenstoff umfassende Prüfstruktur allgemein zum Optimieren des Untersuchens von optischen Elementen mit Hilfe eines SPM 520 eingesetzt werden, die keine Pattern-Elemente 450 aufweisen.

In einer anderen Ausführungsform ist es möglich, dauerhafte Prüfstrukturen 600 auf der Probe 510 oder einem Substrat mit Hilfe des SPM 520 zu deponieren. Hierzu kann beispielsweise das Präkursor-Gas TEOS in dem ersten Vorratsbehälter 550 gespeichert werden. Die dauerhafte Prüfstruktur 600 kann auf der Probe 510 verbleiben und von anderen Rastersondenmikroskopen während der Lebensdauer der Probe 510 zum Optimieren des Untersuchens der Probe 510 mit einem SPM 520 benutzt werden. In einer weiteren Ausführungsform kann die Prüfstruktur 600 bereits beim Herstellen der Probe 510 an der Position 470 bzw. 480 deponiert werden (in der Fig. 6 nicht dargestellt).

Die Prüfstruktur 600 der Fig. 6 weist im Wesentlichen die Form der Messspitze 100, 110 auf. Falls die Kontur der Prüfstruktur 600 und die Form oder Geometrie der Messspitze 100, 110 im Wesentlichen identisch sind, wird der Entfaltungsprozess zum Bestimmen der Form der Messspitze 100, 110 aus dem Abtasten der Prüfstruktur 600 mit der Messspitze 100, 110 vereinfacht. Wie im dritten Teil dieser Beschreibung ausgeführt ist, ist der Entfaltungsprozess bereits in vielen Dokumenten beschrieben. Deshalb wird an dieser Stelle auf eine Darstellung dieses Prozesses verzichtet. Es wird vielmehr auf die oben aufgelisteten Dokumente verwiesen.

Die Prüfstruktur 600 der Fig. 6 ist rotationssymmetrisch. Dies ist jedoch nicht notwendig. Vielmehr kann der Querschnitt einer Prüfstruktur 600 elliptisch oder vieleckig sein. Beispielsweise kann eine Prüfstruktur 600 eine pyramidenförmige Struktur aufweisen (in der Fig. 6 nicht gezeigt).

Das Teilbild B der Fig. 6 präsentiert einen Schnitt durch eine Prüfstruktur 650, in der mehrere der im Teilbild A wiedergegebenen Prüfstrukturen 600 kombiniert sind. Die Elemente 660 der Prüfstruktur 650 sind im Wesentlichen mit der Prüfstruktur 600 des Teilbildes A identisch. Die Elemente 670 unterscheiden sich von der Prüfstruktur 600 lediglich durch eine größere Länge des Schaftes 610 der Prüfstruktur 600. Die Prüfstruktur 650 des Teilbildes B der Fig. 6 wird ähnlich wie die Prüfstruktur 600 in einem EBID-Prozess an einer der Stellen 470 und/oder 480 auf der Maske 400 bzw. die Probe 510 abgeschieden.

Um eine Prüfstruktur 650 zu erzeugen, deren Strukturelemente sich in mehreren Eigenschaften unterscheiden, können Elemente 660 und 670 erzeugt werden, die neben einer unterschiedlichen Länge ihres Schaftes 610 verschiedene Krümmungsradien und/oder verschiedene Öffnungswinkel aufweisen. Dadurch kann eine Prüfstruktur 650 abgeschieden werden, die zum Untersuchen von Messspitzen 100, 110 geeignet sind, deren ursprüngliche Form oder Geometrie zum Analysieren von unterschiedlichen Proben 510 ausgelegt sind und demnach unterschiedliche Formen aufweisen. Zudem ist eine Prüfstruktur 650 mit mehreren verschiedenen Strukturelementen zum Untersuchen von abgenutzten und/oder verschmutzten Messspitzen 100, 110 günstig.

Nach dem Herstellen der Prüfstrukturen 600 und 650 können diese mit Hilfe des Elektronenstrahls 535 des SEM 530 abgebildet werden, um zu überprüfen, dass die Geometrie oder die Kontur der Prüfstrukturen 600 und 650 die beabsichtigte Form tatsächlich aufweist.

5

In der Fig. 7 sind schematisch weitere Beispiele von Prüfstrukturen 710, 730, 750 und 770 repräsentiert. Die obere Reihe der Fig. 7 zeigt Schnitte durch die Prüfstrukturen 710, 730, 750 und 770, während die untere Reihe Aufsichten auf die Prüfstrukturen 710, 730, 750 und 770 wiedergibt. Die Prüfstruktur 710 weist zwei Strukturelemente 715 und 720 auf, deren Spitzenbereich die gleiche Kontur hat, die sich jedoch in der Länge ihres Schaftes unterscheiden. Wie nachfolgend erläutert wird, ist die Prüfstruktur 710 geeignet, um einen Lateralversatz bei der Bestimmung einer Position der Messspitze 100, 110, der durch eine schräge Bewegung der Messspitze 100, 110 verursacht wird, zu detektieren.

15

Die Prüfstruktur 730 weist einen Schaft 735 mit zwei hinter- oder unterschrittenen Strukturelementen 740 und 745 auf, wobei das Strukturelement 745, das an der Spitze der Prüfstruktur 730 angeordnet ist, einen größeren Durchmesser aufweist als das darunterliegende Strukturelement 740. Anhand der Prüfstruktur 730 lässt sich deutlich erkennen, ob eine Abweichung der Bewegung der Messspitze 100, 110 bezüglich der Probennormalen einen Grenzwert überschreitet. Insgesamt sind die Prüfstrukturen 710 und 730 dazu ausgelegt, die Bewegungsrichtung einer schwingenden Messspitze 100, 110 oder einer Messspitze, die in dem Step-in Betriebsmodus betrieben wird, zu detektieren.

25

Hinterschnittene Strukturelemente 740, 745 lassen sich durch eine geeignete Führung des Elektronenstrahls 535 herstellen. Wird während des Herstellens der Prüfstruktur 730 die vom Elektronenstrahl bestrahlte Fläche vergrößert, bilden sich hinterschnittene oder unterschrittene Strukturelemente 740, 745. Die vom Elektronenstrahl 535 beleuchtete Fläche kann vergrößert werden, indem der Fleckdurchmesser des Elektronenstrahls 535 auf der Prüfstruktur 730 vergrößert wird oder indem ein gleichbleibender Fleckdurchmesser des Fokus in lateraler Richtung bewegt wird.

30

Die Prüfstruktur 750 der Fig. 7 wurde in Form eines Kegels mit einem Knick 760 entlang der Seitenfläche 755 abgeschieden. Darüber hinaus weist die Prüfstruktur 750 eine Spitze mit einem definierten Krümmungsradius auf.

5 Schließlich umfasst die beispielhafte Prüfstruktur 770 der Fig. 7 fünf im Wesentlichen identische, nadelförmige Strukturelemente 780. Die Länge der Strukturelemente 780 ist typischerweise geringer als die Länge der Messspitze 100, 110. Mit Hilfe der Krümmungsradien der nadelförmigen Strukturelemente 780 der Prüfstruktur 770 kann der Krümmungsradius der Messspitze 100, 110 bestimmt werden. Zudem kann anhand der
10 Prüfstruktur 770 festgestellt werden, ob die Messspitze 100, 110 den Boden zwischen zwei der Strukturelemente 780 erreicht. Falls dies der Fall ist, ist der Durchmesser der Messspitze 100, 110 kleiner als der Abstand benachbarter Strukturelemente 780 der Prüfstruktur 770. In einer alternativen Ausführungsform kann der Abstand und die Länge der Strukturelemente 780 der Prüfstruktur 770 variiert werden, um die
15 Prüfstruktur 770 für die Analyse verschiedener Formen der Messspitzen 100, 110 auszuliegen.

Idealerweise sollten die Prüfstrukturen 600, 650, 710, 730, 750 und 770 perfekte Konturen aufweisen. Dies bedeutet, die Schäfte 610 der Strukturelemente 560, 570, 715, 720, 780 der Prüfstrukturen 600, 650, 710, 730, 750, 770 sollten senkrecht sein und die
20 Öffnungswinkel der Strukturelemente sowie deren Krümmungsradien sollten klein gegenüber den Abmessungen der entsprechenden Elemente der Messspitze 100, 110 sein. Die Herstellung von Strukturelementen 560, 570, 715, 720, 740, 745, 780 für Prüfstrukturen 650, 710, 730, 770 unterliegen jedoch physikalischen Beschränkungen.

25 Eine Möglichkeit diese Beschränkungen zu umgehen, liegt in dem Abscheiden einer Prüfstruktur 600 deren Kontur der Form oder Geometrie der benutzten Messspitze 100, 110 möglichst nahekommt. Dies ist im Teilbild A der Fig. 6 dargestellt. Eine zweite Möglichkeit die Herstellungsbeschränkungen zu umgehen, nutzt den Herstellungszeitpunkt und die Herstellungsart für die Prüfstruktur aus. Beim Abscheiden der
30 Prüfstruktur 600, 650, 710, 730, 750, 770 beispielsweise an der Position 470 und/oder 480 ist die ursprüngliche Form oder Geometrie der von dem SPM 720 benutzten Messspitze 100, 110 bekannt. Zudem ermöglicht das Deponieren der Prüfstruktur 600, 650, 710, 730, 750, 770 vor Ort das Anpassen der Prüfstruktur an die Form oder Geometrie

der zu untersuchenden Messspitze 100, 110. Damit kann neben der Form der Strukturelemente 560, 570, 715, 720, 735, 740, 745, 780 insbesondere deren Anordnung auf der Prüfstruktur so ausgelegt werden, dass deren Anordnung bestmöglich zum Untersuchen der Messspitze 100, 110 ausgenutzt werden kann.

5

Die Fig. 8 zeigt schematisch Schnitte durch zwei Beispiele von Prüfstrukturen 810 und 850, die in eine Probe 510 geätzt wurden. Die Probe 510 kann beispielsweise die Photomaske 400 umfassen. Dies bedeutet, die Prüfstrukturen 810 und 850 können in den Rand 410 der Photomaske 400 etwa an der Position 470 geätzt werden. Es ist auch
10 möglich, die Prüfstrukturen 810 und 850 in ein Pattern-Element 450 einer Photomaske 450 etwa an der Position 480 zu ätzen. Der zuletzt genannte Fall setzt allerdings voraus, dass die Pattern-Elemente 450 eine Dicke aufweisen, die groß genug ist, dass die nach der Ätzung noch verbleibende restliche Dicke des Pattern-Elements 450 dessen Funktion im Wesentlichen nicht beeinträchtigt.

15

In die Prüfstruktur 810 des oberen Teilbildes A der Fig. 8 sind fünf Vertiefungen 815, 820, 825, 830, 835 in die Probe 510 geätzt. Die Vertiefungen 815, 820, 825, 830, 835 weisen einen unterschiedlichen Durchmesser und eine im Wesentlichen identische Tiefe auf. Die Vertiefungen 815, 820, 825, 830, 835 weisen vorzugsweise ein rechteckige, quadratische oder runde Form in der Ebene parallel zur Probenoberfläche 512 auf.
20 Die Prüfstruktur 810 stellt das Gegenstück zur Prüfstruktur 770 dar mit dem Unterschied, dass die Vertiefungen der Prüfstruktur 810 verschiedene Durchmesser aufweisen. Es ist auch möglich, eine Prüfstruktur in eine Probe zu ätzen, deren Tiefe, deren Durchmesser und/oder deren Formen unterschiedlich sind, solange die Abmessungen bekannt sind. Ferner können zwei oder mehr im Wesentlichen identische Prüfstrukturen 810 nacheinander in eine Probe geätzt werden, um bei Bedarf stets eine nicht abgenutzte und/oder nicht verschmutzte Prüfstruktur 810 zur Verfügung zu haben.

25

Die Prüfstruktur 850 des unteren Teilbildes B weist eine Vertiefung 855 auf, deren Seitenwände 870 und 880 keinen rechten Winkel zur Probenoberfläche 512 bilden. Die scharfen Kanten 860 der Prüfstruktur 850 können alleine oder in Kombination mit den unteren Seitenwänden 880 zum Bestimmen der Kontur und/oder des Krümmungsradius der Messspitze 100, 110 eingesetzt werden.
30

Die Prüfstrukturen 810 und 850 können mit Hilfe des Elektronenstrahls 535 des SEM 530 der Vorrichtung 500 und einem der in dem Vorratsbehälter 555 gespeicherten Ätzgase, d.h. mittels eines EBIE-Prozesses erzeugt werden. Hierfür geeignete Ätzgase sind oben aufgelistet.

5

Anhand der Fig. 9 wird das Reparieren einer abgenutzten bzw. einer verschmutzten Messspitze 100, 110 diskutiert. Das Teilbild A präsentiert eine Messspitze 100, die neu ist oder deren Spitze 120 im Wesentlichen keine Abnutzungsspuren als Folge einer Wechselwirkung mit einer Probe 400, 510 aufweist. Bei der gebrauchten Messspitze 910 des Teilbildes B weist deren Spitze 920 deutliche Gebrauchsspuren auf, die in einer sichtbaren Abnutzung verglichen mit der ursprünglichen Spitze 120 resultieren. Das Teilbild C zeigt ebenfalls eine gebrauchte Messspitze 930. Die Spitze 940 der Messspitze 930 wurde durch die Wechselwirkung mit einer Probe 400, 510 nur leicht abgerundet und damit wenig abgenutzt. Aber an der Spitze 940 der Messspitze 930 hat sich ein Partikel 950 abgesetzt. Der Partikel 950 ändert die Messdaten der Messspitze 930 von einer Probenoberfläche 512 bezogen auf die neue bzw. im Wesentlichen nicht abgenutzte Messspitze 100 des Teilbildes A. Es ist zudem möglich, dass die Spitze einer benutzten Messspitze 910, 930 sowohl eine abgenutzte Spitze 920 aufweist als auch verschmutzt ist (in der Fig. 9 nicht dargestellt).

20

Mit dem Elektronenstrahl 535 des SEM 530 und einem Ätzgas, das in dem Vorratsbehälter 555 gespeichert ist, können die Beschädigungen der Messspitzen 910 und 930 der Teilbilder B und C durch einen lokalen Elektronenstrahl-induzierten Ätzprozess repariert werden. Das Teilbild B stellt die reparierte Messspitze 960 dar. Die Kontur der Spitze 970 der reparierten Messspitze 960 weist im Wesentlichen die Kontur der Spitze 120 der neuen, d.h. nicht gebrauchten Messspitze 100 auf. Die reparierte Messspitze 960 liefert somit im Wesentlichen die gleichen Messdaten wie die neue Messspitze 100. Der einzige Unterschied der beiden Messspitzen 100 und 960 ist die geringfügig geringere Länge der reparierten Messspitze 860. Es ist ein wichtiger Vorteil des diskutierten Reparaturprozesses der Messspitze 100, 110, dass - wie im Kontext der Fig. 3 ausgeführt - die Prüfstruktur 600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850 benutzt werden kann, um ohne großen Aufwand zu überprüfen, dass der Reparaturprozess tatsächlich das beabsichtigte Ergebnis ergeben hat.

30

Im Folgenden werden weitere Problemstellungen erläutert, die durch Abscheiden einer entsprechenden Prüfstruktur 710, 730, 810, 850 vor Ort auf eine Probe 400, 510 oder den Proben Tisch 505 gelöst werden können. Im Teilbild A und B der Fig. 10 ist ein Ausschnitt aus der photolithographischen Maske 400 dargestellt. Die Photomaske 400 umfasst ein Substrat 440 und absorbierende Pattern-Elemente 450. Die Breite der Pattern-Elemente 450 ist durch den Doppelpfeil 1020 und deren Höhe durch den Doppelpfeil 1010 gekennzeichnet. Typische Werte für beide Größen liegen in zweistelligen bis in den dreistelligen Nanometerbereich.

Im Teilbild A tastet eine ideale nadelförmige Messspitze 1040, die sich senkrecht zur Probenoberfläche 512 bewegt, die Maske 400 ab. Die Bewegungsrichtung der idealen, beliebig dünnen Messspitze 1040 ist durch den Doppelpfeil 1050 symbolisiert. Die Linie 1030 gibt die Kontur an, die die Messspitze 1040 von der Maske 400 bzw. von deren Oberfläche erzeugt.

Das Teilbild B der Fig. 10 präsentiert die Kontur der Maske 400, wenn diese durch reale Messspitzen 1070 oder 1080 abgetastet wird. Dabei bewegen sich die Messspitzen 1070 und 1080 - ähnlich wie die ideale Messspitze 1040 des Teilbildes A in z-Richtung, d.h. parallel zur Normalen der Maske 400. Die Messspitze 1070, die asymmetrisch bezüglich der Längsachse der Messspitze 1070 ist, generiert eine asymmetrische Kontur 1060 der Maske 400. Zusätzlich entstehen durch die endliche Ausdehnung der Messspitzen 1070 und 1080 Bereiche der Probenoberfläche 512 oder der Oberfläche der Maske 400, die von den Messspitzen 1070 und 1080 nicht erreicht werden können. Im Teilbild B der Fig. 10 sind dies die Bereiche 1090 und 1095. Aus den Bereichen 1090 und 1095 können die Messspitzen 1070 und 1080 keine Information über die Kontur der Probe 400, 510 erhalten. Die Steuereinrichtung 580 oder das Computersystem 585 der Vorrichtung können aus den Bereichen 1090 und 1095 eine Karte erzeugen, die die Teile der Probe 400, 510 kennzeichnen, in denen die Messspitze 100, 110 des SPM 520 nicht in Wechselwirkung mit der Probe 400, 510 treten kann.

Die Fig. 11 veranschaulicht, das Abtasten der Photomaske 400 mit der idealen Messspitze 1040 des Teilbildes A der Fig. 10. Im Gegensatz zum Teilbild A der Fig. 10 führt die Messspitze 1040 jedoch keine Bewegung in z-Richtung aus. Die schräge Bewegung 1150 der Messspitze 1040 weicht vielmehr um den Winkel φ von der Senkrechten oder

Normalenrichtung ab. In dem in der Fig. 11 dargestellten Beispiel entsteht die laterale Bewegung der idealen Messspitze 1040 durch eine Krümmung des Cantilevers 140 zur Probenoberfläche 512 hin. Die Spitze 120 der Messspitze 1040 führt eine komplexe Bewegung aus. Die beiden Bezugszeichen 1160 und 1170 geben die Stellung der Messspitze 1040 an den beiden Umkehrpunkten der Schwingung des Cantilevers 140 an. Durch die Krümmung des Cantilevers 140 bzw. durch die Bewegungsrichtung 1150 der Messspitze 1040 ergibt sich eine von der Höhe des Pattern-Elements 450 abhängige Abweichung der gemessenen Kontur, die in der Fig. 11 durch die Kurve 1110 repräsentiert ist, von der tatsächlichen Kontur des Pattern-Elements: $\delta = h \cdot \tan \varphi \approx h \cdot \varphi$.

In der Fig. 12 tastet die ideale Messspitze 1040 in einer senkrechten Bewegung 1050 die Photomaske 400 bzw. einen Ausschnitt hiervon ab. Anders als im Teilbild A der Fig. 10 weist die Messspitze 1040 jedoch einen von Null verschiedenen Winkel zur Probennormalen auf. Die Kurve 1230 präsentiert die Bereiche, in denen die Spitze 120 der idealen Messspitze 1040 die Oberfläche der Maske 400 erreicht und in welchen Bereichen dies nicht der Fall ist. Die Kurve 1210 gibt die Kontur der Maske 400 an, die die schräg gestellte Messspitze 1040 durch Ausführen einer Bewegung in z-Richtung von der Probe 510 bzw. der Maske 400 erzeugt.

Aus dem Vergleich der Kurven 1110 und 1210 der in den Figuren 11 und 12 dargestellten beispielhaften Bewegungsformen der Spitze 120 der Messspitze 1040 ist zu entnehmen, dass zwei unterschiedliche Bewegungen 1150 und 1050 einer idealen Messspitze 1040 zu einer im Wesentlichen identischen Kontur der Maske 400 führen können. Dies ist sehr nachteilig, wird doch durch diese Zweideutigkeit die Interpretation der mittels eines Rastersondenmikroskops 520 erzeugten Messdaten deutlich erschwert. In der Realität wird diese Situation noch dadurch verkompliziert, dass den Konturen 1110 und 1210 noch die im Teilbild B der Fig. 10 diskutierten Effekte der realen Messspitze 1070 bzw. 1080 überlagert sind.

Die Fig. 13 veranschaulicht wie mit Hilfe der Prüfstruktur 730 der Fig. 7 entschieden werden kann, welche Bewegungsform die Messspitze 1040 beim Aufnehmen der Messdaten in den Figuren 11 und 12 ausgeführt hat. Das Teilbild A der Fig. 13 zeigt das Abtasten der doppelt unterschrittenen Prüfstruktur 730 mit einer Messspitze 100, deren zugehöriger Cantilever 140 eine Schwingung in z-Richtung 950 ausführt. Auf der rech-

ten Seite ist die gemessene Kontur 1310 angegeben, die das Abtasten der Prüfstruktur 730 mit dieser Bewegungsform der Messspitze ergibt. Die Symmetrie der Prüfstruktur 730 und des Abtastvorgangs spiegelt sich in der Symmetrie der Kontur 1310 wieder.

5 Das Teilbild B der Fig. 13 präsentiert links das Rastern der Messspitze 100 über die Prüfstruktur 730, wobei die Messspitze 100 eine Schwingung in der z-Richtung ausführt und gleichzeitig einen von Null verschiedenen Winkel bezüglich der Bewegungsrichtung 1050, d.h. der z-Richtung aufweist. Eine erste Möglichkeit eine solche Bewegung der Messspitze 100 auszuführen, erfordert das Kippen des AFM-Messkopfes 523.
10 Für eine zweite Möglichkeit ist der Cantilever 140 der Sonde 150 oder der Sonden-Anordnung 190 als Bimetall ausgeführt. Durch eine asymmetrische photothermische Aktuation des Cantilevers 140 bezüglich seiner Längsachse verwindet sich der Cantilever 140 wodurch die Orientierung der Messspitze 100 bezüglich der Probennormalen geändert wird. Eine photothermische Aktuation des Cantilevers 140 kann durch Be-
15 strahlen mit einem Laserstrahl ausgeführt werden. Die gemessene Kontur 1320 der Prüfstruktur 730, die diese Bewegung der Messspitze 100, 110 erzeugt, ist auf der rechten Seite des Teilbildes B dargestellt. Die Asymmetrie zwischen der Orientierung der Prüfstruktur 730 und der Messspitze 100, 110 enthüllt sich in einer nicht symmetrischen Kontur 1320.

20 Schließlich zeigt das Teilbild C der Fig. 13 einen Rastervorgang der Messspitze 100 über die Prüfstruktur 730, bei dem die Bewegung 1350 der Messspitze 100 parallel zur Orientierung der Messspitze 100 ausgeführt wird und wobei beide um einen Winkel gegenüber der z-Richtung bzw. der Probennormalen geneigt sind. Mit mittels dieses Rastervorgangs generierte Kontur 1330 der Prüfstruktur 730 ist rechts in Teilbild C angegeben. Aufgrund der nicht symmetrischen Bewegung der Messspitze 100 bezüglich der
25 Prüfstruktur 730 entsteht durch den Abtastvorgang eine asymmetrische gemessene Kontur 1330 von der Prüfstruktur 730. Die Bewegung 1350 der Messspitze 100 außerhalb der vertikalen Symmetrielinie der Prüfstruktur 730, d.h. unter einem Winkel zur
30 z-Richtung, ermöglicht jedoch das Detektieren des zweiten unterschritten Strukturelements 740, das sich in dem Knick 1360 in der Kontur 1330 der Prüfstruktur 730 äußert.

Somit ermöglicht das Abtasten der Prüfstruktur 730 mit den in den Teilbildern B und C dargestellten Bewegungsformen zu diskriminieren, welche Bewegung die Messspitze 100, 110 beim Rastern der Konturen 1110 und 1210 der Figuren 11 und 12 aufwies. Die Prüfstruktur 730 erlaubt somit die in den Figuren 11 und 12 zu Tage tretende Zweideu-
5 tigkeit aufzulösen und die Konturen 1110 und 1210 der Probe 510 bzw. der Maske 400 eindeutig mit den ausgeführten Bewegungsformen der Messspitze 100 in Verbindung zu setzen.

Die Fig. 14 und die nachfolgende Tabelle 1 illustrieren eine Thematik, die bei der Über-
10 lagerung von AFM- und SEM-Bildern auftreten kann. Das linke Teilbild A der Fig. 14 zeigt ein AFM-Bild eines Ausschnitts einer Photomaske 400, die ein Substrat 440 und Pattern-Elemente 1410, 1415, 1420 und 1425 aufweist. Auf dem Pattern-Element 1415 ist eine Markierung 1450 abgeschieden. Auf dem Pattern-Element 1420 sind zwei Mar-
15 kierungen 1430 und 1440 deponiert. Die Markierungen 1430, 1440 und 1450 können mit der Vorrichtung 500 der Fig. 5 mit Hilfe eines EBID-Prozesses abgeschieden werden. Die Höhe der deponierten Markierungen 1430, 1440 und 1450 ist unterschiedlich. Die Markierungen 1430 und 1440 weisen eine ähnliche Höhe von 66 nm bzw. 65 nm auf. Die Markierung 1450 des Pattern-Elements 1415 weist eine Höhe von 46 nm auf. Die Höhe der Markierungen 1430, 1440 und 1450 wurde durch Abtasten der Markie-
20 rungen mit der Messspitze 100, 110 eines SPM 520 ermittelt.

Die Markierungen 1430, 1440 und 1450 können als Prüfstruktur 600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850 ausgeführt werden (in der Fig. 14 nicht gezeigt). Gleichzeitig dienen die Markierungen 1430, 1440 und 1450 zum Ausrichten des AFM-Bildes (Teilbild A)
25 mit einem SEM-Bild (Teilbild B) oder allgemein mit einem Rasterteilchenstrahlbild. Die beiden Bilder werden in einem Anwendungsbeispiel überlagert, um die Position eines Defekts 460 in dem SEM-Bild zur Reparatur des Defekts 460 mit Hilfe des SEM 530 der Vorrichtung 500 der Fig. 5 festzulegen. Zusätzlich können die Markierungen 1430, 1440 und 1450 zur Drift-Korrektur des SEM 530 während einer Korrektur des
30 Defekts 460 benutzt werden.

Das Teilbild B präsentiert den Ausschnitt der Maske 400 des Teilbildes A, der mit dem Elektronenstrahl 535 des SEM abgebildet wurde. Mit den Doppelpfeilen 1, 2 und 3 sind in den Teilbildern A und B Messungen bezeichnet, die im Teilbild A mit der Messspitze

100, 110 der Sonde 150 bzw. der Sonden-Anordnung 190 des SPM 520 und im Teilbild B mit dem Elektronenstrahl 535 des SEM 530 ausgeführt wurden. Die Messdaten sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

5 Tabelle 1:

Nr. der Messung	Abstand AFM [nm]	Höhe der Markierung [nm]	Abstand SEM [nm]	Anmerkung
1	216		216	Gleichgesetzt (Referenz)
2	265	66 (1330) 65 (1340)	266	gute Übereinstimmung
3	239	65 (1340) 46 (1350)	229	schlechte Übereinstimmung

Die erste Messung dient zum Bestimmen einer Referenz bzw. einer Referenzdistanz zwischen dem AFM- und dem SEM-Bild. Hierfür wird der Abstand zweier Pattern-Elemente sowohl mit dem SPM 520 als auch dem SEM 530 ermittelt. In dem in der Fig. 14 dargestellten Beispiel ist dies der Abstand zwischen den Pattern-Elementen 1415 und 1420.

In der zweiten Messung wird der Abstand zwischen den Markierungen 1430 und 1440 sowohl durch Abtasten der Markierungen 1430 und 1440 mit der Messspitze 100, 110 als auch durch Rastern des Elektronenstrahls 535 des SEM 530 über die Markierungen 1430 und 1440 gemessen. Die für den Abstand der beiden Markierungen 1430 und 1440 gemessenen Werte differieren um weniger als 0,5%.

Die dritte Messung wird ausgeführt, um den Abstand zwischen den Markierungen 1440 und 1450 mit dem SPM 520 und dem SEM 530 der Vorrichtung 500 zu bestimmen. Wie aus der letzten Zeile der Tabelle 1 zu entnehmen ist, liegt der Unterschied in den Messergebnissen des Abstands der Markierungen 1440 und 1450 der beiden Metrologie-Geräte zwischen 4% und 5% und ist damit deutlich größer wie für die zweite Messung.

25

Die Fig. 15 enthüllt die Ursache für den großen Unterschied in den Messergebnissen zwischen der zweiten und der dritten Messung in der Tabelle 1. Die Fig. 15 zeigt erneut

die Maske 400, auf der an der Position 470 und/oder 480 die Prüfstruktur 710 der Fig. 7 abgeschieden ist. Die Prüfstruktur 710 weist zwei Strukturelemente 715 und 720 auf, deren Höhe verschieden ist. Durch den Doppelpfeil 1510 ist in der Fig. 15 der Abstand der beiden Strukturelemente 715 und 720 der Prüfstruktur 710 angegeben. Der Abstand 1510 wird beim Abtasten der Prüfstruktur 710 beispielsweise mit dem Elektronenstrahl 535 gemessen.

Der Abstand 1510 würde auch durch Rastern des SPM 520 über die Prüfstruktur 710 gemessen, wenn deren Strukturelemente 715 und 720 die gleiche Höhe aufweisen würden und zwar unabhängig von der Bewegungsrichtung der Messspitze 100, 110 des SPM 520 (vgl. die Messung mit der Nr. 2 in der Tabelle 1). Ferner würde das SPM 520 im Wesentlichen den Abstand 1510 zwischen den Strukturelementen 715 und 720 der Prüfstruktur 710 messen, wenn die Bewegung der Messspitze 100, 110 beim Abtasten der Prüfstruktur 710 parallel zur Probennormalen, d.h. in z-Richtung ausgeführt wird.

Die Kurve 1550 der Fig. 15 zeigt die Kontur der Prüfstruktur 710, die sich ergibt, wenn die Messspitze 100 beim Rastern der Prüfstruktur 710 eine Schwingung 1560 ausführt, deren Richtung einen von Null verschiedenen Winkel zur Probennormalen aufweist. Aus der Kontur 1550 wird der Abstand 1520 der Strukturelemente 715 und 720 der Prüfstruktur 710 ermittelt. Der von dem SPM 520 gemessene Abstand 1520 ist größer als der tatsächliche Abstand 1510 und ist mit einem systematischen Fehler behaftet. Eine nicht senkrechte Bewegung der Messspitze 100 führt in Kombination mit der unterschiedlichen Höhe der Strukturelemente 715 und 720 der Prüfstruktur 710 zu einem höhenabhängigen Lateralversatz der Messung eines SPM 720. Dieser höhenabhängige Lateralversatz erklärt die große Differenz der Messungen in der letzten Reihe der Tabelle 1.

Durch Abscheiden einer geeigneten Prüfstruktur, beispielsweise der Prüfstruktur 710, die zwei Strukturelemente 715 und 720 mit unterschiedlicher Länge oder Höhe aufweist, kann die Auswirkung der Bewegung der Messspitze 100, 110 auf die von einem SPM 520 generierten Messdaten analysiert werden, d.h. der systematische Fehler eines höhenabhängigen Lateralversatzes berechnet werden und die Messung kann entsprechend korrigiert werden.

Ähnlich wie das oben erläuterte Beispiel zeigt das im Kontext der Figuren 14 und 15 beschriebene weitere Anwendungsbeispiel, dass Prüfstrukturen 600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850 neben dem Untersuchen der Messspitze 100, 110 bezüglich Abnutzung und/oder Verschmutzung auch zur detaillierten Analyse der von der Messspitze 100, 110 während eines Abtastvorgangs einer Probe 400, 510 ausgeführten Bewegung eingesetzt werden können.

Ansprüche

- 5 1. Verfahren zum Untersuchen einer Messspitze (100, 110) eines Rastersondenmikroskops (520), wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:
 - 10 a. Erzeugen zumindest einer Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850) vor oder nach einem Analysieren einer Probe (400, 510) durch die Messspitze (100, 110), wobei das Erzeugen der zumindest einen Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850) auf der Probe (400, 510) und/oder einem Probenstück (505) ausgeführt wird, und wobei das Erzeugen der zumindest einen Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850) ein Teilchenstrahl-induziertes Abscheiden der Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770) und/oder ein Teilchenstrahl-induziertes Ätzen der zumindest einen Prüfstruktur (810, 850) umfasst; und
 - 15 b. Untersuchen der Messspitze (100, 110) mit Hilfe der zumindest einen auf der Probe (400, 510) und/oder dem Probenstück (505) mit Hilfe des Teilchenstrahls abgeschiedenen und/oder geätzten Prüfstruktur (600, 650, 20 710, 730, 750, 770, 810, 850).
2. Verfahren nach dem der vorhergehenden Anspruch, wobei eine Kontur der zumindest einen Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850) an eine Kontur der Probe (400, 510) angepasst ist.
- 25 3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Kontur der zumindest einen Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850) an die Form der Messspitze (100, 110) angepasst ist.
- 30 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Kontur der zumindest einen Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850) ausgebildet

ist zum Detektieren einer von einer Probennormalen abweichenden Bewegungsrichtung der Messspitze (100, 110).

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Prüfstruktur (730, 850) zumindest ein Strukturelement (740, 745, 870) mit einem Unterschnitt umfasst.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Erzeugen der zumindest einen Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850) an einer Stelle (470, 480) der Probe (400, 510) oder des Probenstückes (505) erfolgt, an der die zumindest eine Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850) eine Funktion der Probe (400) oder des Probenstückes (505) im Wesentlichen nicht beeinträchtigt.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Erzeugen der zumindest einen Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850) umfasst: Bereitstellen eines fokussierten Teilchenstrahls (535) und zumindest eines Präkursor-Gases an der Stelle (470, 480), an der die zumindest eine Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850) erzeugt wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Erzeugen der zumindest einen Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850) beim Herstellen der Probe (400, 510) auf der Probe (400, 510) erfolgt.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Schritte a. und b. im Vakuum ohne Brechen des Vakuums ausgeführt werden.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Untersuchen der Messspitze (100, 110) umfasst: Scannen der Messspitze (100, 110) über die zumindest eine abgeschiedene und/oder geätzte Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850).
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Untersuchen der Messspitze (100, 110) umfasst: Abbilden der zumindest einen abgeschiedenen

und/oder geätzten Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850) mit einem fokussierten Teilchenstrahl (535).

- 5 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner den Schritt aufweisend: Scannen der Probe (400, 510) mit einem Teilchenstrahl (535) zum Auffinden eines Defekts (460) der Probe (400, 510).
- 10 13. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, ferner den Schritt aufweisend: Erzeugen zumindest einer Markierung (1430, 1440, 1450) auf der Probe (400, 510) zum Auffinden des Defekts (460) durch die Messspitze (100, 110) des Rastersondenmikroskops (520).
- 15 14. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die zumindest eine Markierung (1430, 1440, 1450) die zumindest eine Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850) umfasst.
- 20 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Probe (400, 510) eine photolithographische Maske (400) oder einen Wafer umfasst.
- 25 16. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die zumindest eine Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850) auf einem Rand (410) der photolithographischen Maske (400) erzeugt wird, auf den im Wesentlichen keine Strahlung einer aktinischen Wellenlänge auftrifft.
- 30 17. Verfahren nach Anspruch 14, wobei die zumindest eine Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850) auf einem Pattern-Element (450, 1410, 1415, 1420, 1425) der photolithographischen Maske (400) erzeugt wird.
18. Vorrichtung (500) zum Untersuchen einer Messspitze (100, 110) eines Rastersondenmikroskops (520), aufweisend:
- a. eine Erzeugungseinheit (584), die ausgebildet ist zum Teilchenstrahl-induzierten Abscheiden und/oder Ätzen einer Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850) auf bzw. in eine Probe (400, 510) und/oder auf bzw. in

einen Probestisch (505) vor oder nach einer Analyse der Probe (400, 510) durch die Messspitze (100, 110); und

- 5 b. eine Untersuchungseinheit (582), die ausgebildet ist zum Untersuchen der Messspitze (100, 110) mit Hilfe der zumindest einen auf der Probe (410, 510) und/oder dem Probestisch (505) mit Hilfe eines Teilchenstrahls abgetrennten und/oder geätzten Prüfstruktur (600, 650, 710, 730, 750, 770, 810, 850).
- 10 19. Vorrichtung (500) nach Anspruch 18, ferner aufweisend eine Verschiebungseinheit (507), die ausgebildet ist, einen Abstand zwischen einem Auftreffpunkt (545) eines Teilchenstrahls (535) der Erzeugungseinheit (584) auf der Probe (400, 510) und/oder dem Probestisch (505) und einem Wechselwirkungsort zwischen der Probe (400, 510) und/oder dem Probestisch (505) und der Messspitze (100, 110) zu überbrücken.
- 15
20. Vorrichtung (500) nach Anspruch 18 oder 19, die ausgebildet ist, die Verfahrensschritte einer der Ansprüche 1 bis 17 auszuführen.
- 20 21. Computerprogramm, das Anweisungen umfasst, die, wenn sie von einem Computersystem (585) der Vorrichtung (500) ausgeführt werden, eine Steuerungseinrichtung (580) der Vorrichtung (500) veranlassen, die Verfahrensschritte nach einem der Ansprüche 1 bis 17 auszuführen.

Figuren

Fig. 1

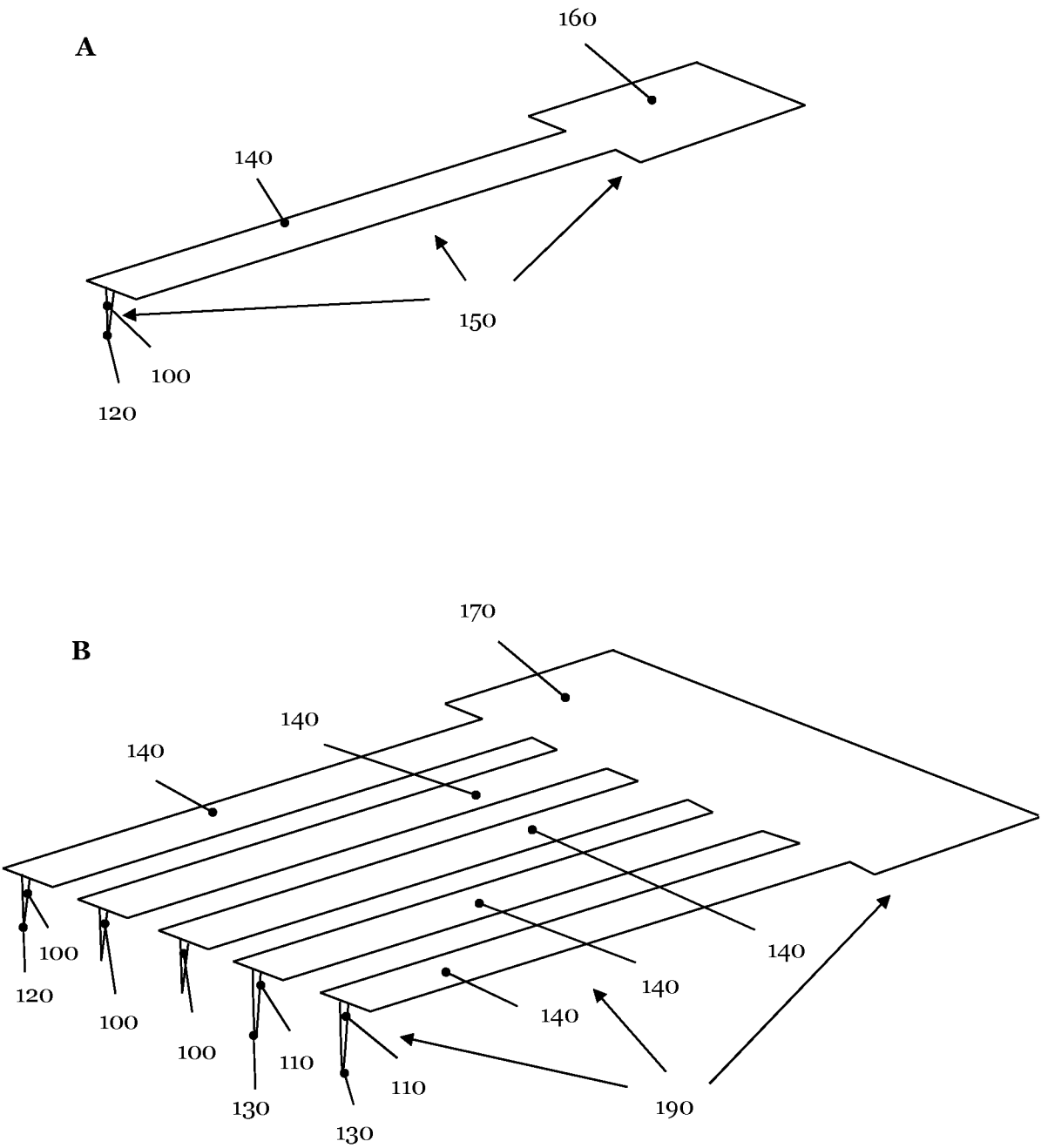


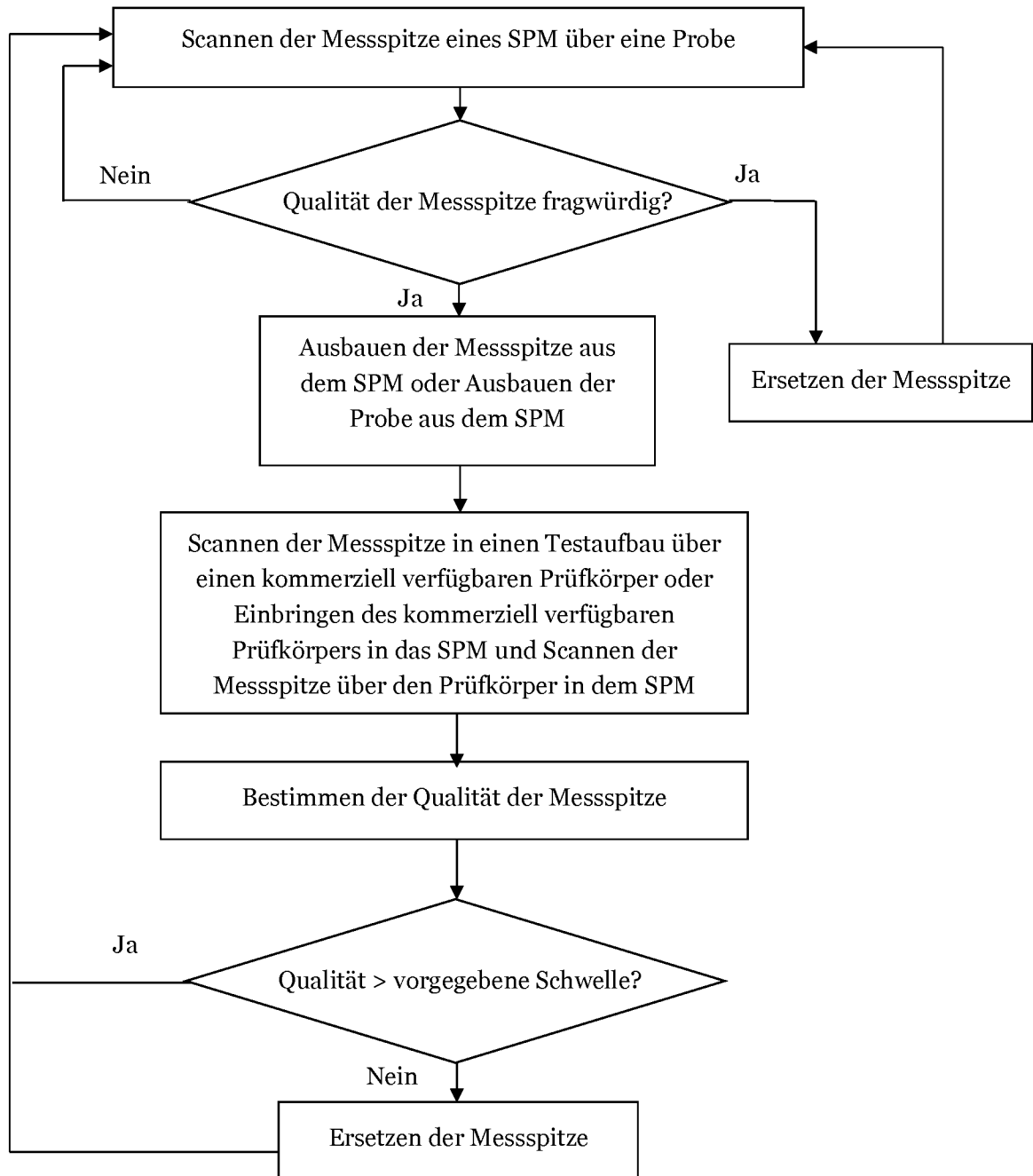
Fig. 2 (Stand der Technik)

Fig. 3

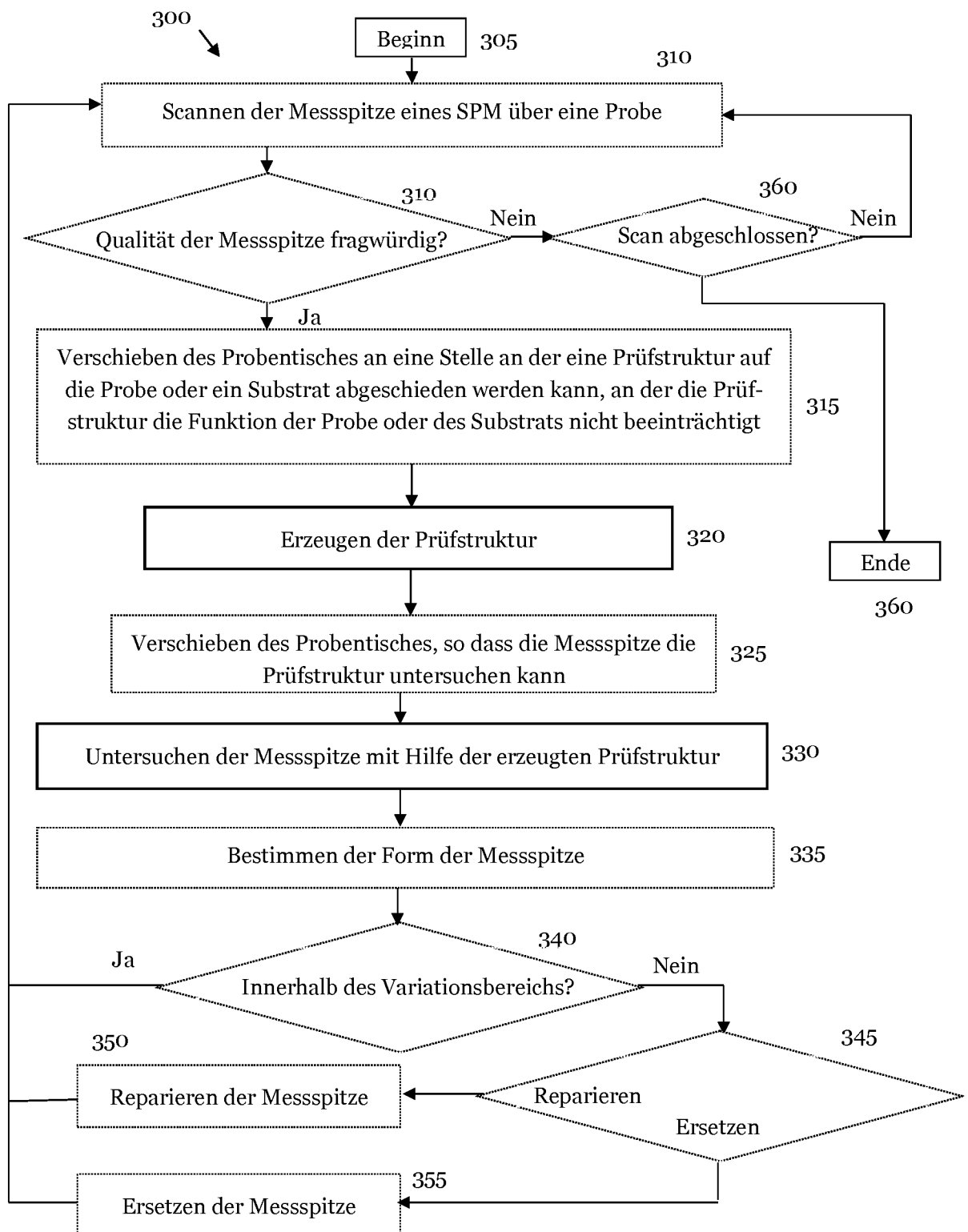


Fig. 4

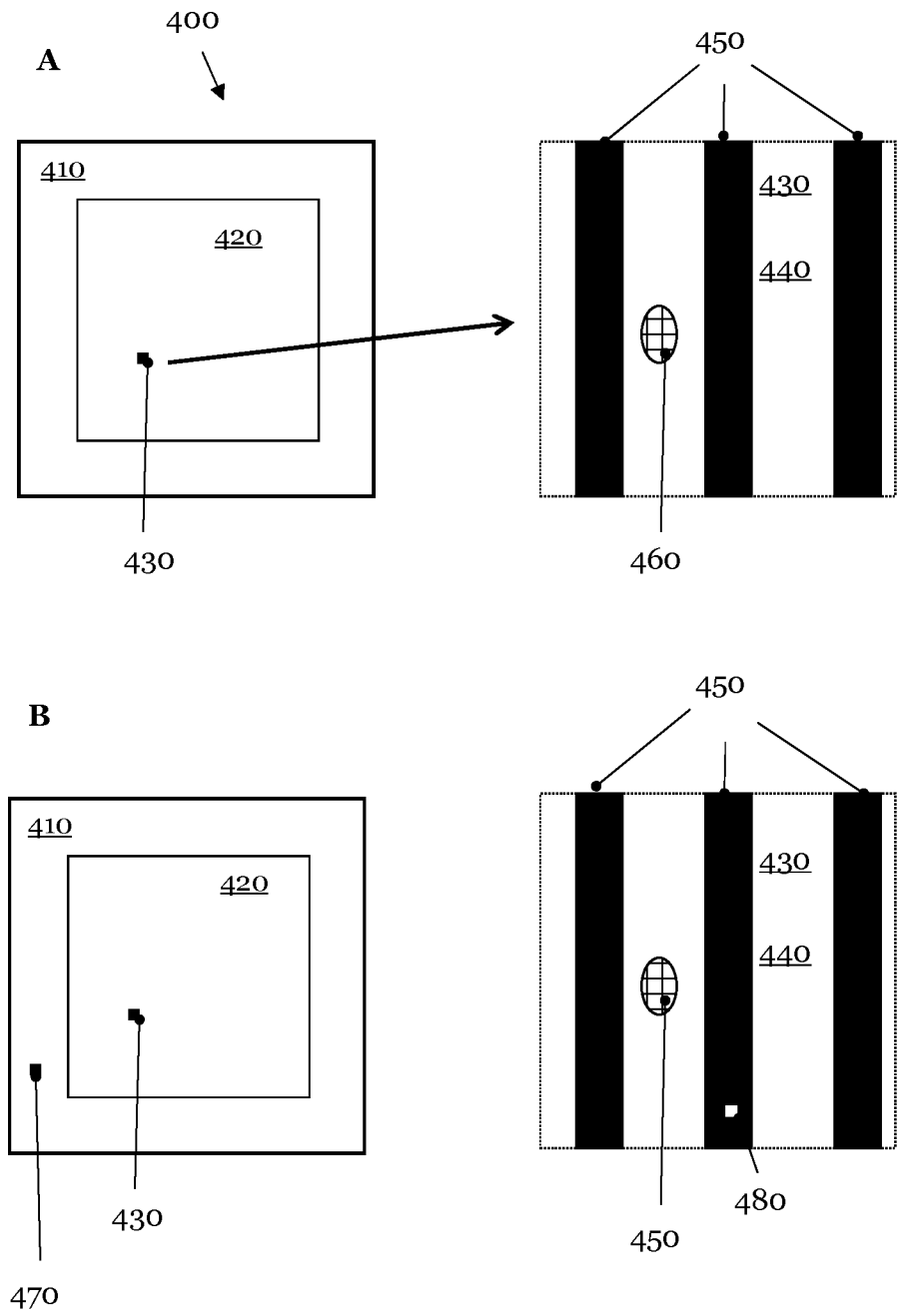


Fig. 5

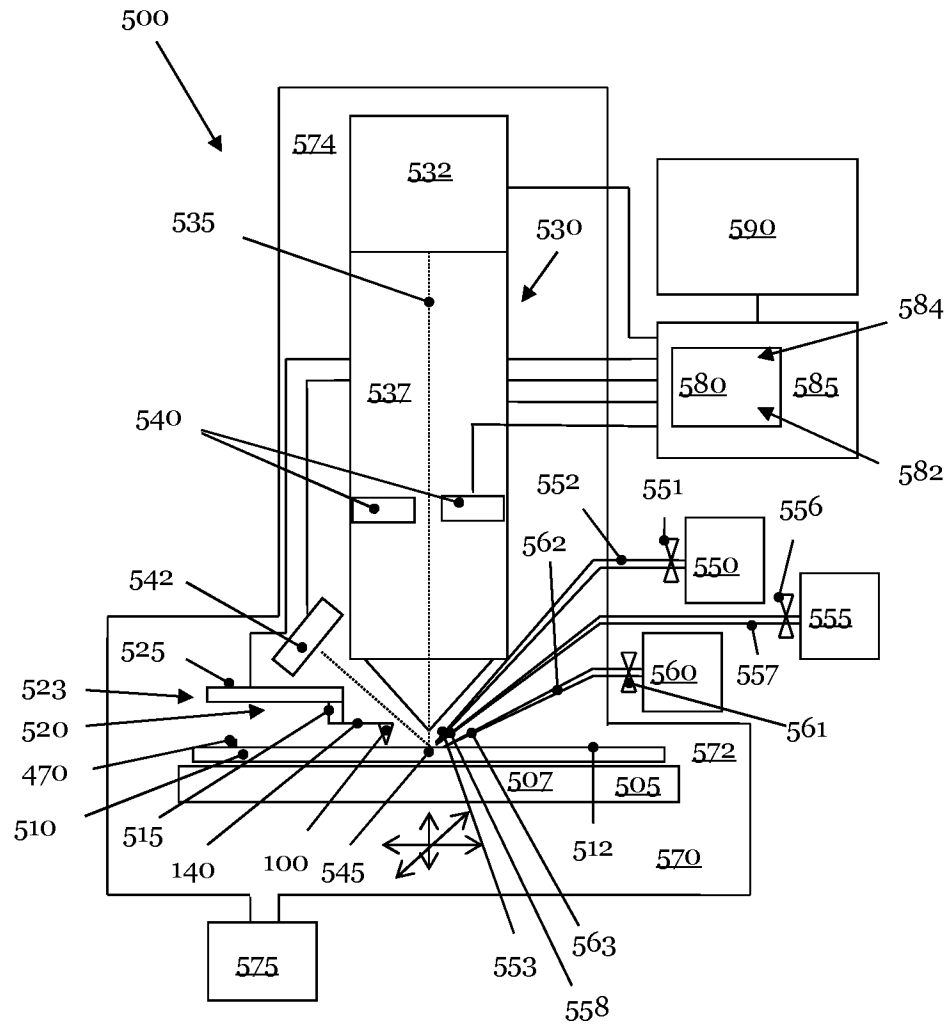


Fig. 6

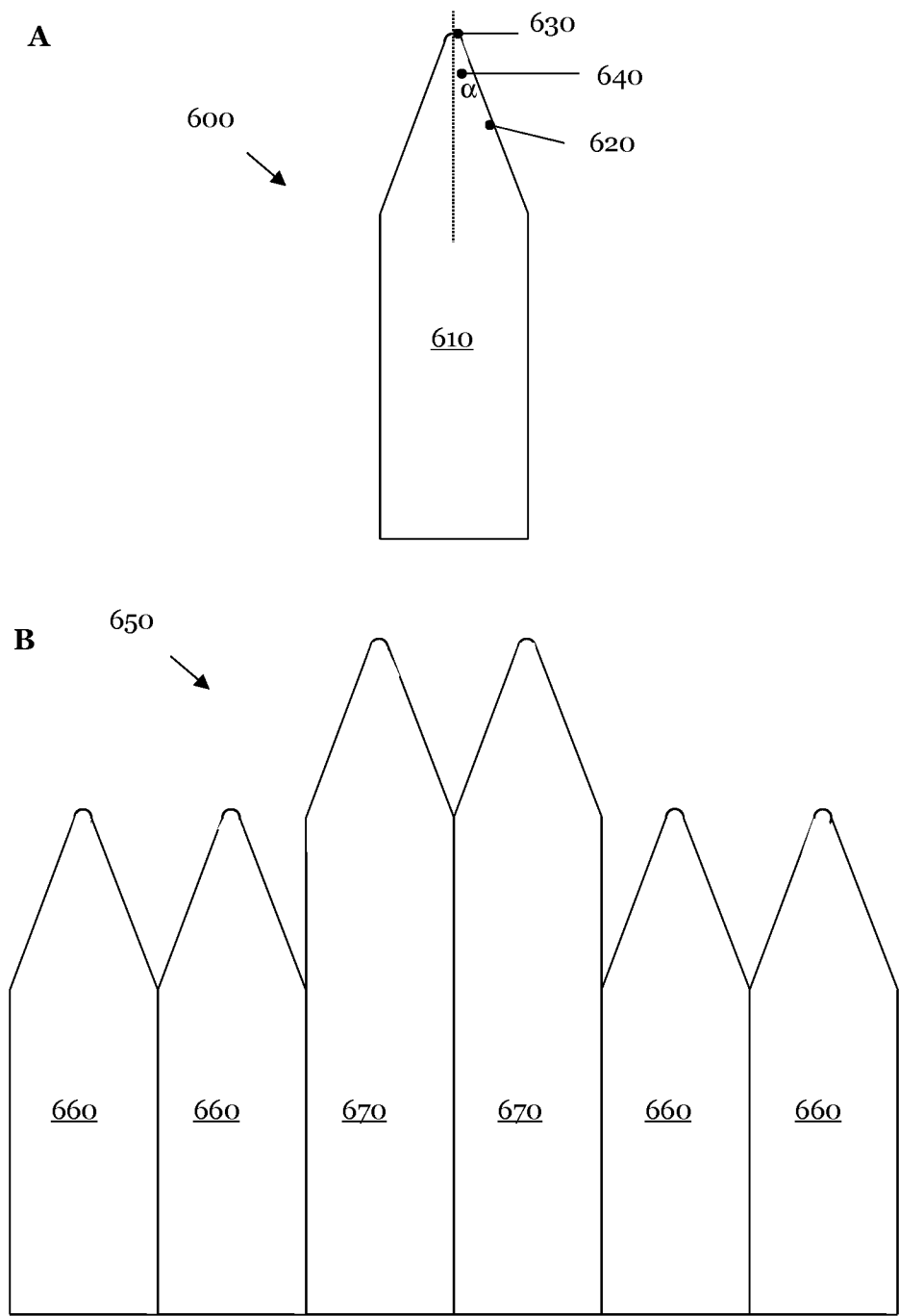


Fig. 7

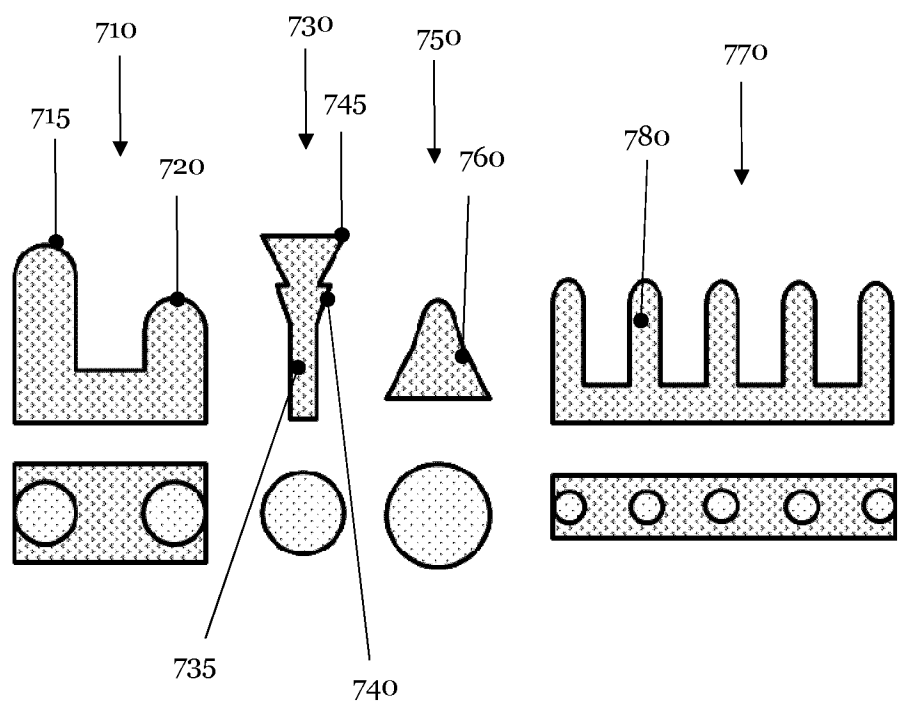


Fig. 8

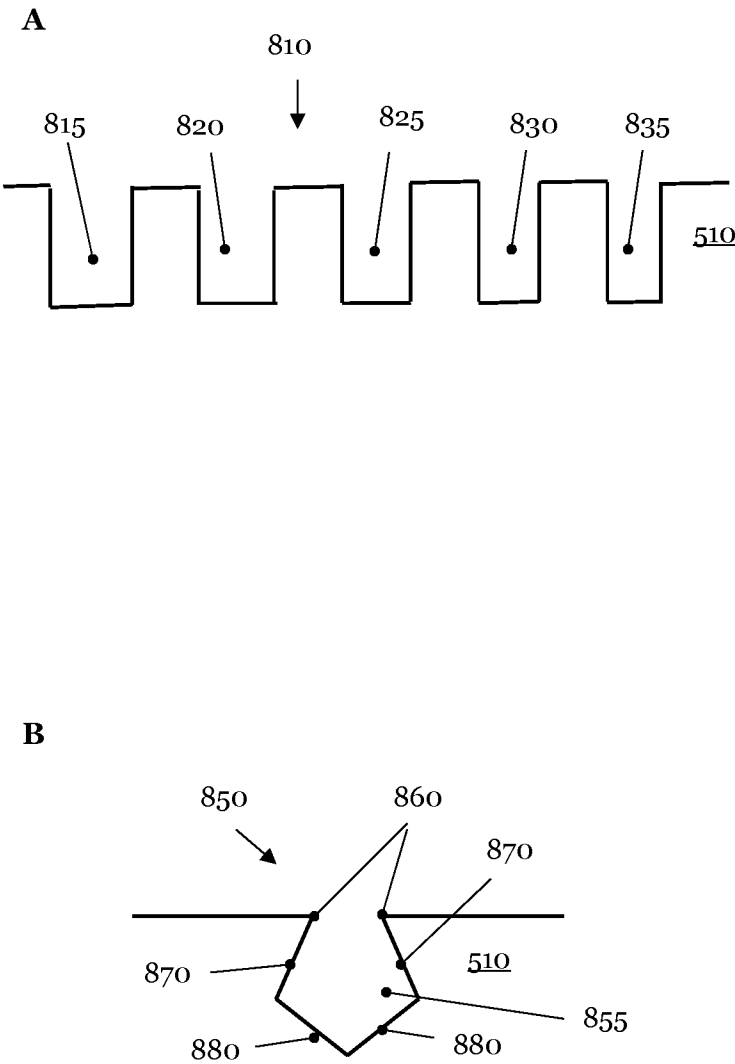


Fig. 9

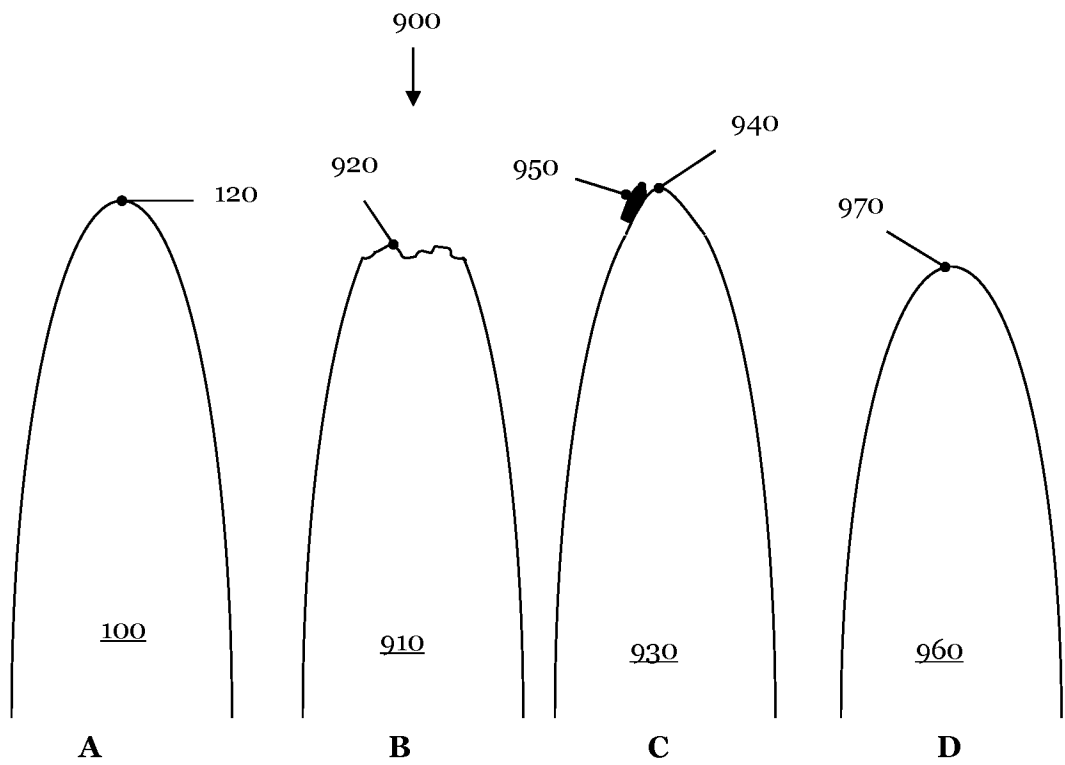


Fig. 10

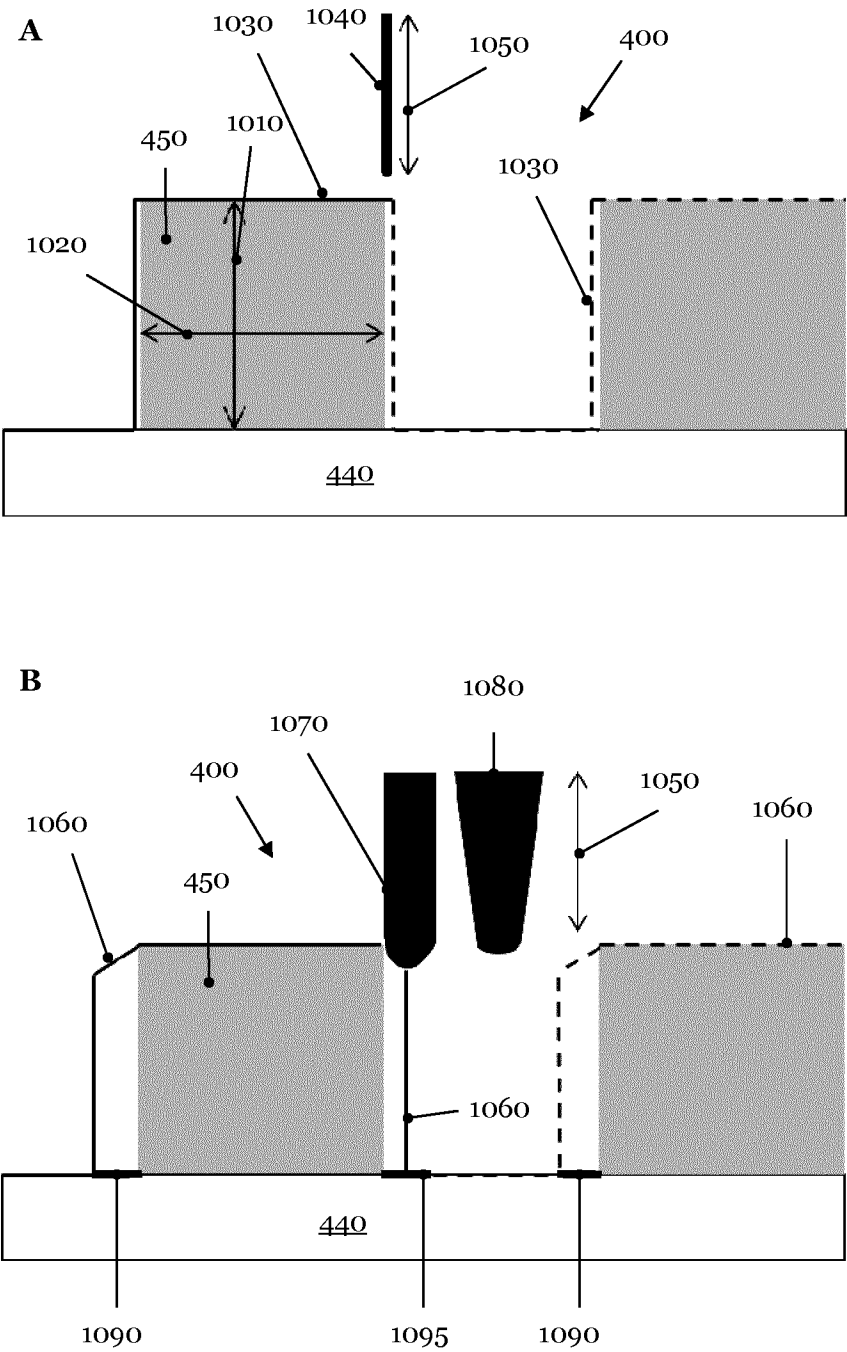


Fig. 11

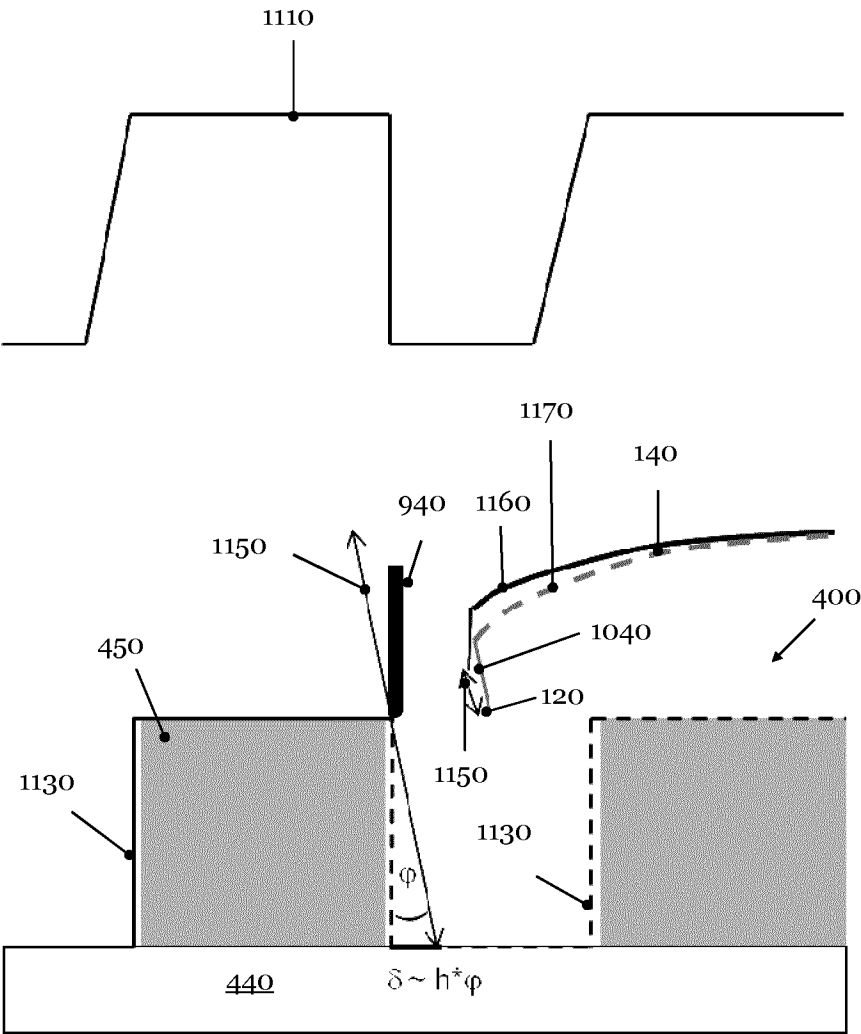


Fig. 12

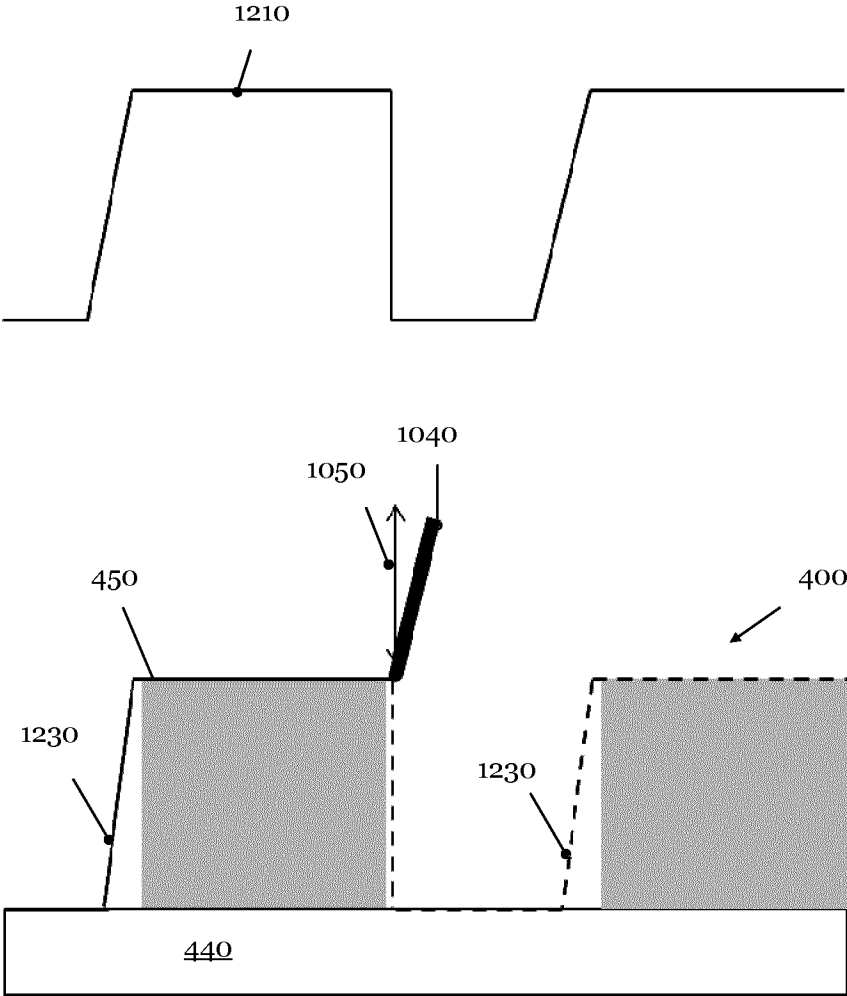


Fig. 13

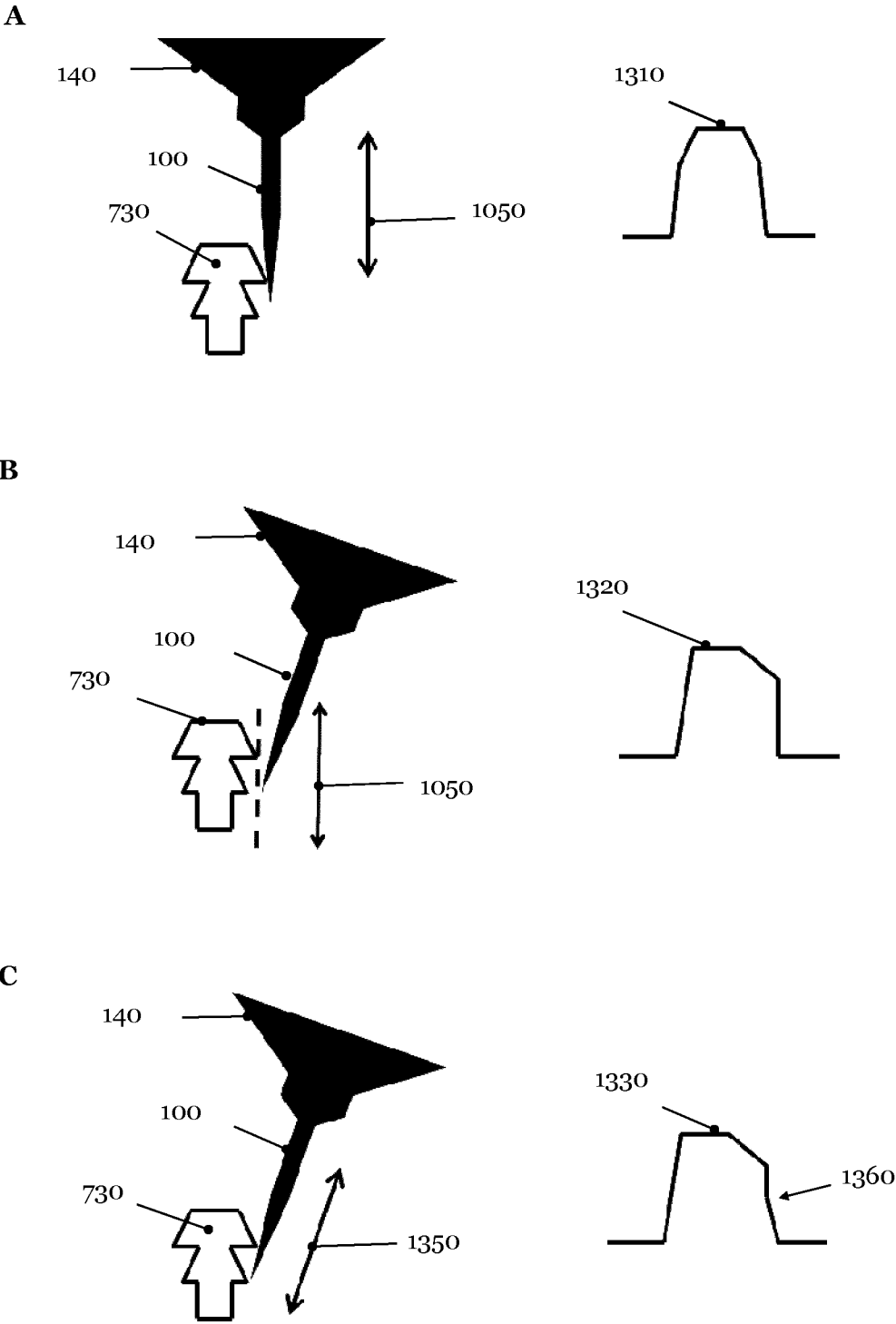


Fig. 14

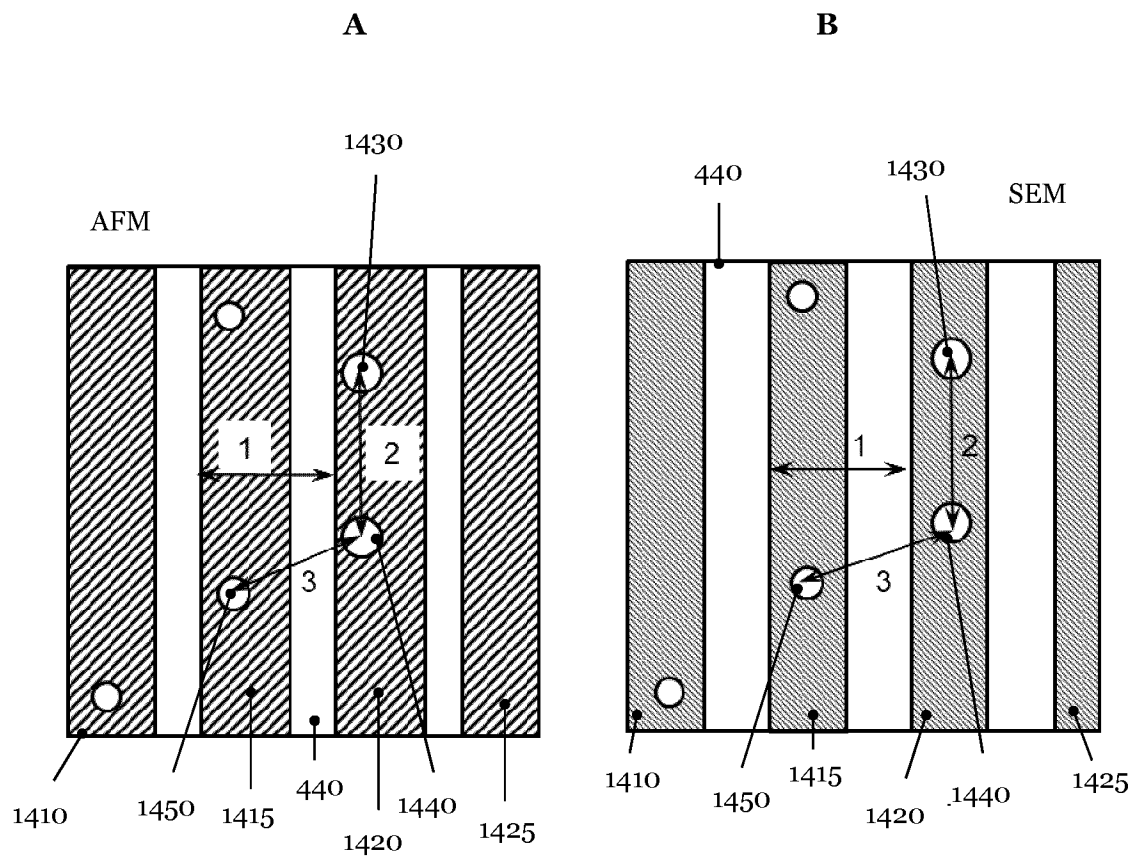
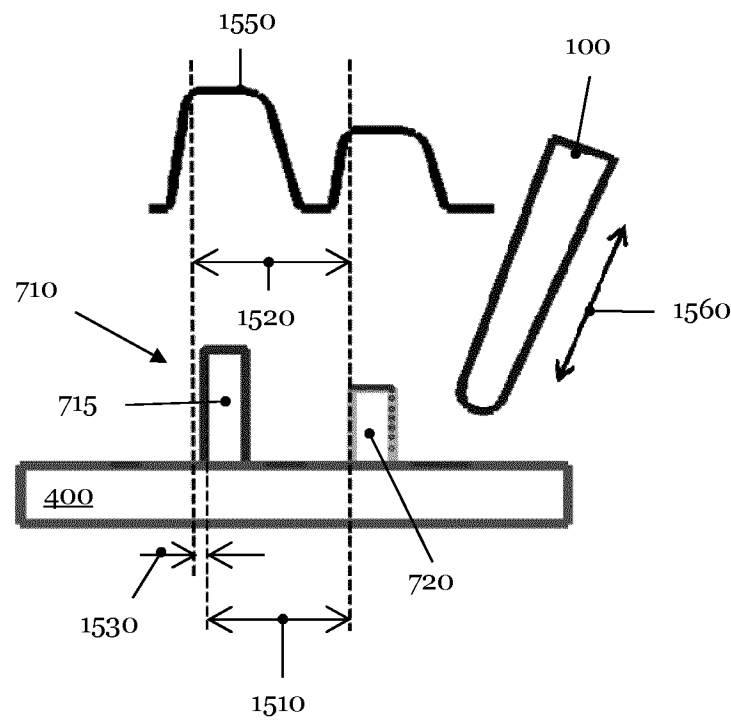


Fig. 15



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/067835

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01Q 40/00(2010.01)i; G01Q 40/02(2010.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01Q Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 2657710 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]; NANOTOOLS GMBH [DE]) 30 October 2013 (2013-10-30)	1-8, 10, 18, 20, 21
Y	figures 4-10 paragraph [0032] - paragraph [0065]	9, 11-17, 19
Y	DE 102013225936 A1 (ZEISS CARL SMS GMBH [DE]) 18 June 2015 (2015-06-18) figures 4-10 paragraph [0058] - paragraph [0108]	9, 11-17, 19
X	BOGDANOV A L ET AL. "FABRICATION OF ARRAYS OF NANOMETER SIZE TEST STRUCTURES FOR SCANNING PROBE MICROSCOPE TIPS CHARACTERIZATION" <i>JOURNAL OF VACUUM SCIENCE AND TECHNOLOGY: PART B, AVS / AIP, MELVILLE, NEW YORK, NY, US</i> , Vol. 12, No. 6, 01 November 1994 (1994-11-01), pages 3681-3684 DOI: 10.1116/1.587639 ISSN: 1071-1023, XP000611193 figures 1,3-6 paragraph [II.A] - paragraph [0III]	1, 3, 6, 8, 10, 18, 20, 21
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
12 September 2018		18 September 2018
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Polesello, Paolo Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/067835

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	HÜBNER U ET AL. "DOWNWARDS TO METROLOGY IN NANOSCALE: DETERMINATION OF THE AFM TIP SHAPE WITH WELL-KNOWN SHARP-EDGED CALIBRATION STRUCTURES" <i>APPLIED PHYSICS A MATERIALS SCIENCE & PROCESSING, SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, BERLIN/HEIDELBERG</i>, Vol. 76, No. 6, 01 April 2003 (2003-04-01), pages 913-917 DOI: 10.1007/S00339-002-1975-6 ISSN: 0947-8396, XP002379744 figures 1, 6, 10, 11 paragraph [03.2] paragraph [0005]	1, 3, 6, 8, 10, 18, 20, 21

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/067835

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	2657710	A1	30 October 2013	EP	2657710	A1	30 October 2013
				EP	2657711	A1	30 October 2013
				US	2013291236	A1	31 October 2013
DE	102013225936	A1	18 June 2015	DE	102013225936	A1	18 June 2015
				JP	6249236	B2	20 December 2017
				JP	2015129928	A	16 July 2015
				US	2015169997	A1	18 June 2015

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01Q40/00 G01Q40/02
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01Q

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 2 657 710 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]; NANOTOOLS GMBH [DE]) 30. Oktober 2013 (2013-10-30)	1-8,10, 18,20,21
Y	Abbildungen 4-10 Absatz [0032] - Absatz [0065] -----	9,11-17, 19
Y	DE 10 2013 225936 A1 (ZEISS CARL SMS GMBH [DE]) 18. Juni 2015 (2015-06-18) Abbildungen 4-10 Absatz [0058] - Absatz [0108] ----- -/-	9,11-17, 19



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

12. September 2018

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

18/09/2018

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Polesello, Paolo

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	BOGDANOV A L ET AL: "FABRICATION OF ARRAYS OF NANOMETER SIZE TEST STRUCTURES FOR SCANNING PROBE MICROSCOPE TIPS CHARACTERIZATION", JOURNAL OF VACUUM SCIENCE AND TECHNOLOGY: PART B, AVS / AIP, MELVILLE, NEW YORK, NY, US, Bd. 12, Nr. 6, 1. November 1994 (1994-11-01), Seiten 3681-3684, XP000611193, ISSN: 1071-1023, DOI: 10.1116/1.587639 Abbildungen 1,3-6 Absatz [II.A] - Absatz [0III] -----	1,3,6,8, 10,18, 20,21
X	HÜBNER U ET AL: "DOWNWARDS TO METROLOGY IN NANOSCALE: DETERMINATION OF THE AFM TIP SHAPE WITH WELL-KNOWN SHARP-EDGED CALIBRATION STRUCTURES", APPLIED PHYSICS A MATERIALS SCIENCE & PROCESSING, SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, BERLIN/HEIDELBERG, Bd. 76, Nr. 6, 1. April 2003 (2003-04-01), Seiten 913-917, XP002379744, ISSN: 0947-8396, DOI: 10.1007/S00339-002-1975-6 Abbildungen 1,6,10,11 Absatz [03.2] Absatz [0005] -----	1,3,6,8, 10,18, 20,21

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/067835

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2657710 A1	30-10-2013	EP 2657710 A1	30-10-2013
		EP 2657711 A1	30-10-2013
		US 2013291236 A1	31-10-2013

DE 102013225936 A1	18-06-2015	DE 102013225936 A1	18-06-2015
		JP 6249236 B2	20-12-2017
		JP 2015129928 A	16-07-2015
		US 2015169997 A1	18-06-2015
