

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50765/2017
(22) Anmeldetag: 13.09.2017
(43) Veröffentlicht am: 15.03.2019

(51) Int. Cl.: **G01Q 70/02** (2010.01)
G02B 21/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
EP 0444697 A2
WO 9318525 A1
US 5376790 A
WO 9708733 A1
US 6127832 A
US 6435015 B1
US 2009107266 A1
DE 102016115057 A1

(71) Patentanmelder:
Anton Paar GmbH
8054 Graz (AT)
(72) Erfinder:
Pinno-Rath Norbert Dipl.Ing.
8010 Graz (AT)
Leuprecht Gernot Dr.
8061 St. Radegund bei Graz (AT)
Koller Daniel Dr.
8052 Graz (AT)

(74) Vertreter:
Dilg Andreas Dr.
80636 München (DE)

(54) **Handhabungsvorrichtung zum Handhaben einer Messsonde**

(57) Handhabungsvorrichtung (50) zum Handhaben einer Messsonde (12) eines Rastersondenmikroskops (81), wobei die Messsonde (12) einen Sondenkörper (51) und eine mittels eines Auslegers (52) mit dem Sondenkörper (51) gekoppelte Sondenspitze (85) aufweist, wobei die Handhabungsvorrichtung (50) eine Aufnahmeeinrichtung (53) zum Aufnehmen der Messsonde (12) an einer Aufnahmefläche (54), eine Führungsstruktur (55), in der die Messsonde (12) führbar ist und dabei der Sondenkörper (51) zumindest teilumfänglich begrenzt ist und der Ausleger (52) und die Sondenspitze (85) berührungsfrei gelagert sind, und eine Transporteinrichtung (56) zum Transportieren der Messsonde (12) von der Aufnahmefläche (54) entlang der Führungsstruktur (55) zu einer Zielfläche (57) aufweist.

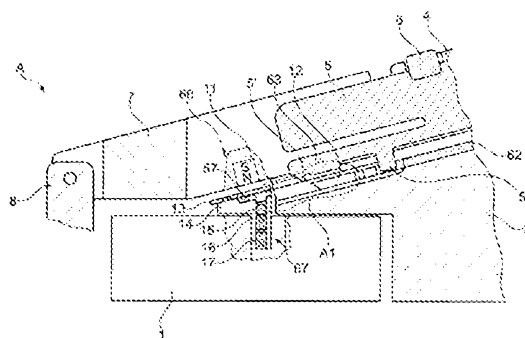


Fig. 4A

Zusammenfassung

Handhabungsvorrichtung (50) zum Handhaben einer Messsonde (12) eines Rastersondenmikroskops (81), wobei die Messsonde (12) einen Sondenkörper (51) und eine mittels eines Auslegers (52) mit dem Sondenkörper (51) gekoppelte Sondenspitze (85) aufweist, wobei die Handhabungsvorrichtung (50) eine Aufnahmeeinrichtung (53) zum Aufnehmen der Messsonde (12) an einer Aufnahme­fläche (54), eine Führungsstruktur (55), in der die Messsonde (12) führbar ist und dabei der Sondenkörper (51) zumindest teilumfänglich begrenzt ist und der Ausleger (52) und die Sondenspitze (85) berührungsfrei gelagert sind, und eine Transporteinrichtung (56) zum Transportieren der Messsonde (12) von der Aufnahme­fläche (54) entlang der Führungsstruktur (55) zu einer Zielfläche (57) aufweist.

15 (Figur 4)

Handhabungsvorrichtung zum Handhaben einer Messsonde

Die Erfindung betrifft eine Handhabungsvorrichtung und ein Verfahren zum Handhaben einer Messsonde, sowie eine Anordnung mit einer

5 Handhabungsvorrichtung und einem Rastersondenmikroskop.

Ein Rasterkraftmikroskop dient hauptsächlich der lateral bzw. vertikal hochauflösenden Untersuchung von Oberflächen (insbesondere topographische Untersuchungen von Oberflächen). Dabei wird eine Messsonde (zum Beispiel
10 aufweisend eine Blattfeder, welche auch als Cantilever oder Ausleger bezeichnet wird) mit einer nanoskopisch kleinen Nadel (auch als Messspitze oder Sondenspitze bezeichnet) über die Oberfläche geführt (d.h. gerastert) und die Auslenkung des Cantilevers, basierend auf der Wechselwirkung des Cantilevers mit der Oberfläche, detektiert. Je nach Oberflächenbeschaffenheit der Probe wird
15 die Auslenkung des Cantilevers positionsabhängig bzw. die Nachführung der Sonde aufgezeichnet bzw. gescannt. Die Auslenkung des Cantilevers bzw. der Sondenspitze kann kapazitiv oder piezoelektrisch oder mithilfe von optischen Sensoren gemessen werden. Diese Methode ermöglicht eine Strukturuntersuchung der Oberfläche der Probe bis hin zur atomaren Auflösung.

20 Der für die Messung verwendete Ausleger (auch Cantilever genannt) samt Sonden- oder Messspitze ist auf einem typischerweise wenige mm² großen Cantilever-Chip montiert, der auch als Sondenkörper bezeichnet wird. Dieser Sondenkörper wiederum ist vor einer Messung mit dem Rastersondenmikroskop in eine dafür vorgesehene Ausnehmung an einem Sondenhalter einzuführen.
25 Diese Tätigkeit wird meist manuell durchgeführt und stellt hohe Anforderungen an den Benutzer, damit eine Beschädigung oder ein Verlust des Auslegers bzw. der Sondenspitze vermieden wird.

Herkömmlich werden manuelle Verfahren durchgeführt, bei denen der Sondenkörper mittels einer Pinzette in einen geöffneten Klemmmechanismus

eingeführt und der Mechanismus danach wieder geschlossen wird. Dies erfordert seitens des Benutzers Erfahrung und Geschicklichkeit.

Um dem Benutzer diese Montage zu erleichtern, wird bei alternativen Lösungen der die Sondenspitze aufweisende Ausleger samt Sondenkörper auf einem Halter vormontiert, was die Handhabung und Montage (des nunmehr größeren Bauteils) erleichtert. Vorgefertigte Module dieser Art sind allerdings apparativ aufwendig. Außerdem bietet ein solches Modul keine ausreichende Flexibilität beim Tausch einer Messsonde und macht einen hohen logistischen Aufwand erforderlich, da immer eine größere Anzahl an Modulen vorrätig gehalten werden muss. Die Schwierigkeit der Montage der Messsonde wird lediglich auf einen Arbeitsschritt davor verlagert.

Es ist herkömmlich also immer noch eine Herausforderung, eine empfindliche Messsonde eines Rastersondenmikroskops zu handhaben und bedarfsweise auszuwechseln, ohne einem Benutzer hierbei ein großes Maß an Geschicklichkeit abzuverlangen bzw. der Gefahr einer Schädigung oder Zerstörung der Messsonde ausgesetzt zu sein.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Möglichkeit zu schaffen, eine Messsonde eines Rastersondenmikroskops einfach und beschädigungsgeschützt handhaben zu können.

Diese Aufgabe wird durch die Gegenstände mit den Merkmalen gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst. Weitere Ausführungsbeispiele sind in den abhängigen Ansprüchen gezeigt.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist eine Handhabungsvorrichtung zum Handhaben einer Messsonde eines Rastersondenmikroskops geschaffen, wobei die Messsonde einen Sondenkörper und eine mittels eines Auslegers mit dem Sondenkörper gekoppelte Sondenspitze aufweist, wobei die Handhabungsvorrichtung eine Aufnahmeeinrichtung zum Aufnehmen der Messsonde an einer Aufnahmefläche, eine Führungsstruktur, in der die Messsonde führbar ist und dabei der Sondenkörper zumindest

teilumfänglich begrenzt ist und der Ausleger und die Sondenspitze berührungsfrei gelagert sind, und eine Transporteinrichtung zum Transportieren der Messsonde von der Aufnahme­fläche entlang der Führungsstruktur zu einer Zielfläche (insbesondere in einen Bereich der Zielfläche) aufweist.

- 5 Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist eine Anordnung bereitgestellt, die ein Rastersondenmikroskop zum Ermitteln von Oberflächeninformation hinsichtlich eines Probekörpers mittels rasternden Abtastens einer Oberfläche des Probekörpers, wobei das Rastersondenmikroskop eine Messsonde aufweist, die zum rasternden Abtasten der Oberfläche des
- 10 Probekörpers eingerichtet ist und einen Sondenkörper und eine mittels eines Auslegers mit dem Sondenkörper gekoppelte Sondenspitze aufweist, und eine Handhabungsvorrichtung mit den oben beschriebenen Merkmalen zum Handhaben der Messsonde aufweist.

- Gemäß einem weiteren exemplarischen Ausführungsbeispiel ist ein
- 15 Verfahren zum Handhaben einer Messsonde für ein Rastersondenmikroskop geschaffen, wobei die Messsonde einen Sondenkörper und eine mittels eines Auslegers mit dem Sondenkörper gekoppelte Sondenspitze aufweist, wobei bei dem Verfahren die Messsonde an einer Aufnahme­fläche einer Handhabungsvorrichtung aufgenommen wird, die Messsonde in der
- 20 Handhabungsvorrichtung derart geführt wird, dass der Sondenkörper zumindest teilumfänglich von einer Führungsstruktur begrenzt wird und der Ausleger und die Sondenspitze in der Führungsstruktur berührungsfrei gelagert werden, und die Messsonde in der Handhabungsvorrichtung von der Aufnahme­fläche entlang der Führungsstruktur zu einer Zielfläche transportiert wird.

- 25 Im Rahmen der vorliegenden Anmeldung wird unter dem Begriff „Handhabungsvorrichtung“ insbesondere ein Werkzeug oder eine Hilfsapparatur verstanden, mit dem oder der eine Messsonde mit einer empfindlichen Sondenspitze von einem Benutzer gehandhabt werden kann und die eine Montage der Messsonde an einer Sondaufnahme eines
- 30 Rastersondenmikroskops vor einer eigentlichen Analyse eines Probekörpers

mittels des Rastersondenmikroskops vereinfacht. Die Handhabungsvorrichtung kann getrennt von dem Rastersondenmikroskop vorgesehen sein. Alternativ kann die Handhabungsvorrichtung auch fest mit dem Rastersondenmikroskop verbunden sein.

- 5 Im Rahmen der vorliegenden Anmeldung wird unter dem Begriff „Rastersondenmikroskop“ insbesondere ein Mikroskop verstanden, bei dem ein Bild oder sonstige Oberflächeninformation eines Probekörpers nicht mit einer optischen oder elektronenoptischen Abbildung (d.h. unter Einsatz von Linsen) erzeugt wird, sondern über die Wechselwirkung einer Messsonde mit dem
- 10 Probekörper. Die zu untersuchende Probenoberfläche wird mittels dieser Messsonde in einem Rasterprozess Punkt für Punkt abgetastet. Die sich für jeden einzelnen Punkt ergebenden Messwerte können dann zu einem Bild zusammengesetzt werden oder in anderer Weise ausgewertet werden.

- Gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung wird eine
- 15 als Werkzeug ausgebildete Handhabungsvorrichtung geschaffen, die es einem Benutzer ermöglicht, eine Messsonde mit empfindlicher Sondenspitze zur Montage an einem Rastersondenmikroskop vorzubereiten. Während einer entsprechenden Handhabung der Messsonde durch den Benutzer unter Verwendung der Handhabungsvorrichtung ist die empfindliche Sondenspitze
- 20 durchgehend und zuverlässig vor einer Beschädigung geschützt. Gleichzeitig werden einem Benutzer keine filigranen Handgriffe oder eine besondere Erfahrung bzw. Geschicklichkeit abverlangt. Vielmehr ist es ausreichend, wenn ein Benutzer die Messsonde samt Sondenspitze lediglich auf einer
- 25 Aufnahme­fläche ablegt und die Handhabungsvorrichtung dann betätigt, wodurch selbsttätig die abgelegte Messsonde von der Aufnahme­fläche entlang einer Führungsstruktur bis zu einer Zielfläche transportiert wird. Beim Zurücklegen dieses Weges verbleibt die Sondenspitze berührungsfrei in der
- 30 Handhabungsvorrichtung, wobei zum Bewegen der Messsonde eine entsprechende Transporteinrichtung an dem weniger empfindlichen Sondenkörper der Messsonde angreift. An der Zielfläche bzw. im Bereich der

Zielfläche in definierter und gewünschter Weise angekommen, kann die zum Ankoppeln an das Rastersondenmikroskop so vorbereitete Messsonde durch Entnahme eines die Zielfläche beinhaltenden Transportmoduls aus der Handhabungsvorrichtung weiterbehandelt werden. Transportmodul samt

5 Messsonde an der Zielfläche können dann zu dem Rastersondenmikroskop verbracht werden, wo die Montage des Transportmoduls mitsamt der Messsonde an dem Rastersondenmikroskop abgeschlossen werden kann. Auf diese Weise ist ein intuitiv und ohne besondere Vorkenntnisse oder Geschicklichkeit bedienbarer Handhabungsmechanismus zum einfachen und sicheren Wechseln einer

10 Messsonde geschaffen, der auch von ungeübten Benutzern bedient werden kann und Beschädigungen des Auslegers und der Sondenspitze an dem Sondenkörper der Messsonde zuverlässig vermeidet.

Im Weiteren werden zusätzliche exemplarische Ausführungsbeispiele der Handhabungsvorrichtung, der Anordnung und des Verfahrens beschrieben.

15

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Handhabungsvorrichtung eine Abdeckeinrichtung zum Aufsetzen auf die Aufnahmeeinrichtung zum Abdecken der Messsonde aufweisen. Eine solche Abdeckeinrichtung kann einen Deckel aufweisen, der die Messsonde auch

20 oberseitig und gegebenenfalls seitlich vor einer Beschädigung geschützt. Hat ein Benutzer die Messsonde an der Aufnahme­fläche abgelegt und die Abdeckeinrichtung aufgesetzt, ist keine weitere Benutzeraktivität unmittelbar an der isolierten Messsonde selbst mehr vonnöten, um diese an dem Rastersondenmikroskop zu montieren.

25 Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Führungsstruktur einen Kanal zumindest abschnittsweise zwischen der Aufnahme­fläche und der Zielfläche aufweisen, entlang welchem Kanal die Messsonde führbar ist. Ein solcher Kanal kann als Nut, Vertiefung oder durch Seitenwände abgegrenzt sein und kann die Trajektorie präzise definieren,

30 entlang der sich die Messsonde beim Transport von der Aufnahme­fläche zu der

Zielfläche bewegt. Dadurch kann auch die empfindliche Sondenspitze beim Transport schnell, zuverlässig und sicher gehandhabt werden.

5 Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann der Kanal mittels oberseitiger und/oder unterseitiger und/oder seitlicher Wandungen abgegrenzt sein. Bei einer Ausgestaltung eines an vier Seiten räumlich abgegrenzten Kanals ist die Sondenspitze vollumfänglich und somit besonders zuverlässig vor einer unerwünschten mechanischen Beeinträchtigung geschützt.

10 Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die der Sondenspitze zugewandte Wandung eine Freistellung zum berührungsfreien Freistellen des Auslegers und der Sondenspitze aufweisen. Die Messsonde kann so in der Führungsstruktur geführt werden, dass die zum Beispiel nach oben weisende Sondenspitze am Auslegerende durch die Freistellung stets von den umgebenden Wänden beanstandet bleibt und daher während des Transportierens durchgehend berührungsfrei geführt wird.

15 Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Transporteinrichtung zum Transportieren der Messsonde von der Zielfläche entlang der Führungsstruktur zurück zu der Aufnahme­fläche ausgebildet sein. Führungsstruktur und Transporteinrichtung können somit derart konfiguriert sein, dass nicht nur ein Verbringen der Messsonde von der Aufnahme­fläche zu
20 der Zielfläche zwecks Montage des Sondenkörpers an dem Rastersondenmikroskop ermöglicht ist, sondern dass auch nach Beendigung einer Messung unter Verwendung der Messsonde an dem Rastersondenmikroskop die Messsonde ebenfalls ohne komplizierte Handhabung durch einen Benutzer wieder demontiert werden kann. Dies kann dadurch
25 erfolgen, dass nach Beendigung einer solchen Messung das Transportmodul samt Messsonde von dem Rastersondenmikroskop zurück zu der Handhabungsvorrichtung verbracht wird, dort angekoppelt wird und die Messsonde in inverser Richtung von der Zielfläche entlang der Führungsstruktur bis hin zu der Aufnahme­fläche zurücktransportiert werden kann. Durch eine

solche bidirektionale Handhabbarkeit braucht ein Benutzer die Messsonde am Ende lediglich wieder von der Aufnahme­fläche zu entnehmen.

Gemäß einem Ausführungs­beispiel der Erfindung kann die Trans­porteinrichtung einen Zuführschieber zum Schieben der Messsonde
5 zumindest abschnittsweise von der Aufnahme­fläche zu der Zielfläche aufweisen. Anschaulich kann mit dem Zuführschieber die gesamte Messsonde von hinten entlang der Führungsstruktur zur Zielfläche geschoben werden. Daher ist eine einzige intuitive Handbewegung eines Benutzers ausreichend, um die Messsonde von der Aufnahme­fläche bis zu der Zielfläche bzw. bis in den Bereich der
10 Zielfläche zu befördern.

Gemäß einem Ausführungs­beispiel der Erfindung kann der Zuführschieber eine Freistellung zum berührungsfreien Freistellen des Auslegers und der Sonden­spitze aufweisen, wenn mittels des Zuführschiebers die Messsonde zumindest abschnittsweise von der Aufnahme­fläche zu der Zielfläche geschoben
15 wird. Um die Messsonde besonders zuverlässig vor einer mechanischen Beeinträchtigung zu schützen, kann diese so eingelegt werden, dass während des Transports von der Aufnahme­fläche bis zu der Zielfläche der Ausleger samt Sonden­spitze an einer in Transport­richtung rückseitigen Position liegt. Während der Zuführschieber die Messsonde in Vorwärts­richtung schiebt und dabei an der
20 Rückseite der Messsonde (bezogen auf die Transport­richtung) angreift, sorgt die beschriebene Freistellung dafür, dass der Ausleger samt Sonden­spitze trotz der Handhabung der gesamten Messsonde durch den Zuführschieber nicht in Berührung mit den umgebenden Komponenten der Handhabungs­vorrichtung gelangt und während des Transports durch den Zuführschieber sogar zusätzlich
25 geschützt wird.

Gemäß einem Ausführungs­beispiel der Erfindung kann die Trans­porteinrichtung einen Abführschieber zum Schieben der Messsonde zumindest abschnittsweise von der Zielfläche zurück zu der Aufnahme­fläche aufweisen. Beim Rücktransport der Messsonde von der Zielfläche zur
30 Aufnahme­fläche kann die Messsonde im Vergleich zum Hintransport in inverser

Richtung transportiert werden und dabei mittels des Abführschiebers wiederum geschoben oder geschleppt werden. Beim Hintransport kann der Abführschieber als vorderseitige Begrenzung der Messsonde dienen, wohingegen beim Rücktransport der Zuführschieber als rückseitige Begrenzung der Messsonde fungiert. Zuführschieber und Abführschieber erfüllen also beide eine doppelte Funktion, nämlich ein Verschieben der Messsonde in einem Betriebszustand und ein räumliches Begrenzen der Messsonde in dem jeweils anderen Betriebszustand.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann der Abführschieber zum kontaktbehafteten Einwirken lediglich auf den Sondenkörper der Messsonde ausgebildet sein, wenn mittels des Abführschiebers die Messsonde zumindest abschnittsweise von der Zielfläche zurück zu der Aufnahme­fläche geschoben wird. Mit Vorteil führt ein Schieben der Messsonde mittels des Abführschiebers zu keinerlei mechanischer Belastung von Ausleger samt SONDENS­pitze, da der Abführschieber gemäß der beschriebenen Ausgestaltung lediglich an dem Sondenkörper angreift.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann der Abführschieber als Federzunge ausgebildet sein. Eine solche Federzunge kann ein elastisches Bauteil oder Festkörpergelenk sein, das eine Handhabung des Sondenkörpers mit nur geringer Kraft sicherstellen kann. Dadurch trägt auch die Ausgestaltung des Abführschiebers als Federzunge zum Verunmöglichen einer mechanischen Beschädigung oder Zerstörung der Messsonde während der Handhabung bei.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann der Abführschieber einen beim Verschieben auf die Messsonde einwirkenden Haken und eine mit dem Haken gekoppelte und beim Verschieben in eine Vertiefung eintauchende Freigabe­nase aufweisen, die bei Erreichen der Aufnahme­fläche durch die Messsonde infolge des Verschiebens aus der Vertiefung herausgeführt wird, wodurch der Haken die Messsonde freigibt. Ein vorzugsweise als Federzunge ausgebildeter Abführschieber kann somit einen Haken zum Mitnehmen des Sondenkörpers aufweisen, wenn die Handhabungsvorrichtung zum Transport der

Messsonde von der Zielfläche zurück zu der Aufnahme­fläche betätigt wird. Mit Vorteil kann eine Federzunge gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel zusätzlich zu dem Haken eine zum Beispiel vorderseitig davon angeordnete Freigabenase aufweisen, die zum Beispiel in einer Nut oder anderen Vertiefung geführt werden kann, während der Haken die Messsonde zurück in Richtung der Aufnahme­fläche schiebt oder zieht. Durch entsprechende Konfiguration der Vertiefung kann der Haken zu einer Aufwärtsbewegung gezwungen werden, wenn die Messsonde im Bereich einer gewünschten Endposition, mithin an der Aufnahme­fläche, angelangt ist. Freigabenase und Haken können derart miteinander verbunden sein, dass bei einer Bewegung der Freigabenase aus der Vertiefung heraus auch der Haken nach oben mitbewegt wird und daher außer Eingriff mit der Messsonde gelangt. Die Messsonde wird dann nicht weiter geschoben oder gezogen und verbleibt an der gewünschten Endposition, zum Beispiel der Aufnahme­fläche.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann der Abführschieber senkrecht zu einer Schieberichtung schmaler ausgebildet sein als der Zuführschieber. Durch diese besonders schmale Ausgestaltung des Abführschiebers kann auch die Führung der Freigabenase in der Nut oder sonstigen Vertiefung einerseits sehr platzsparend und andererseits mit einer präzise definierten räumlichen Führung ermöglicht werden.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Handhabungsvorrichtung eine Betätigungseinrichtung zum Betätigen der Transporteinrichtung durch einen Benutzer aufweisen. Eine solche Betätigungseinrichtung kann zum Beispiel zunächst durch einen Benutzer (zum Beispiel durch Tastendruck) betätigt werden, bevor die Transporteinrichtung durch den Benutzer längsverschoben wird, wodurch automatisch die Messsonde zwischen Aufnahme­fläche und Zielfläche verfahren wird. Eine solche Betätigungseinrichtung ist durch einen Benutzer intuitiv und fehlerrobust bedienbar. Alternativ oder ergänzend kann die Betätigungseinrichtung auch zum

Betätigen durch eine Antriebseinrichtung, insbesondere einen Motor, ausgebildet sein.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Betätigungseinrichtung einen Kraftbegrenzungsmechanismus zum Begrenzen einer von einem Benutzer auf die Betätigungseinrichtung ausgeübten Kraft derart aufweisen, dass eine auf die Transporteinrichtung einwirkende Kraft einen vorgebbaren Schwellwert nicht überschreitet. Mit Vorteil kann bei der Betätigungseinrichtung eine Vorkehrung geschaffen werden, welche die Übertragung einer von einem Benutzer ausgeübten Kraft auf die Messsonde auf einen vorgebbaren Maximalwert begrenzt. Dadurch kann selbst bei Ausübung einer übermäßigen Kraft durch einen Benutzer zuverlässig ausgeschlossen werden, dass die Messsonde dadurch in Mitleidenschaft gezogen wird. Ein entsprechender Kraftbegrenzungsmechanismus kann zum Beispiel eine Kraftentkopplung zwischen Betätigungseinrichtung und Messsonde bewirken, wenn die Betätigungskraft einen vorgebbaren Schwellwert überschreitet. Dies kann durch Vorsehen einer entsprechenden Kupplung zwischen Betätigungseinrichtung und Transporteinrichtung bewerkstelligt werden.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Betätigungseinrichtung derart ausgebildet sein, dass ein Verschieben der Transporteinrichtung mittels Betätigens der Betätigungseinrichtung selektiv ermöglicht oder verunmöglicht werden kann. Die Betätigungseinrichtung kann zum Beispiel zwischen einem verriegelten Zustand und einem entriegelten Zustand überführt werden, indem ein Benutzer die Betätigungseinrichtung entsprechend betätigt (zum Beispiel vor einer Verschiebebewegung einen Knopf betätigen muss). Selbst in einem entriegelten Zustand kann eine Verschiebung der Transporteinrichtung durch einen entsprechenden Sicherheitsmechanismus verunmöglicht werden, wenn bei einer solchen Verschiebung eine Beschädigung der Messsonde zu befürchten wäre. Ein Beispiel für einen entsprechenden Sicherheitsmechanismus ist in Figur 16 dargestellt.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Handhabungsvorrichtung ein die Zielfläche aufweisendes Transportmodul aufweisen, das, insbesondere samt einer Messsonde an der Zielfläche, vom Rest der Handhabungsvorrichtung trennbar und zum Rastersondenmikroskop transportierbar bzw. dort ankoppelbar ist. Das Transportmodul kann selektiv an der Handhabungsvorrichtung befestigt werden oder an dem Rastersondenmikroskop befestigt werden. Wenn das Transportmodul an der Handhabungsvorrichtung angebracht ist, kann ein Überführen der Messsonde zwischen Aufnahme­fläche und Zielfläche erfolgen. Wenn das Transportmodul an dem Rastersondenmikroskop angebracht ist, kann die Messsonde zum rasternden Abtasten einer Oberfläche eines Probenkörpers eingesetzt werden. Das Transportmodul selbst kann an seiner Zielfläche die Messsonde tragen und kann, da es wesentlich größer dimensioniert ist als die Messsonde, durch einen Benutzer problemlos gehandhabt werden.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Handhabungsvorrichtung eine bewegbare (zum Beispiel verschiebbare) Rampe und ein bewegbares (zum Beispiel schwenkbares) Führungsteil aufweisen, die in einem Betriebszustand zum in Eingriff nehmen des Transportmoduls an das Transportmodul heranbewegbar sind. Führungsteil und Rampe können in einem anderen Betriebszustand auch das Transportmodul freigebend von dem Transportmodul wegbewegt werden. Auf diese Weise kann das Transportmodul in definierter Weise an die Handhabungsvorrichtung angekoppelt werden oder kann von dieser zum Überführen zu dem Rastersondenmikroskop abgekoppelt werden.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Aufnahme­fläche bei in Eingriff nehmen des Transportmoduls zwischen der Rampe und dem Führungsteil angeordnet sein. In entsprechender Weise kann die Zielfläche bei in Eingriff nehmen des Transportmoduls zwischen dem Transportmodul und dem Führungsteil angeordnet sein. Die Transporeinrichtung kann somit eingerichtet sein, beim Überführen der Messsonde von der Aufnahme­fläche zur Zielfläche die

Messsonde von einer Position zwischen Rampe und Führungsteil an eine andere Position zwischen Führungsteil und Transportmodul zu bewegen.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Handhabungsvorrichtung eine Fixiereinrichtung zum selektiven Fixieren der Messsonde an der Zielfläche aufweisen. Die Handhabungsvorrichtung kann in einer bevorzugten Ausführungsform mit einem Fixiermechanismus ausgestattet sein, der vor oder bei Entnahme des Transportmoduls aus der Handhabungsvorrichtung die Messsonde an der Zielfläche fixiert. Mit anderen Worten kann die Handhabungsvorrichtung es ermöglichen, eine Messsonde mit Ausleger und Sondenspitze (auch als Cantilever-Chip mit einem Cantilever-bezeichnet) in einen Fixiermechanismus einzuführen und dort zu fixieren. Auf diese Weise kann ermöglicht werden, dass bei einem Transport der Messsonde an dem Transportmodul von der Handhabungsvorrichtung zu dem Rastersondenmikroskop die Messsonde zuverlässig an dem Transportmodul gesichert ist.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Fixiereinrichtung eine erste Fixierkomponente im Bereich der Zielfläche und eine zweite Fixierkomponente aufweisen, die zum Umschalten zwischen einem von der Zielfläche gelösten Zustand der Messsonde und einem an der Zielfläche fixierten Zustand der Messsonde selektiv zu der Zielfläche herانبewegbar oder von der Zielfläche wegbewegbar ausgebildet ist. Die erste Fixierkomponente und die zweite Fixierkomponente können also in der Weise zusammenwirken, dass bei einem räumlich angenäherten Relativzustand zwischen den beiden Fixierkomponenten im Vergleich zu einem räumlich weiter voneinander entfernten Relativzustand der beiden Fixierkomponenten infolge einer zum Beispiel abstandsabhängigen Wechselwirkungskraft zwischen den Fixierkomponenten die Messsonde selektiv gehalten oder freigegeben werden kann.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Fixiereinrichtung eingerichtet sein, mittels des Heranbewegens der zweiten Fixierkomponente den

von der Zielfläche gelösten Zustand der Messsonde einzuschalten. In entsprechender Weise kann die Fixiereinrichtung eingerichtet sein, mittels des Wegbewegens der zweiten Fixierkomponente den an der Zielfläche fixierten Zustand der Messsonde einzuschalten. Das Wegbewegen der zweiten

5 Fixierkomponente kann mit Vorteil zum Freigeben des Transportmoduls erfolgen, da nach Freigabe des Transportmoduls die daran angeordnete Messsonde zum Transport zum Rastersondenmikroskop am Transportmodul bevorzugt fest gehalten werden soll. Anschaulich kann eine auf die Messsonde einwirkende Befestigungskraft eingeschaltet werden, indem die zweite Fixierkomponente von
10 der ersten Fixierkomponente wegbewegt wird. Wenn die zweite Fixierkomponente an die erste Fixierkomponente heranbewegt ist, kann vorteilhaft das Freigeben der Messsonde an der Zielfläche erreicht werden. Das Transportmodul kann dann an der Handhabungsvorrichtung befestigt sein, um die nunmehr freigegebene Messsonde von der Zielfläche zur Aufnahme­fläche zu
15 bewegen, oder *vice versa*.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Fixiereinrichtung eine Masterkrafteinrichtung (die an der zweiten Fixierkomponente angebracht sein kann oder die zweite Fixierkomponente bilden kann) zum selektiven Ausüben einer Masterkraft auf einen Fixiermechanismus (der an der ersten
20 Fixierkomponente angebracht sein kann oder die erste Fixierkomponente bilden kann), und diesen Fixiermechanismus aufweisen, der mittels der Masterkrafteinrichtung zum Lösen und/oder Fixieren der an die Zielposition transportierten Messsonde betätigbar ist. Im Rahmen der vorliegenden Anmeldung wird unter dem Begriff „Masterkrafteinrichtung“ insbesondere eine
25 Krafterzeugungseinrichtung verstanden, die zum bedarfsweisen (zum Beispiel maschinengesteuerten oder benutzergesteuerten) Erzeugen einer vorübergehend wirkenden Masterkraft ausgebildet ist. Diese kann ein berührungsfreies und somit gut reproduzierbares Befestigen der Messsonde an bzw. Lösen der Messsonde von der Zielfläche (an der auch eine Einführeinrichtung, zum Beispiel
30 eine Einführtasche, zum Einführen der Messsonde vorgesehen sein kann)

ermöglichen. Eine solche Masterkraft kann wahlweise ein- oder ausgeschaltet werden. Gemäß dem beschriebenen Ausführungsbeispiel ist eine robuste Fixiereinrichtung für eine Messsonde eines Rastersondenmikroskops bereitgestellt, die gleichzeitig für viele verschiedene Messsondentypen bzw.

- 5 Messverfahren in das Rastersondenmikroskop einsetzbar ist und die Messsonde zerstörungsfrei austauschbar macht. Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ermöglicht es dem Benutzer, die Messsonde sicher, einfach und intuitiv auszutauschen. Dies erhöht den Benutzerkomfort im Zusammenhang mit der Montage und der Auswechslung einer Messsonde. Durch das Zusammenspiel
- 10 einer intuitiv handhabbaren Einführeinrichtung, eines reversibel wirkenden Fixiermechanismus und einer vorzugsweise berührungslos wirkenden Masterkrafteinrichtung zum kraftbasierten Steuern des Fixiermechanismus kann die Handhabung der Messsonde vereinfacht werden, kann eine unerwünschte mechanische Zerstörung der Messsonde unterbunden werden und kann eine
- 15 Fehlplatzierung der Messsonde ausgeschlossen werden. Zu diesem Zweck machen sich Ausführungsbeispiele der Erfindung das Wirkprinzip zu eigen, dass mit einer Masterkrafteinrichtung der Fixiermechanismus zum Einschalten und/oder Ausschalten einer Fixierkraft mit einer übergeordneten Masterkraft beaufschlagt wird, unter deren Einfluss die Messsonde selektiv mittels des
- 20 Fixiermechanismus fixiert oder davon gelöst werden kann. Die mittels der Masterkrafteinrichtung erzeugte Masterkraft kann dabei einer Fixierkraft des Fixiermechanismus so überlagert werden (insbesondere diese schwächend oder sogar eliminierend überlagert werden), dass auf die Messsonde dann keine resultierende Befestigungskraft mehr einwirkt und die Messsonde somit gelöst
- 25 wird.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Masterkrafteinrichtung aus einer Gruppe ausgewählt sein, die besteht aus einer Masterkrafteinrichtung zum Ausüben einer magnetischen Masterkraft (insbesondere aufbringbar mittels eines bewegbaren

- 30 Masterkraftpermanentmagneten oder mittels eines elektrisch aktivierbaren

Masterkraftelektromagneten), einer hydraulischen Masterkraft, einer pneumatischen Masterkraft, einer elektrischen Masterkraft, einer thermischen Masterkraft und einer mechanischen Masterkraft. All diese Krafterzeugungsmechanismen können steuerungstechnisch implementiert werden, so dass das Wirken einer übermäßigen oder zu geringen Befestigungskraft vorteilhaft vermieden werden kann.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann der Fixiermechanismus bzw. die erste Fixierkomponente mindestens zwei Magnetelemente aufweisen, deren magnetische Wechselwirkungskraft ausgebildet ist, die an die Zielfläche transportierte Messsonde zu fixieren, insbesondere klemmend zu fixieren. Wenn eines der beiden Magnetelemente (zum Beispiel in einer Aussparung eines Gehäuses oder eines Fixierkörpers) immobilisiert ist und das andere der beiden Magnetelemente sich (zum Beispiel in der Aussparung des Gehäuses oder Fixierkörpers) frei bewegen kann, so kann durch die magnetische Wechselwirkung der beiden Magnetelemente eine Kraft erzeugt werden, welche auf die an der Zielfläche befindliche (insbesondere in die Einführeinrichtung eingeführte) Messsonde befestigend einwirkt. Um die Messsonde von der Zielfläche abnehmen (insbesondere aus der Einführeinrichtung entnehmen) zu können, kann als zugehörige Masterkrafteinrichtung eine weitere Magnetfelderzeugungseinrichtung (zum Beispiel ein beweglicher Permanentmagnet oder ein Elektromagnet) verwendet werden, die den bereits wirkenden Magnetkräften eine übergeordnete Magnetkraft überlagert, mit der ein direkt oder indirekt auf die Messsonde einwirkendes der Magnetelemente unter Freigabe der Messsonde zurückgezogen wird.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Fixiereinrichtung ein Haltekraftverstärkungselement (insbesondere eine Kugel) mit gekrümmter, insbesondere sphärisch gekrümmter, Haftkraftübertragungsfläche aufweisen, das in einem an die Zielfläche transportierten Zustand der Messsonde mittels der Haftkraftübertragungsfläche, insbesondere punktförmig direkt auf die Messsonde

einwirkt. Dies hat den Vorteil, dass die Krafteinwirkung über das Haftkraftverstärkungselement auf die Messsonde im Wesentlichen punktförmig erfolgen kann, so dass die von dem Fixiermechanismus ausgeübte Fixierkraft positionsgenau und mit räumlich stark konzentrierter bzw. fokussierter Wirkung auf die Messsonde einwirken kann.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung können die Transporteinrichtung und die Fixiereinrichtung zum Zusammenwirken miteinander derart eingerichtet sein, dass die Messsonde zunächst (mittels der Transporteinrichtung) an die Zielfläche herantransportiert wird und erst beim Fixieren (mittels der Fixiereinrichtung) an der Zielfläche fixiert wird (insbesondere daran angedrückt, an diese angezogen oder an diese angesaugt wird). Die Transporteinrichtung kann die Messsonde zunächst längsverschieben und dabei der Zielfläche annähern, sodass die Messsonde im Bereich der Zielfläche zum Liegen kommt. Ein eigentliches Andrücken (oder dergleichen) der Messsonde in physischen Kontakt mit der Zielfläche kann dann durch eine Bewegung in einer zu der Längsverschiebungsrichtung unterschiedlichen (insbesondere hierzu im wesentlichen orthogonalen) Richtung durch die Fixiereinrichtung erfolgen, welche die Messsonde gegen die Zielfläche an einen Kontaktkörper (insbesondere an ein Kontaktblech oder dergleichen) andrückt oder dort anderweitig fixiert. Somit kann es gemäß der beschriebenen Ausgestaltung zu einer zweistufigen Bewegung der Messsonde auf ihrem Weg von einem Berührkontakt mit der Aufnahme­fläche zu einem Berührkontakt mit der Zielfläche kommen. Dieser Mechanismus kann mit Vorteil besonders präzise ausgeführt werden.

Alternativ kann die Bewegung von der Aufnahme­fläche bis zu der Zielfläche aber auch lediglich durch die Transporteinrichtung alleine bewerkstelligt werden.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Handhabungsvorrichtung eine abschnittsweise von der Zielfläche begrenzte Einführtasche oder Einführeinrichtung aufweisen, in welche die Messsonde

zumindest teilweise eingeführt ist, wenn die Messsonde auf der Zielfläche aufliegt. Die Einführtasche oder Einführeinrichtung kann an einer Seite von der Zielfläche an einem Kontaktkörper (zum Beispiel von einem Kontaktplättchen, insbesondere ein Kontaktblech) begrenzt sein. Zum Beispiel kann der Zielfläche gegenüber eine Fixierkraft auf die Messsonde einwirken und die Messsonde gegen den Kontaktkörper bzw. gegen die Zielfläche drücken. Von Seiten des Kontaktkörpers kann bedarfsweise eine Masterkraft einwirken, die zum Beispiel der Fixierkraft zum Freigeben der Messsonde entgegenwirken kann.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Aufnahme­fläche und/oder eine Führungsfläche (zum Beispiel eine Bodenfläche des Kanals) der Führungsstruktur und/oder die Zielfläche als gegenüber einer horizontalen Ebene geneigte Fläche ausgebildet sein. Diese Neigung kann insbesondere derart sein, dass sich die Messsonde beim Transportieren von der Aufnahme­fläche zu bzw. in einen Bereich der Zielfläche zumindest abschnittsweise entlang der geneigten Fläche abwärts bewegt. Bei der Bewegung von der Aufnahme­fläche zur Zielfläche kann die Messsonde anschaulich zumindest abschnittsweise eine schiefe Ebene herabrutschen, sodass der Einbau der Messsonde im Transportmodul unter einem Winkel erfolgt, der der endgültigen Soll-Lage der Messsonde im Transportmodul und in weiterer Folge im Rasterkraftmikroskop entspricht.

Insbesondere kann eine Handhabungsvorrichtung gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel eine verschiebbare Rampe, vorzugsweise mit einer schrägen Oberfläche, aufweisen. Auf dieser vorzugsweise schrägen oder geneigten Oberfläche kommt die Messsonde bzw. der Cantilever-Chip, bevorzugt mit der Sondenspitze nach oben, zu liegen. Der zugehörige Sondenkörper kann mittels eines Schlittens entlang der schiefen Ebene (anschaulich talwärts) in das Transportmodul (das auch als Cantilever-Halter bzw. Cantilever-Modul bezeichnet werden kann) eingeschoben werden. Umgekehrt kann eine zuvor bereits in einem Rastersondenmikroskop verwendete Messsonde mit diesem Schlitten und einer daran befestigten Federzunge aus

dem Transportmodul herausgezogen werden. Während dieser Bewegungen kann die Messsonde kontrolliert und definiert geführt werden. Entsprechende Ausnehmungen, die gemäß exemplarischen Ausführungsbeispielen der Erfindung an der Führungsstruktur bzw. der Transporteinrichtung vorgesehen werden
5 können, können sicherstellen, dass der Ausleger und die Sondenspitze der Messsonde nicht beschädigt werden.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Handhabungsvorrichtung einen Sperrmechanismus zum Verunmöglichen einer Bewegung einer Komponente (bzw. mehrerer Komponenten relativ zueinander,
10 zum Beispiel Rampe relativ zu Schlitten) der Handhabungsvorrichtung aufweisen, welche Bewegung den Ausleger und/oder die Sondenspitze und/oder die Einführtasche mit einer mechanischen Belastung beaufschlagen würde. Wenn zum Beispiel ein Schlitten die Messsonde in Richtung der Zielfläche geführt hat, kann ein Bewegen der Rampe in eine entgegengesetzte Richtung zu einem
15 unerwünschten Bewegen eines Hakens eines Abführschiebers über die Messsonde hinweg führen und Letztere dabei beschädigen. Durch einen entsprechenden Sperrmechanismus kann dies verhindert werden.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann das Rastersondenmikroskop eine Transportmodul-Schnittstelle zum Ankoppeln eines
20 Transportmoduls mit den oben beschriebenen Merkmalen derart aufweisen, dass nach Ankoppeln des Transportmoduls (mit an dessen Zielfläche angeordneter, insbesondere daran fixierter, Messsonde) an die Transportmodul-Schnittstelle die Messsonde an dem Transportmodul betriebsbereit zum rasternden Abtasten der Oberfläche des Probekörpers ist. Ist also die Messsonde auf dem Transportmodul
25 durch eine entsprechende Handhabung der Handhabungsvorrichtung angeordnet und vorzugsweise fixiert worden, kann ein Benutzer das Transportmodul samt Messsonde an das Rastersondenmikroskop ansetzen. Dadurch kann bevorzugt die Messsonde unmittelbar in eine Messposition verbracht werden.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann das Verfahren nach
30 dem Transportieren der Messsonde zur Zielfläche ein Trennen eines die Zielfläche

aufweisenden Transportmoduls samt Messsonde vom Rest der Handhabungsvorrichtung, und ein Ankoppeln des Transportmoduls samt der an der Zielfläche befindlichen Messsonde an das Rastersondenmikroskop aufweisen.

Zu diesem Zweck kann ein Benutzer die an dem Transportmodul angeordnete

5 und vorzugsweise daran fixierte Messsonde zu dem Rastersondenmikroskop bewegen und dort ankoppeln. Bevorzugt kann das Verfahren nach dem Ankoppeln ein Betreiben des Rastersondenmikroskops zum Ermitteln von Oberflächeninformation hinsichtlich eines Probekörpers mittels rasternden Abtastens einer Oberfläche des Probekörpers mittels der Messsonde aufweisen.

10 Ferner kann bei einem Ausführungsbeispiel das Verfahren nach dem Ermitteln der Oberflächeninformation des Probekörpers ein Trennen des Transportmoduls samt Messsonde von dem Rastersondenmikroskop aufweisen, und ein

Wiederankoppeln des Transportmoduls samt Messsonde an die

Handhabungsvorrichtung. Danach kann bei dem Verfahren die Messsonde an

15 dem Transportmodul in der Handhabungsvorrichtung von der Zielfläche entlang der Führungsstruktur zurück zu der Aufnahme­fläche gefahren werden. Dort kann ein Benutzer die Messsonde von der Aufnahme­fläche (zum Beispiel mit einer Pinzette) abnehmen. Auf diese Weise kann die Handhabungsvorrichtung sowohl die Montage der Messsonde an dem Rastersondenmikroskop als auch die

20 Demontage der Messsonde von dem Rastersondenmikroskop unterstützen.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann das

Rastersondenmikroskop als Rasterkraftmikroskop ausgebildet sein. Das

Rasterkraftmikroskop, auch atomares Kraftmikroskop oder Atomkraftmikroskop (AFM) genannt, ist ein spezielles Rastersondenmikroskop. Es dient als Werkzeug

25 in der Oberflächenchemie und fungiert zur mechanischen Abtastung von Oberflächen und der Messung atomarer Kräfte auf der Nanometerskala.

Im Folgenden werden exemplarische Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung mit Verweis auf die folgenden Figuren detailliert

30 beschrieben.

Figur 1 zeigt eine Anordnung mit einer Handhabungsvorrichtung zum Handhaben einer Messsonde und einem zugehörigen Rastersondenmikroskop gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

5 Figur 2 zeigt eine Seitenansicht einer Messsonde mit einem Sondenkörper, einer Sondenspitze und einem dazwischen angeordneten Ausleger gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Figur 3 zeigt eine Draufsicht der Messsonde gemäß Figur 2.

10 Figur 4 zeigt eine schematische Seitenansicht einer Handhabungsvorrichtung gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Figur 4A zeigt ein Detail A gemäß Figur 4.

Figur 4B zeigt ein Detail A1 gemäß Figur 4A.

Figur 4C zeigt ein Detail A1 gemäß Figur 4A in einem gegenüber Figur 4B anderen Betriebszustand der Handhabungsvorrichtung.

15 Figur 5 zeigt einen Teilbereich einer Handhabungsvorrichtung gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Figur 6 zeigt einen anderen Teilbereich einer Handhabungsvorrichtung gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Figur 7 zeigt ein Detail von Figur 6.

20 Figur 8 zeigt einen Teilbereich einer Handhabungsvorrichtung gemäß einem anderen exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Figur 9 zeigt einen Querschnitt einer Führungsstruktur einer Handhabungsvorrichtung gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

25 Figur 10 zeigt eine Draufsicht der Führungsstruktur gemäß Figur 9.

Figur 11 zeigt eine Seitenansicht einer Führungsstruktur mit darin geführter Messsonde einer Handhabungsvorrichtung gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

30 Figur 12 zeigt eine Draufsicht der Führungsstruktur samt Messsonde gemäß Figur 11.

Figur 13 zeigt eine Aufnahme­fläche samt Messsonde und eine Abdeckeinrichtung einer Handhabungsvorrichtung gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

5 9. Figur 14 zeigt einen Teilbereich der Handhabungsvorrichtung gemäß Figur

Figur 15 zeigt einen Kraftbegrenzungsmechanismus einer Betätigungseinrichtung einer Handhabungsvorrichtung gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

10 Figur 16 zeigt eine Handhabungsvorrichtung gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einem Schutzmechanismus gegen Zerstörung einer Messsonde.

15 Figur 17 bis Figur 20 zeigen eine Handhabungsvorrichtung gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung in unterschiedlichen Betriebszuständen während Durchführung eines Verfahrens zum Handhaben einer Messsonde eines Rastersondenmikroskops mittels der gezeigten Handhabungsvorrichtung.

Gleiche oder ähnliche Komponenten in unterschiedlichen Figuren sind mit gleichen Bezugsziffern versehen.

20 Bevor beziehungsweise auf die Figuren exemplarische Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben werden, sollen noch einige allgemeine Aspekte der Erfindung und der zugrundeliegenden Technologien erläutert werden:

25 Für eine Messung mit einem Rastersondenmikroskop ist herkömmlich eine Messsonde (zum Beispiel ein Cantilever-Chip in der Größe von 1,6 mm x 3,4 mm) mittels einer Pinzette in eine dafür vorgesehene Messsondenaufnahme (auch als Cantilever-Halterung bezeichnet) einzuführen. Somit stellt der Tausch einer Messsonde aus Anwendersicht eine feinmotorische Herausforderung dar, die bei unsachgemäßer Handhabung zu einer Beschädigung der Messsonde und/oder der Messsondenaufnahme führen kann.

Herkömmlich existiert nur eine aufwändige und mäßig intuitive Prozedur zum Wechseln einer Messsonde, die aufgrund der feinmotorischen Manipulation mittels Pinzette für unerfahrene Benutzer mit hoher Fehleranfälligkeit verbunden ist. Dabei besteht die Gefahr, dass die Messsonde und/oder Teile einer Scanner-

5 Einheit eines Rastersondenmikroskops beschädigt werden können.

Gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung ist eine Handhabungsvorrichtung für einen kontrollierten Messsondentausch geschaffen. Insbesondere ist damit ein vereinfachter, sicherer, reproduzierbarer und gleichzeitig schneller Messsondentausch unter Zuhilfenahme eines Werkzeugs als

10 Handhabungsvorrichtung für ein kontrolliertes Laden und Entladen von Messsonden ermöglicht.

Figur 1 zeigt eine Anordnung 71 mit einer Handhabungsvorrichtung 50 zum Handhaben einer Messsonde 12 und einem zugehörigen Rastersondenmikroskop 81 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel

15 der Erfindung. Insbesondere veranschaulicht Figur 1 ein Rastersondenmikroskop 81 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung, das als Rasterkraftmikroskop (atomic force microscope, AFM) ausgebildet ist.

Bei dem Rastersondenmikroskop 81 wird ein Cantileverausschlag, d.h. eine Positionsveränderung bzw. eine Formänderung einer in Figur 2 und Figur 3 näher

20 gezeigten Messsonde 12 mithilfe einer optischen Sensorik detektiert. Die Messsonde 12 weist einen Sondenkörper 51 und eine mittels eines Auslegers 52 mit dem Sondenkörper 51 verbundene Sondenspitze 85 auf. Dabei sendet eine elektromagnetische Strahlungsquelle 82 (zum Beispiel eine Laserquelle) einen elektromagnetischen Primärstrahl 93 (insbesondere einen Lichtstrahl) über eine

25 Fokussierungseinrichtung 92 (die als Anordnung von einer oder mehreren optischen Linsen ausgebildet sein kann) auf die Messsonde 12. Der von der Messsonde 12 reflektierte elektromagnetische Sekundärstrahl 83 propagiert zu einem foto- und positionssensitiven Detektor 90 (insbesondere kann der elektromagnetische Sekundärstrahl 83 mittels eines Umlenkspiegels 94 oder

30 eines anderen optischen Umlenkelements auf den positionssensitiven Detektor

90 umgelenkt werden). Wird die Messsonde 12 über einen Aktor 84 (der eine Positionsveränderung in der gemäß Figur 1 vertikalen z-Richtung bewerkstelligen kann) in Bewegung gebracht und/oder verändert die Messsonde 12 ihre Form, kann eine Veränderung des Laserlichts am positionssensitiven Detektor 90

5 detektiert werden. Je nach Wechselwirkung der Messspitze 85 (auch als Cantileverspitze bezeichnet) der Messsonde 12 mit einem zu untersuchenden bzw. zu charakterisierenden Probenkörper 86 wird der Ausschlag der Messsonde 12 variieren und ein dazugehöriger Bereich am Detektor 90 vom

10 elektromagnetischen Sekundärstrahl 83 getroffen. Das Detektorsignal kann dann in einer Auswerteeinheit 88 verarbeitet werden. Das entstehende hochauflösende Bild der Oberfläche des Probenkörpers 86 kann dann mittels einer

Anzeigevorrichtung 89 dargestellt werden. Eine Oberfläche des Probenkörpers 86 kann mit der Messspitze 85 (d.h. einer empfindlichen Spitze der Messsonde 12) abgerastert werden. Ein Probentisch 97 ist in der gemäß Figur 1 horizontalen

15 Ebene (d.h. in einer zu der z-Achse orthogonalen x-Richtung und y-Richtung) mittels Aktoren 98 bewegbar. Das Rastersondenmikroskop 81 dient somit zum Ermitteln von Oberflächeninformation hinsichtlich des Probekörpers 86 mittels rasternden Abtastens einer Oberfläche des Probekörpers 86 mittels der Messsonde 12.

20 Die in Figur 1 dargestellte Anordnung 71 weist abgesehen von dem Rastersondenmikroskop 81 noch die Handhabungsvorrichtung 50 zum Handhaben der Messsonde 12 auf. Die Handhabungsvorrichtung 50 dient als hier von dem Rastersondenmikroskop 81 separat vorgesehenes Werkzeug, um einem Benutzer die Handhabung und Montage der Messsonde 12 an dem

25 Rastersondenmikroskop 81 zu ermöglichen. Hierfür wird, wie bezugnehmend auf Figur 4 bis Figur 20 beschrieben wird, die Messsonde 12 zunächst mittels der Handhabungsvorrichtung 50 an einem Transportmodul 1 befestigt. Dann wird das Transportmodul 1 samt Messsonde 12 von der Handhabungsvorrichtung 50 abgenommen und an das Rastersondenmikroskop 81 angekoppelt. Letzteres ist

30 schematisch in Figur 1 dargestellt: Das Rastersondenmikroskop 81 weist eine

Transportmodul-Schnittstelle 72 zum Ankoppeln des Transportmoduls 1 auf, so dass nach Ankoppeln des Transportmoduls 1 an die Transportmodul-Schnittstelle 72 des Rastersondenmikroskops 81 die Messsonde 12 an dem Transportmodul 1 betriebsbereit zum rasternden Abtasten der Oberfläche des Probekörpers 86 ist.

5 **Figur 2** zeigt eine Seitenansicht der Messsonde 12 mit seinem plättchenförmigen Sondenkörper 51, seiner punktförmigen Sondenspitze 85 und seinem dazwischen angeordneten und als flexibler Arm ausgebildeten Ausleger 52. **Figur 3** zeigt eine Draufsicht der Messsonde 12 gemäß Figur 2. In Figur 2 und Figur 3 sind eine Oberseite 100, eine Unterseite 101, eine Vorderseite 102, 10 eine Rückseite 103 sowie Seitenflächen 104 der Messsonde 12 dargestellt. Die Vorderseite 102 umfasst die auf der rechten Seite der Messsonde 12 dargestellte vertikale Fläche 133 sowie die beiden angrenzenden Fasen 135, 137. Die Rückseite 103 umfasst die auf der linken Seite der Messsonde 12 dargestellte vertikale Fläche 143 sowie die beiden angrenzenden Fasen 145, 147. Der 15 Sondenkörper 51 ist ein flächiges Plättchen mit einer Länge und einer Breite im Bereich von typischerweise wenigen Millimetern. Der Ausleger 52 hat eine Breite von zum Beispiel wenigen Mikrometern. Die Sondenspitze 85 hat Dimensionen, die im Bereich von jenen des Auslegers 52 oder darunter liegen.

Figur 4 zeigt eine schematische Seitenansicht einer 20 Handhabungsvorrichtung 50 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung. **Figur 4A** zeigt ein Detail A gemäß Figur 4. **Figur 4B** zeigt ein Detail A1 gemäß Figur 4A. **Figur 4C** zeigt das Detail A1 gemäß Figur 4A in einem gegenüber Figur 4B anderen Betriebszustand der Handhabungsvorrichtung 50. Figur 4C illustriert die Situation beim Entnehmen der zuvor an dem 25 Transportmodul 1 angeordneten Messsonde 12 aus dem Transportmodul 1, bei dem eine Krafteinwirkung auf die Messsonde 12 an einer Position 106 erfolgt. Dagegen zeigt Figur 4B die Situation beim Einsetzen der Messsonde 12 in das Transportmodul 1, bei dem eine Krafteinwirkung auf die Messsonde 12 an einer Position 105 erfolgt. **Figur 5** zeigt einen Teilbereich des in Figur 4A dargestellten 30 Details A. **Figur 6** zeigt einen anderen Teilbereich der Handhabungsvorrichtung

50. **Figur 7** zeigt ein Detail von Figur 6 in zwei verschiedenen Betriebszuständen eines Abführschiebers 63 (strichliert und mit durchgezogenen Linien). **Figur 8** zeigt einen Teilbereich einer Handhabungsvorrichtung 50 gemäß einem anderen exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung und veranschaulicht bei manueller Bedienung eine Kraftübertragung von einem Benutzer auf die Handhabungsvorrichtung 50. **Figur 9** zeigt einen Querschnitt einer Führungsstruktur 55 einer Handhabungsvorrichtung 50 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung. **Figur 10** zeigt eine Draufsicht der Führungsstruktur 55 gemäß Figur 9. **Figur 11** zeigt eine Seitenansicht einer Führungsstruktur 55 mit darin geführter Messsonde 12 einer Handhabungsvorrichtung 50 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung. **Figur 12** zeigt eine Draufsicht der Führungsstruktur 55 samt Messsonde 12 gemäß Figur 11. **Figur 13** zeigt eine Aufnahme­fläche 54 samt Messsonde 12 und eine Abdeckeinrichtung 58 einer Handhabungsvorrichtung 50 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung. **Figur 14** zeigt einen Teilbereich der Handhabungsvorrichtung 50 gemäß Figur 8. **Figur 15** veranschaulicht einen Kraftbegrenzungsmechanismus 65 einer Betätigungseinrichtung 6 einer Handhabungsvorrichtung 50 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung. **Figur 16** zeigt einen Teilbereich einer Handhabungsvorrichtung 50 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einem Sperrmechanismus 70, der die Messsonde 12 vor einer mechanischen Beschädigung oder gegen Zerstörung schützt.

Die überblicksmäßig in Figur 4 dargestellte Handhabungsvorrichtung 50 dient zum Handhaben der in Figur 2 und Figur 3 gezeigten Messsonde 12 des in Figur 1 illustrierten Rastersondenmikroskops 81

Wie am besten in Figur 13 zu erkennen ist, weist die Handhabungsvorrichtung 50 eine Aufnahmeeinrichtung 53 zum Aufnehmen der Messsonde 12 an einer Aufnahme­fläche 54 auf. Ein Benutzer legt (zum Beispiel mittels einer nicht dargestellten Pinzette) die Messsonde 12 auf die

Aufnahme­fläche 54 auf und deckt diese danach mit einer deckelartigen Abdeckeinrichtung 58 zum Aufsetzen auf die Aufnahme­einrichtung 53 ab.

Mittels einer in Figur 9 bis Figur 12 dargestellten Führungsstruktur 55 kann die Messsonde 12 von der Aufnahme­fläche 54 zu einer in Figur 6 und Figur 7 dargestellten Zielfläche 57 eines Transportmoduls 1 geführt werden. Bei der geführten Bewegung der Messsonde 12 entlang der Führungsstruktur 55 kann der Sondenkörper 51 umfänglich von Wandungen 60 und Schiebern 62, 63 begrenzt sein und können der Ausleger 52 und die Sondenspitze 85 berührungsfrei gelagert sein. Dadurch ist eine präzise und sichere Führung mit einer beschädigungsfreien Handhabung der Messsonde 12 kombiniert. Zu diesem Zweck weist die Führungsstruktur 55 einen langgestreckten Kanal 59 auf, der zumindest teilweise als Teil einer Rampe 3 ausgebildet sein kann und sich zwischen der Aufnahme­fläche 54 und der Zielfläche 57 erstreckt. Während ihres Transports zwischen der Aufnahme­fläche 54 und der Zielfläche 57 wird die Messsonde 12 entlang des Kanals 59 definiert geführt. Figur 9 bis Figur 12 zeigen, wie der Kanal 59 mittels oberseitiger, unterseitiger und seitlicher Wandungen 60 abgegrenzt ist. Die Messsonde 12 ist in dem Kanal 59 mit einem gewissen Spiel bzw. Abstand zu den Wandungen 60 angeordnet und entlang dessen Erstreckung dennoch präzise führbar. Figur 9 zeigt, dass die oberseitige Wandung 60 eine Freistellung 61 zum berührungsfreien Freistellen des Auslegers 52 und der Sondenspitze 85 aufweist, um diese während der Führung entlang des Kanals 59 vor einer mechanischen Beschädigung zu schützen. Mit der Kanalgeometrie entsprechend Figur 9 bis Figur 12 kann die Messsonde 12 vollständig unter Kontrolle gehalten werden, ohne dass die Notwendigkeit einer höchsten Genauigkeit hinsichtlich der Führung besteht.

Eine am besten in Figur 11 und Figur 12 zu erkennende Transporteinrichtung 56 dient zum Transportieren der Messsonde 12 von der Aufnahme­fläche 54 entlang der Führungsstruktur 55 zu der Zielfläche 57 bzw. zurück von der Zielfläche 57 zu der Aufnahme­fläche 54.

Um den Hintransport von der Aufnahme­fläche 54 zu der Zielfläche 57 zu bewerkstelligen, weist die Transporteinrichtung 56 einen Zuführschieber 62 zum Schieben der Messsonde 12 von der Aufnahme­fläche 54 zu der Zielfläche 57 auf (siehe Figur 4A bis Figur 4C sowie Figur 11 und Figur 12). Eine entsprechende Schieberichtung des Zuführschiebers 62 ist in Figur 4B und Figur 12 mit Bezugszeichen 107 dargestellt. Mit Vorteil weist der Zuführschieber 62 eine in Figur 12 zu erkennende Freistellung 61 zum berührungsfreien Freistellen des Auslegers 52 und der Sondenspitze 85 auf. Während der Zuführschieber 62 die Messsonde 12 in Schieberichtung 107 zu der Zielfläche 57 schiebt, greift er an der Vorderseite 102 der Messsonde 12 an. Währenddessen wird weder der Ausleger 52 noch die Sondenspitze 85 von dem Zuführschieber 62 berührt, da beim Schieben beide in der Freistellung 61 beabstandet zu dem Zuführschieber 62 verbleiben. Diese Beabstandung bleibt während der gesamten Verschiebung der Messsonde 12 mittels des Zuführschiebers 62 von der Aufnahme­fläche 54 zu der Zielfläche 57 aufrechterhalten.

Um das Schieben bzw. Ziehen der Messsonde 12 von der Zielfläche 57 zurück zu der Aufnahme­fläche 54 zu bewerkstelligen, weist die Transporteinrichtung 56 einen in Figur 4A bis Figur 4C, Figur 6, Figur 7 sowie Figur 11 und Figur 12 gezeigten Abführschieber 63 auf. Der Abführschieber 63 kann als Festkörpergelenk ausgebildet sein, das im Betrieb mit Vorteil nur eine geringe Kraft auf die Messsonde 12 ausübt und daher eine Beschädigung derselben zuverlässig vermeidet. Eine entsprechende (zu Schieberichtung 107 alternative und entgegengesetzte) Schieberichtung des Abführschiebers 63 ist in Figur 4C und Figur 12 mit Bezugszeichen 108 dargestellt. Der Abführschieber 63 ist zum Einwirken lediglich auf den Sondenkörper 51 der Messsonde 12 ausgebildet und greift hierfür ausschließlich an der Rückseite 103 des Sondenkörpers 51 an. Anschaulich zieht oder schleppt der Abführschieber 63 die Messsonde 12 von der Zielfläche 57 zurück zu der Aufnahme­fläche 54. Mit Vorteil kann der Abführschieber 63 als Federzunge ausgebildet werden. Hierfür weist der Abführschieber 63 einen beim Verschieben auf die Messsonde 12 einwirkenden

Haken 5' und eine mit dem Haken 5' wirkgekoppelte und beim Verschieben in eine Vertiefung 64 eintauchende Freigabenase 5'' auf. Dies ist am besten in Figur 7 zu erkennen. Erreicht die Messsonde 12 die Aufnahme­fläche 54 infolge des Verschiebens in Schieberichtung 108 wird die Freigabenase 5'' aus der Vertiefung 64 herausgeführt, wodurch der Haken 5' zwangsläufig die Messsonde 12 freigibt. Der Abführschieber 63 ist in einer Erstreckungsrichtung senkrecht zu einer Schieberichtung 107, 108 schmaler ausgebildet als der Zuführschieber 62, siehe Figur 12.

Eine Betätigungseinrichtung 6 der Handhabungsvorrichtung 50 dient der Betätigung des Abführschiebers 63. Durch Bewegen eines Schlittens 4 wird die Transporteinrichtung 56 (genauer gesagt ihrer Schieber 62, 63) durch einen Benutzer bewegt. Wie in Figur 8 und Figur 15 zu erkennen ist, kann die Betätigungseinrichtung 6 einen Kraftbegrenzungsmechanismus 65 zum Begrenzen einer von einem Benutzer auf die Betätigungseinrichtung 6 ausgeübten Kraft derart aufweisen, dass eine auf die Transporteinrichtung 56 einwirkende Kraft einen vorgebbaren Schwellwert nicht überschreitet. Mittels der Betätigungseinrichtung 6 kann insbesondere der Abführschieber 63 betätigt werden. Somit wirkt ein Benutzer mittels der Betätigungseinrichtung 6 auch auf die empfindliche Messsonde 12 ein. Um eine unbeabsichtigte und unerwünschte übermäßige Kraftübertragung von dem Benutzer auf die Messsonde 12 mechanisch zu verunmöglichen, kann zum Beispiel mittels eines in Figur 8 und Figur 15 schematisch dargestellten Federglieds samt Kupplung eine entsprechende Kraftentkopplung bei übermäßigen Betätigungs­kräften implementiert werden.

Die Handhabungsvorrichtung 50 weist darüber hinaus eine am besten in Figur 5 zu erkennende Fixiereinrichtung 66 zum selektiven Fixieren der Messsonde 12 an der Zielfläche 57 auf, wie im Weiteren näher beschrieben wird. Die Fixiereinrichtung 66 enthält eine unterseitige erste Fixierkomponente 67 im Bereich von oder in Wirkverbindung mit der Zielfläche 57. Die erste Fixierkomponente 67 kann als Teil des Transportmoduls 1 ausgebildet sein. Eine

oberseitige zweite Fixierkomponente 68 kann als Teil von Führungsteil 7 ausgebildet sein, das (wie unten näher beschrieben) von dem Transportmodul 1 unter Verwendung eines Scharniers (siehe Bezugszeichen 8) abgeklappt werden kann oder – wie in Figur 4A gezeigt – an das Transportmodul 1 angeklappt werden kann. Somit sind die beiden Fixierkomponenten 67, 68 gemeinsam und abhängig von dem Klappzustand des Führungsteils 7 zum Umschalten zwischen einem an der Zielfläche 57 fixierten Zustand der Messsonde 12 und einem von der Zielfläche 57 gelösten Zustand der Messsonde 12 (siehe Figur 5) selektiv zu der Zielfläche 57 in Bezug auf einander herانبewegbar oder von der Zielfläche 57 wegbewegbar ausgebildet. Somit ist die Fixiereinrichtung 66 eingerichtet, mittels Heranbewegens der zweiten Fixierkomponente 68 den von der Zielfläche 57 gelösten Zustand der Messsonde 12 einzuschalten bzw. mittels Wegbewegens der zweiten Fixierkomponente 68 den an der Zielfläche 57 fixierten Zustand der Messsonde 12 einzuschalten. Zu diesem Zweck weist die zweite Fixierkomponente 68 der Fixiereinrichtung 66 eine Masterkrafteinrichtung 11 zum selektiven Ausüben einer magnetischen Masterkraft auf einen Fixiermechanismus der ersten Fixierkomponente 67 auf, der durch die Komponenten 15, 16, 17 gebildet ist. Somit ist der Fixiermechanismus 15, 16, 17 mittels der Masterkrafteinrichtung 11 zum Lösen und/oder Fixieren der an die Zielfläche 57 transportierten Messsonde 12 betätigbar. Der Fixiermechanismus 15, 16, 17 weist zwei Magnelemente 16, 17 auf, deren einander abstoßende magnetische Wechselwirkungskraft ausgebildet ist, die an die Zielfläche 57 transportierte Messsonde 12 klemmend zu fixieren. Die Fixiereinrichtung 66 weist zudem ein kugelförmiges Haltekraftverstärkungselement 15 mit sphärisch gekrümmter Haftkraftübertragungsfläche auf, das in einem an die Zielfläche 57 transportierten Zustand der Messsonde 12 mittels der Haftkraftübertragungsfläche punktförmig direkt auf die Messsonde 12 klemmend einwirkt. Ferner ist gemäß Figur 4A und Figur 5 eine oberseitig von der Zielfläche 57 begrenzte Einführtasche 69 vorgesehen, in welche die Messsonde 12 eingeführt ist, wenn die Messsonde 12 auf der Zielfläche 57 aufliegt.

Der Fixiermechanismus 15, 16, 17 weist zwei hier als Permanentmagnete (alternativ als Elektromagnete) ausgebildete Magnelemente 16, 17 auf, die in einem Aufnahmehohlraum angeordnet sind. Ein Nordpol des jeweiligen Magnelements 16, 17 ist in den Figuren mit „N“ bezeichnet, wohingegen ein Südpol des jeweiligen Magnelements 16, 17 in den Figuren mit „S“ bezeichnet ist. Die zwei Magnelemente 16, 17 sind gemäß Figur 5 in derselben der beiden einander gegenüberliegenden Fixierkomponenten 67, 68 angeordnet, nämlich in der Fixierkomponente 67. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist die magnetische Wechselwirkungskraft zwischen den Magnelementen 16, 17 so ausgebildet, dass die in die Einführtasche 69 eingeführte Messsonde 12 in der Einführtasche 69 durch diese magnetische Wechselwirkungskraft in Abwesenheit einer Masterkraft klemmend fixiert wird (nicht gezeigt). Wie den Bezeichnungen S bzw. N in Figur 5 zu entnehmen ist, stoßen die beiden Magnelemente 16, 17 einander ab. Aufgrund dieser abstoßenden magnetischen Wechselwirkungskraft wirken die Magnelemente 16, 17 so auf die in die Einführtasche 69 eingeführte Messsonde 12 ein, dass diese in der Einführtasche 69 klemmend fixiert wird. Das Magnelement 17 ist unbeweglich in der Fixierkomponente 67 gelagert, zum Beispiel dort verklebt. Das Magnelement 16 hingegen ist beweglich in der Fixierkomponente 67 gelagert. Unter dem Einfluss der abstoßenden Magnetkraft wird daher das Magnelement 16 in Richtung des Aufnahmeschachts der Einführtasche 69 gedrückt und übt somit eine fixierende Klemmkraft auf die Messsonde 12 aus. Vorteilhaft weist die Einführtasche 69 zusätzlich ein allerdings optionales und in dem gezeigten Ausführungsbeispiel sphärisches bzw. kugelförmiges Haltekraftverstärkungselement 15 auf. Das Haftkraftverstärkungselement 15 wirkt als Zwischenglied bzw. Kraftüberträger zwischen dem Magnelement 16 und der in den Aufnahmeschacht eingeführten Messsonde 12 und drückt somit in einem in die Einführtasche 69 eingeführten Zustand der Messsonde 12 mit einer sphärisch gekrümmten Kontaktfläche direkt auf die Messsonde 12. Die Messsonde 12 wird dadurch annähernd punktförmig mit einer starken Klemmkraft beaufschlagt.

Gemäß Figur 5 erfolgt also eine direkte magnetische Klemmung unter Einsatz einer abstoßenden magnetischen Kraft zwischen den Magnetelementen 16, 17. Bei dieser Ausführungsform wird die Messsonde 12 bzw. der Cantilever-Chip ebenfalls zwischen einem Kontaktblech 13 und dem

- 5 Haftkraftverstärkungselement 15 geklemmt. Benachbart dem beweglichen Magnetelement 16 wird das fixe Magnetelement 17 angebracht, wobei die Magnetelemente 16, 17 relativ zueinander so orientiert sind, dass sich die beiden Magnetelemente 16, 17 abstoßen.

- Die Transporteinrichtung 56 und die Fixiereinrichtung 66 können zum
10 Zusammenwirken miteinander derart eingerichtet sein, dass die Messsonde 12 zunächst an die Zielfläche 57 herantransportiert wird und beim Fixieren an die Zielfläche 57 angedrückt wird. Genauer gesagt kann mittels der Transporteinrichtung 56 die Messsonde 12 von der Aufnahme­fläche 54 bis in den Bereich der Zielfläche 57 herangefahren werden, sodass die Messsonde 12, wie
15 in Figur 5 gezeigt, im Bereich der Zielfläche 57 zu liegen kommt, allerdings im gezeigten Ausführungsbeispiel noch ohne Berührkontakt. Ein klemmendes Berühren der Messsonde 12 an der Zielfläche 57 an dem Kontaktblech 13 kann dann ausgelöst werden, indem die Fixiereinrichtung 66 durch Heranfahren des Haftkraftverstärkungselements 15 an die Messsonde 12 aktiviert wird.

- 20 Gelöst wird die Klemmung der Messsonde 12 zwischen dem Haftkraftverstärkungselement 15 und dem Kontaktblech 13, indem dem Feld des fixen Magnetelements 17 ein dazu entgegengesetzt orientiertes Magnetfeld aufgeprägt wird, welches das bewegliche Magnetelement 16 von der Messsonde 12 abstößt und die Klemmkraft auf ein vernachlässigbares Maß reduziert. Bei
25 dem gezeigten Ausführungsbeispiel wird dies durch die räumlich bewegliche und ebenfalls als Permanentmagnet ausgebildete Masterkrafteinrichtung 11 bewerkstelligt, die den Magnetelementen 16, 17 angenähert werden kann, um die Klemmung lösen, oder die von den Magnetelementen 16, 17 entfernt werden kann, um die Klemmung ungehindert auf die Messsonde 12 wirken zu lassen.

Das Magnetfeld der Masterkrafteinrichtung 11 kann dabei in vorteilhafter Weise stärker sein als das Magnetfeld der Magnelemente 16, 17.

Während das Führungsteil 7 an das Transportmodul 1 angeklappt ist, um die Messsonde 12 zwischen der Aufnahme­fläche 54 und der Zielfläche 57 verschieben zu können, bleibt die Messsonde 12 also an der Fixiereinrichtung 66 ungeklemmt und kann frei verschoben werden. Soll hingegen die an die Zielfläche 57 geschobene Messsonde 12 gemeinsam mit dem Transportmodul 1 von der Handhabungsvorrichtung 50 entnommen werden und zu dem Rastersondenmikroskop 81 transportiert werden, braucht bloß das Führungsteil 7 abgeklappt zu werden, wodurch die Messsonde 12 für den Transport zum Rastersondenmikroskop 81 gesichert mittels der ersten Fixierkomponente 67 der Fixiereinrichtung 66 verklemmt wird.

Wie am besten in Figur 4 und Figur 4A zu erkennen ist, weist die Handhabungsvorrichtung 50 das abnehmbare und die Zielfläche 57 aufweisende Transportmodul 1 auf. Das Transportmodul 1 kann samt einer von der Aufnahme­fläche 54 zu der Zielfläche 57 geführt transportierten Messsonde 12 vom Rest der Handhabungsvorrichtung 50 abgetrennt werden und zum Rastersondenmikroskop 81 transportiert werden (siehe Figur 1).

Die in Figur 4 und Figur 4A dargestellte längsverschiebbare (siehe Doppelpfeil 109) Rampe 3 und das in Figur 4 und Figur 4A gezeigte und schwenkbare (siehe Drehpfeil 110) Führungsteil 7 sind zum in Eingriff nehmen des Transportmoduls 1 an das Transportmodul 1 heranbewegbar. Dieser Betriebszustand ist in Figur 4 und Figur 4A gezeigt. Wird hingegen das Führungsteil 7 vom Transportmodul 1 mittels Umschwenkens gemäß Drehpfeil 110 abgeklappt und wird die Rampe 3 vom Transportmodul 1 gemäß Doppelpfeil 109 seitlich weggeschoben, wird das Transportmodul 1 gegenüber dem Rest der Handhabungsvorrichtung 50 freigegeben und kann dann aus der Handhabungsvorrichtung 50 entnommen und an das Rastersondenmikroskop 81 angekoppelt werden. Die Messsonde 12 liegt nach einer solchen Freigabe dann auf der Zielfläche 57 des Transportmoduls 1, sodass ein Benutzer bequem das

gesamte Transportmodul 1 samt Messsonde 12 zu dem Rastersondenmikroskop 81 befördern und dort betriebsbereit montieren kann. Das Handhaben kleiner filigraner Teile durch den Benutzer wird dadurch entbehrlich.

Anschaulich ist die Aufnahme­fläche 54 bei in Eingriff nehmen des
5 Transportmoduls 1 zwischen der Rampe 3 und dem Führungsteil 7 angeordnet.
Dagegen ist die Zielfläche 57 bei in Eingriff nehmen des Transportmoduls 1
zwischen dem Transportmodul 1 und dem Führungsteil 7 angeordnet (siehe Figur
5). Wie in Figur 4A und Figur 5 zu erkennen ist, ist die Zielfläche 57 gegenüber
einer horizontalen Ebene abfallend geneigt. In entsprechender Weise können die
10 Aufnahme­fläche 54 und/oder eine Führungsfläche, d.h. eine Bodenfläche von
Kanal 59, der Führungsstruktur 55 ebenfalls gegenüber einer horizontalen Ebene
zu der Einführtasche 69 hin abfallend geneigt sein. Dadurch kann sich die
Messsonde 12 beim Transportieren von der Aufnahme­fläche 54 in Richtung hin
zu der Zielfläche 57 entlang einer abfallenden Fläche abwärts bewegen, sodass
15 der Einbau der Messsonde 12 im Transportmodul 1 unter einem Winkel erfolgt,
der der endgültigen Lage der Messsonde 12 im Transportmodul 1 und in weiterer
Folge im Rastersondenmikroskop 81 entspricht.

In Figur 16 ist ein Sperrmechanismus 70 zum Verunmöglichen einer
unerwünschten Bewegung einer Komponente der Handhabungsvorrichtung 50
20 dargestellt, der teilweise in der Rampe 3 und teilweise in daran angrenzenden
Komponenten 4, 2 der Handhabungsvorrichtung 50 implementiert ist. Die durch
den Sperrmechanismus 70 verhinderte unerwünschte Bewegung ist eine solche,
die den Ausleger 52 und/oder die Sondenspitze 85 während einer Bewegung der
Rampe 3 relativ zu den angrenzenden Komponenten 4, 5 mit einer mechanischen
25 Belastung beaufschlagen würde.

Die Anordnung 71 gemäß Figur 1 kann wie folgt betrieben werden:

Zunächst kann die in das Rastersondenmikroskop 81 zu überführende
Messsonde 12 an der Aufnahme­fläche 54 im Bereich zwischen der Rampe 3 und
dem Führungsteil 7 der Handhabungsvorrichtung 50 platziert werden und durch

die Abdeckeinrichtung 58, die Teil des Führungsteils 7 sein kann, abgedeckt werden.

Dann kann die Messsonde 12 von der Aufnahme­fläche 54 entlang des Kanals 59 der Führungsstruktur 55 geführt in Richtung hin zu der Zielfläche 57 verschoben werden, was durch den Zuführschieber 62 bewerk­stelligt wird. Die Baugruppe aus Komponenten 4, 5, 6 wird dabei gemäß Figur 4 nach links verschoben. Dadurch wird die Messsonde 12 in die Einführtasche 69 eingeführt und befindet sich nun im Bereich zwischen dem Transportmodul 1 und dem Führungsteil 7.

Nachfolgend wird das Führungsteil 7 vom Transportmodul 1 abgeklappt, wodurch die Fixiereinrichtung 66 zum Fixieren der Messsonde 12 in der Einführtasche 69 aktiviert wird. Dann wird die Rampe 3 vom Transportmodul 1 weggefahren. Damit wird das Transportmodul 1 zum Entnehmen aus der Handhabungsvorrichtung 50 freigelegt.

Nun kann das Transportmodul 1 samt daran fixierter Messsonde 12 vom Rest der Handhabungsvorrichtung 50 abgenommen werden und an die Transportmodul-Schnittstelle 72 des Rastersondenmikroskops 81 angekoppelt werden. Nach diesem Ankoppeln kann das Rastersondenmikroskop 81 zum Ermitteln von Oberflächeninformation hinsichtlich eines Probekörpers 86 mittels rasternden Ab tastens einer Oberfläche des Probekörpers 86 mittels der Messsonde 12 betrieben werden. Nach Beendigung dieses Betriebs kann das Transportmodul 1 samt Messsonde 12 von dem Rastersondenmikroskop 81 wieder abgenommen werden. Danach kann das wieder abgenommene Transportmodul 1 samt daran noch fixierter Messsonde 12 zurück zu der Handhabungsvorrichtung 50 verbracht werden und zwischen der Rampe 3 und dem Führungsteil 7 abgesetzt werden.

Nachfolgend wird die Rampe 3 zum Transportmodul 1 hingefahren und das Führungsteil 7 zum Transportmodul 1 unter simultaner Lösung der Klemmung der Messsonde 12 hingeklappt. Durch das Klappen wird nämlich die Fixiereinrichtung 66 zum Freigeben der zuvor fixierten Messsonde 12 in der

Einführtasche 69 getriggert und das Transportmodul 1 an der Handhabungsvorrichtung 50 montiert.

Nun kann die Baugruppe aus den in Figur 1 mit Bezugszeichen 4, 5, 6 dargestellten Komponenten gemäß Figur 1 nach links bewegt werden. Durch
5 Betätigen der Betätigungseinrichtung 6 rastet der Haken 5' des Abführschiebers 63 an der Messsonde 12 ein. Danach kann die Baugruppe aus den in Figur 1 mit Bezugszeichen 4, 5, 6 dargestellten Komponenten gemäß Figur 1 nach rechts bewegt werden, wodurch der Haken 5' des Abführschiebers 63 die Messsonde 12 nach rechts schiebt oder schleppt. Erreicht die Messsonde 12 die Aufnahme-
10 fläche 54, so fährt die Freigabenase 5'' aus der Vertiefung 3' heraus, wodurch der Haken 5' die Messsonde 12 freigibt und im Bereich der Aufnahme- fläche 54 absetzt. Die Messsonde 12 befindet sich daher wieder an ihrer ursprünglichen Ausgangsposition im Bereich zwischen der Rampe 3 und dem Führungsteil 7 und kann von einem Benutzer zum Beispiel mit einer Pinzette oder dergleichen
15 einfach aus der Handhabungsvorrichtung 50 entnommen werden.

Im Weiteren werden Aufbau und Betrieb der Handhabungsvorrichtung 50 detaillierter beschrieben.

Der grundsätzliche Aufbau der Handhabungsvorrichtung 50 bzw. Cantilever-Wechselapparat ist in Figur 4 dargestellt. Das Cantilevermodul bzw.
20 Transportmodul 1 ist in eine Basisplatte 2 der Wechselapparat oder Handhabungsvorrichtung 50 eingeschoben. Auf dieser Basisplatte 2 sitzt die verschiebbar angeordnete Rampe 3, die mittels einer Doppeltastenmechanik 10, 10' in zwei Endlagen verriegelt werden kann. Die eine Endlage, die in der Figur nicht dargestellt ist, ist jene, bei der das Transportmodul 1 in die
25 Handhabungsvorrichtung 50 eingeschoben bzw. aus ihr entnommen werden kann. In der anderen, in Figur 5 dargestellten Endlage ist der Einbau bzw. die Entnahme der Messsonde 12 in bzw. aus dem Transportmodul 1 möglich. Die seitliche Führung der Rampe 3 wird mit einer einstellbaren Leiste 9 erreicht.

Auf der Oberseite der Rampe 3 befindet sich ebenfalls verschiebbar
30 angeordnet (siehe Doppelpfeil 112) der Schlitten 4, der die Federzunge 5 mit der

hier als Betätigungstaste ausgebildeten Betätigungseinrichtung 6 aufnimmt. Die Federzunge 5 dient der Entnahme der Messsonde 12 aus dem Transportmodul 1.

Das Führungsteil 7, das mit Hilfe eines Doppelscharniers 8 von der Arbeitsposition auf der Handhabungsvorrichtung 50 in die Position zur

5 Einbringung/Entnahme des Transportmoduls 1 geklappt werden kann, hat mehrere Funktionen, die in Figur 5 näher dargestellt sind. Zum einen wird beim Einklappen in die Arbeitsposition mit Hilfe eines oder mehrerer eingebauter Magneten der Masterkrafteinrichtung 11 die oben beschriebene Fixiereinrichtung 66 oder Klemmvorrichtung zum Klemmen der Messsonde 12 in der Einführtasche 10 69 betätigt, die im Wesentlichen aus dem Kontaktblech 13, einer Messsonden-Halterung 14, einer Andrückkugel als Haltekraftverstärkungselement 15 sowie den Magnetelementen 16, 17 gebildet ist. Mit anderen Worten: Beim Einklappen des Führungsteils 7 in die Arbeitsposition wird die Klemmvorrichtung derart betätigt, dass ein gelöster Zustand der Messsonde 12 eingeschaltet wird.

15 Eine obere Begrenzung des Kanals 59 zur Führung des Cantilever-Chips, d.h. der Messsonde 12, im Führungsteil 7 wird durch Bereiche 18 gebildet, wobei ein dort vorgesehener Nutbereich bzw. eine Freistellung 61 bewirkt, dass die empfindliche Sondenspitze 85 nicht in Berührung mit dem Führungsteil 7 kommt.

Eine weitere Funktion des Führungsteils 7 ist die Fixierung der Rampe 3 in 20 Arbeitsposition, d.h. die Rampe 3 kann bei eingeklapptem Führungsteil 7 nicht zurückgeschoben werden. Dadurch wird eine Beschädigung des Transportmoduls 1 bzw. der Messsonde 12 verhindert.

Figur 6 und Figur 7 zeigen die Anordnung der Bauteile, die dem Herausziehen des Cantilever-Chips bzw. der Messsonde 12 aus dem Cantilever- 25 Modul bzw. Transportmodul 1 dienen. Die Federzunge 5 ist drehbar im Schlitten 4 gelagert und kann mittels der Betätigungseinrichtung 6 bis auf Anschlag (nicht dargestellt) nach unten gedrückt werden. Zur komfortablen Bedienbarkeit ist die Taste mit einer Schnappscheibe 19 (siehe Figur 6) mechanisch gekoppelt. Auf diese Weise erhält ein Benutzer eine haptische und/oder akustische

Rückmeldung, wenn er die Taste der Betätigungseinrichtung 6 erfolgreich durchgedrückt hat.

Mit Vorteil besitzt die Federzunge 5 das Abführschiebers 63 an ihrer Unterseite einen nadelförmigen, biegsamen Fortsatz oder Haken 5', der an
5 seinem vorderen Ende als Schlepphaken ausgebildet ist und damit die Messsonde 12 an der Rückseite 103 greifen kann. Die sehr geringe Steifigkeit der Nadel hat zur Folge, dass bei gedrückter Taste der Betätigungseinrichtung 6 eine Maximalkraft von kleiner als 1N auf die insbesondere als Cantilever-Halterung bezeichnete Halterung 14 bzw. auf die Messsonde 12 wirkt und somit keine
10 Beschädigungen auftreten.

In Figur 7 ist die gedrückte und bereits eingehakte Position der Federzunge 5 strichliert dargestellt. Das Einhaken an der Messsonde 12 geschieht nach dem Drücken der Betätigungseinrichtung 6 automatisch, wenn Schlitten 4 von der vorderen Endposition weg bewegt wird. Gleichzeitig taucht
15 die Freigabenase 5'' der Federzunge 5 in eine Längsnut oder Vertiefung 3' des Messsonden-Kanals der Rampe 3 ein. Die Freigabenase 5'' dient dazu, dass beim weiteren Zurückziehen bzw. Ausfahren des Schlittens 4 die Messsonde 12 an einer definierten Wechsellposition ohne Loslassen der Taste der
20 der Schlitten 4 bis zu seinem hinteren Anschlag weiter bewegt wird. Die Freigabe der Messsonde 12 erfolgt durch das Anheben der biegsamen Nadel in Form des Hakens 5' auf Grund des Auslaufens der Freigabenase 5'' im Nutauslaufbereich der Vertiefung 3' der Rampe 3. Darüber hinaus ist die Geometrie des Hakens 5' an der Unterseite so konfiguriert, dass beim Einfahren des Schlittens 4 mit
25 versehentlich gedrückter Taste der Betätigungseinrichtung 6 keine Beschädigung der Halterung 14 bzw. des Kontaktbleches 13 eintritt. Die Schräge gleitet dabei unter Biegung des als elastische Nadel ausgebildeten Hakens 5' über die Kante der Halterung 14 bzw. des Kontaktbleches 13 hinweg.

Mit der beschriebenen Handhabungsvorrichtung 50 ist eine kontrollierte Führung der Messsonde 12 ermöglicht, sodass die Messsonde 12 während des Tausches nicht beschädigt wird.

Das Werkzeug in Form der Handhabungsvorrichtung 50 ermöglicht mit
5 Vorteil eine vorwiegend formschlüssige Führung für die Messsonde 12 in allen Raumrichtungen. In Kombination mit Freistellungen 61 (siehe Figur 9 und Figur 12), die ein Berühren des Auslegers 52 und der Sondenspitze 85 selbst bei Führung der Messsonde 12 im Kanal 59 mittels der Schieber 62, 63 verhindern, ist ein Klemmen oder Aufkleben auf einen Träger entbehrlich. Die Führung der
10 Messsonde 12 wird durch die Führungsstruktur 55 bewerkstelligt, die den Kanal 59 definiert, in dem die beiden Schieber 62, 63 der Transporteinrichtung 56 aufgenommen sind. Der Kanal 59 ist, wie in Figur 9 gezeigt, aus zwei Paar gegenüberliegender Führungsflächen gebildet, die einerseits die Seitenflächen und andererseits Unter- und Oberseite bilden (siehe Wandungen 60). Die
15 oberseitige Wandung 60 weist eine Freistellung 61 auf, die sicherstellt, dass der Ausleger 52 und die Sondenspitze 85 selbst nicht berührt werden können. Durch diese Gestaltung wird die Bewegungsfreiheit der Messsonde 12 im Wesentlichen auf eine Verschiebung in Längsrichtung des Kanals 59 beschränkt.

Der als vorderer Schieber ausgebildete Zuführschieber 62 berührt die
20 Messsonde 12 an der Vorderseite 102 und wird verwendet, um die Messsonde 12 in Längsrichtung des Kanals 59 zu verschieben. Wie schon die Führungsfläche an der Oberseite bzw. oberen Wandung 60 des Kanals 59 ist der Zuführschieber 62 in der Mitte mit Freistellung 61 versehen, um sicherzustellen, dass die Messsonde 12 berührt werden kann, ohne den Ausleger 52 samt Sondenspitze 85 selbst zu
25 beschädigen. Der vordere Schieber oder Zuführschieber 62 kommt zum Einsatz, wenn es darum geht, die Messsonde 12 in die Klemmvorrichtung, d.h. die Einführtasche 69 mit der dort wirkenden Fixiereinrichtung 66, einzusetzen.

Wenn die Messsonde 12 wieder aus dieser Klemmvorrichtung entnommen werden soll, wird der als hintere Schieber ausgebildete Abführschieber 63
30 benutzt. Dieser berührt die Messsonde 12 an der dem Ausleger 52 samt

Sondenspitze 85 abgewandten Seite der Messsonde 12. Der Abführschieber 63 kann mit Vorteil schmal in einer Richtung des Kanals 59 senkrecht zu einer jeweiligen Verschieberichtung 107, 108 gestaltet werden, da das Kontaktblech 13 in der Klemmvorrichtung mit einem komplett durchlaufenden Schlitz versehen ist, um dem Abführschieber 63 Platz zu bieten. Dieser Schlitz soll seinerseits möglichst schmal sein, um den Abführschieber 63 platzsparend führen zu können.

Die beiden Schieber 62, 63 begrenzen gemeinsam die Beweglichkeit des Sondenkörpers 51 in Längsrichtung des Kanals 59. Damit wird die Bewegungsfreiheit der Messsonde 12 bevorzugt auf rein formschlüssiger Basis so weit eingeschränkt, dass eine Berührung zwischen dem Ausleger 51 samt Sondenspitze 85 und umgebender Struktur unmöglich ist und die Messsonde 12 in einer Raumrichtung der Längsrichtung des Kanals 59 sicher und geführt bewegt werden kann.

Diesem Konzept folgend, wird die Messsonde 12 bei Verwendung der Handhabungsvorrichtung 50 auf einer Struktur in Form der Aufnahmefläche 54 aufgelegt, die als zumindest eine der Flächen des Kanals 59 gebildet ist. Danach wird der Kanal 59 mit der Abdeckeinrichtung 58, ähnlich einem Deckel, komplettiert. Anschließend wird die Messsonde 12 unter Verwendung des Zuführschiebers 63 in die Fixiereinrichtung 66 an der Einführtasche 69 eingesetzt. Die Fixiereinrichtung 66 ist in diesem Betriebszustand entriegelt.

Zum Entnehmen wird -vorzugsweise aber nicht zwingend- die Fixiereinrichtung 66 entriegelt und die Messsonde 12 mittels des Abführschiebers 63 in den Kanal 59 zurückgezogen. Nach Abnehmen der Abdeckeinrichtung 58 kann die Messsonde 12 entnommen werden.

Der jeweils nicht benötigte der beiden Schieber 62, 63 kann bevorzugt parallel zum gerade verwendeten Schieber 62, 63 mitbewegt werden, um der Messsonde 12 keinen Freiraum für eine unerwünschte Bewegung zu lassen.

Alternativ zu dem zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiel können einzelne Begrenzungsflächen bzw. Wandungen 60, die bei dem zuvor

beschriebenen Ausführungsbeispiel Teil des Kanals 59 bilden, auch Teil von einem oder beiden der Schieber 62, 63 sein. So ist beispielsweise in Figur 8 und Figur 14 ein Abführschieber 63 zu sehen, der auch die Führung der Oberseite der Messsonde 12 übernimmt.

5 Um Schäden an Klemmvorrichtung bzw. Fixiereinrichtung 66 einerseits und der Messsonde 12 andererseits zu unterbinden, kann zwischen dem vom Benutzer berührbaren Bedienelement (siehe Betätigungseinrichtung 6) und den Schiebern 62, 63 eine Kupplung implementiert werden, die nur Kräfte in unbedenklicher Größe (insbesondere nur Kräfte unterhalb eines vorgebbaren
10 Schwellwerts) überträgt. Anschaulich wird dann unabhängig von einer von einem Benutzer (siehe Finger 111) ausgeübten Kraft immer nur höchstens ein vorgegebener Maximalwert der Kraft übertragen, sodass keine Beschädigungen der Feinmechanik auftreten können. Diesbezüglich wird auf Figur 8 und Figur 15 Bezug genommen.

15 Im Weiteren wird eine Kompensierung von Toleranzen im mechanischen Design zwischen der Handhabungsvorrichtung 50 und einem Scanner des Rastersondenmikroskops 81 gemäß einer exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben.

 Um die Funktion der Handhabungsvorrichtung 50 als Cantilever-
20 Wechselapparatur in Kombination mit jedem Cantilever-Modul oder Transportmodul 1 zu gewährleisten, können sowohl bei der Handhabungsvorrichtung 50 als auch beim Transportmodul 1 eingeeengte Toleranzen sichergestellt werden.

 Bei an das Transportmodul 1 herangeschobener Rampe 3, d.h.
25 Handhabungsvorrichtung 50 im Arbeitszustand, soll sichergestellt sein, dass die Messsonde 12, ohne zu verkanten, vom Kanal 59 in der Rampe 3 in die Halterung 14 am Transportmodul 1 geschoben und von dort ohne Behinderung durch vorstehende Kanten, Flächen, etc. auch wieder herausgezogen werden kann.

Ein vorteilhaftes Merkmal in diesem Zusammenhang ist der verbleibende Spalt zwischen der Halterung 14 und der Rampe 3 beim Heranschieben der Rampe 3 an das Transportmodul 1 (vergleiche Figur 7). Bei einem zu großem Spalt besteht die Gefahr, dass sich die Messsonde 12 verkantet, was zu einer Beschädigung führen kann. Bleibt kein Spalt, dann kann die Rampe 3 das Transportmodul 1 beim Heranschieben gegebenenfalls beschädigen.

Aus diesen Gründen kann die Rampe 3 vorteilhaft mit einem einstellbaren, für den Anwender nicht sichtbaren bzw. dem Anwender nicht zugänglichen Anschlag 20, dargestellt in Figur 16, versehen, der mit Hilfe einer Justageeinheit im Zuge des Zusammenbaus der Handhabungsvorrichtung 50 einmalig eingestellt wird. Der verbleibende Spalt kann zum Beispiel eine Größe von etwa 0.1 mm aufweisen bzw. auf diese Größe eingestellt werden.

Die Querausrichtung des Transportmoduls 1 relativ zur Handhabungsvorrichtung 50 erfolgt durch Einschieben des Transportmoduls 1 entlang einer Schwalbenschwanzführung bis zum Anschlagen an einen hinteren Anschlag in Form der Leiste 9 an der Basisplatte 2. Die Leiste 9 übernimmt auch die exakte seitliche Führung der Rampe 3 beim Heranschieben an das Transportmodul 1.

Als weiteres vorteilhaftes Merkmal sind darüber hinaus Einlaufbereiche von Halterung 14 und Kanal 59 der Rampe 3 sowie des Führungsteils 7 mit entsprechenden Anfasungen versehen, die ein Verkanten der Messsonde 12 verhindern.

Nachfolgend wird ein, einen Anwender unterstützendes mechanisches Design der Handhabungsvorrichtung 50 mit einer Hilfestellung zur vereinfachten und reproduzierbaren Positionierung der Messsonde 12 mittels einer Pinzette oder einem anderen Hilfsmittel beschrieben. Die Wechselapparat in Form der Handhabungsvorrichtung 50 kann mit einem oder mehreren Merkmalen ausgestattet werden, die dem Anwender eine einfache und sichere Bedienung ermöglichen. In Figur 16 ist eines dieser Merkmale im Detail dargestellt.

Um die Messsonde 12 selbst und das Transportmodul 1 vor Beschädigung zu schützen, soll vermieden werden, die Rampe 3 nach hinten zu bewegen, wenn sich der Schlitten 4 in jener Position befindet, ab der - in Einschieberichtung gesehen - ein Eingriff der die Messsonde 12 bewegenden Teile Zuführschieber 62 bzw. Schiebenadel (nicht dargestellt in Figur 16) bzw. Federzunge 5 des Abführschiebers 63 stattfindet.

Eine entsprechende mechanische Sperre der Bewegung der Rampe 3 in Abhängigkeit von der Position des Schlittens 4 kann mit Hilfe von Arretierstiften 21, Druckstücken 22 und Federn 23 bewerkstelligt werden. Die Bewegung der Druckstücke 22 erfolgt über einen Kulissenbereich 4' des Schlittens 4 und bewirkt, dass der Arretierstift 21 in eine Bohrung 2' in der Basisplatte 2 eintaucht und damit die Rampe 3 fixiert.

Wird der Schlitten 4 von der in Figur 16 dargestellten Position nach vorne (d.h. gemäß Figur 16 nach links) geschoben und damit die Messsonde 12 in das Transportmodul 1 bewegt, so bleibt die Arretierung der Rampe 3 erhalten. Wird der Schlitten 4 in die entgegengesetzte Richtung bewegt (d.h. gemäß Figur 6 nach rechts), wobei die die Messsonde 12 bewegenden Teile nicht im Eingriff sind, so bewirkt die Kulissengeometrie des Kulissenbereichs 4' und die Kraft der Federn 23, dass der Arretierstift 21 aus der Bohrung 2' herausgedrückt und in weiterer Folge die Verschiebung der Rampe 3 in Richtung hinterer Endlage ermöglicht wird.

Ein weiteres Merkmal zum Schutz der Messsonde 12 und des Transportmoduls 1 besteht darin, dass das Transportmodul 1 nur in die Handhabungsvorrichtung 50 eingeschoben oder aus ihr entnommen werden kann, wenn sich die Rampe 3 in der hinteren Endlage befindet. Diese Eigenschaft kann einerseits durch die Formgebung der Oberseite des Transportmoduls 1 und andererseits durch die Geometrie der Unterseite jenes Bereichs der Rampe 3 bewirkt werden, der sich über dem Transportmodul 1 befindet (nicht dargestellt in der Figur).

Gemäß einer Ausgestaltung kann die Handhabungsvorrichtung 50 bzw. der Tauschapparat elektrisch, pneumatisch, etc. aktuiert, vorzugsweise motorisiert, werden. Die Handhabungsvorrichtung 50 kann separat oder als Erweiterungseinheit eines Rastersondenmikroskops 81 umgesetzt werden.

5 Figur 17 bis Figur 20 zeigen eine Handhabungsvorrichtung 50 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung in unterschiedlichen Betriebszuständen während Durchführung eines Verfahrens zum Handhaben einer Messsonde 12 eines Rastersondenmikroskops 81 mittels der gezeigten Handhabungsvorrichtung 50.

10 In **Figur 17** ist gezeigt, wie ein Benutzer das Führungsteil 7 abgeklappt und die Rampe 3 zurückgeschoben hat und das Transportmodul 1 in die Handhabungsvorrichtung 50 einsetzt.

15 In **Figur 18** ist gezeigt, wie ein Benutzer eine mit einer Pinzette 113 aufgenommene Messsonde 12 auf eine Aufnahmefläche 54 der Handhabungsvorrichtung 50 aufsetzt.

20 In **Figur 19** ist gezeigt, wie der Benutzer die Rampe 3 an das Transportmodul 1 herangeschoben hat und das Führungsteil 7 auf das Transportmodul 1 aufklappt. Nachfolgend kann der Schlitten 4 von rechts nach links und wieder zurückgefahren werden. Dadurch wird im Inneren der Handhabungsvorrichtung 50, wie oben genauer beschrieben, die Messsonde 12 mittels der Führungsstruktur 55 und der Transporteinrichtung 56 sowie der Fixiereinrichtung 66 zu der Zielfläche 57 auf dem Transportmodul 1 bewegt.

25 In **Figur 20** ist gezeigt, wie der Benutzer nachfolgend das Führungsteil 7 wieder abgeklappt und die Rampe 3 wieder von dem Transportmodul 1 weggefahren hat. Das Transportmodul 1 mit der daran klemmbefestigten Messsonde 12 kann nun als Ganzes aus der Handhabungsvorrichtung 50 entnommen werden und zu einem Rastersondenmikroskop 81 verbracht werden.

30 Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass „aufweisend“ keine anderen Elemente oder Schritte ausschließt und „eine“ oder „ein“ keine Vielzahl ausschließt. Ferner sei darauf hingewiesen, dass Merkmale oder Schritte, die mit

Verweis auf eines der obigen Ausführungsbeispiele beschrieben worden sind, auch in Kombination mit anderen Merkmalen oder Schritten anderer oben beschriebener Ausführungsbeispiele verwendet werden können. Bezugszeichen in den Ansprüchen sind nicht als Einschränkung anzusehen.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Handhabungsvorrichtung (50) zum Handhaben einer Messsonde (12) eines Rastersondenmikroskops (81), wobei die Messsonde (12) einen Sondenkörper (51) und eine mittels eines Auslegers (52) mit dem Sondenkörper (51) gekoppelte Sondenspitze (85) aufweist, wobei die Handhabungsvorrichtung (50) aufweist:
- 5
- eine Aufnahmeeinrichtung (53) zum Aufnehmen der Messsonde (12) an einer Aufnahmefläche (54);
- 10
- eine Führungsstruktur (55), in der die Messsonde (12) führbar ist und dabei der Sondenkörper (51) zumindest teilumfänglich begrenzt ist und der Ausleger (52) und die Sondenspitze (85) berührungsfrei gelagert sind;
- eine Transporteinrichtung (56) zum Transportieren der Messsonde (12) von der Aufnahmefläche (54) entlang der Führungsstruktur (55) zu einer
- 15
- Zielfläche (57).
2. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß Anspruch 1, aufweisend eine Abdeckeinrichtung (58) zum Aufsetzen auf die Aufnahmeeinrichtung (53) zum Abdecken der Messsonde (12).
- 20
3. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei die Führungsstruktur (55) einen Kanal (59) zumindest abschnittsweise zwischen der Aufnahmefläche (54) und der Zielfläche (57) aufweist, entlang welchem Kanal (59) die Messsonde (12) führbar ist.
- 25
4. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß Anspruch 3, wobei der Kanal (59) mittels oberseitiger und/oder unterseitiger und/oder seitlicher Wandungen (60) abgegrenzt ist.

5. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß Anspruch 4, wobei die der Sondenspitze (85) zugewandte Wandung (60) eine Freistellung (61) zum berührungsfreien Freistellen des Auslegers (52) und der Sondenspitze (85) aufweist.

5

6. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Transporteinrichtung (56) zum Transportieren der Messsonde (12) von der Zielfläche (57) entlang der Führungsstruktur (55) zurück zu der Aufnahme­fläche (54) ausgebildet ist.

10

7. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Transporteinrichtung (56) einen Zuführschieber (62) zum Schieben der Messsonde (12) zumindest abschnittsweise von der Aufnahme­fläche (54) zu der Zielfläche (57) aufweist.

15

8. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß Anspruch 7, wobei der Zuführschieber (62) eine Freistellung (61) zum berührungsfreien Freistellen des Auslegers (52) und der Sondenspitze (85) aufweist, wenn mittels des Zuführschiebers (62) die Messsonde (12) zumindest abschnittsweise von der Aufnahme­fläche (54) zu der Zielfläche (57) geschoben wird.

20

9. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Transporteinrichtung (56) einen Abführschieber (63) zum Schieben der Messsonde (12) zumindest abschnittsweise von der Zielfläche (57) zurück zu der Aufnahme­fläche (54) aufweist.

25

10. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß Anspruch 9, wobei der Abführschieber (63) zum Einwirken lediglich auf den Sondenkörper (51) der Messsonde (12) ausgebildet ist, wenn mittels des Abführschiebers (63) die

Messsonde (12) zumindest abschnittsweise von der Zielfläche (57) zurück zu der Aufnahme­fläche (54) geschoben wird.

11. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß Anspruch 9 oder 10, wobei der
5 Abführschieber (63) eine Federzunge aufweist.
12. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei
der Abführschieber (63) einen beim Verschieben auf die Messsonde (12)
einwirkenden Haken (5') und eine mit dem Haken (5') gekoppelte und beim
10 Verschieben in eine Vertiefung (64) eintauchende Freigabenase (5'') aufweist, die
bei Erreichen der Aufnahme­fläche (54) durch die Messsonde (12) infolge des
Verschiebens aus der Vertiefung (64) herausgeführt wird, wodurch der Haken
(5') die Messsonde (12) freigibt.
13. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß Ansprüchen 7 und 9, wobei der
15 Abführschieber (63) senkrecht zu einer Schieberichtung (107, 108) schmaler
ausgebildet ist als der Zuführschieber (62).
14. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13,
20 aufweisend eine Betätigungseinrichtung (6) zum Betätigen der
Transporteinrichtung (56) durch einen Benutzer oder durch eine
Antriebseinrichtung, insbesondere einen Motor.
15. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß Anspruch 14, wobei die
25 Betätigungseinrichtung (6) einen Kraftbegrenzungsmechanismus (65) zum
Begrenzen einer von einem Benutzer auf die Betätigungseinrichtung (6)
ausgeübten Kraft derart aufweist, dass eine auf die Transporteinrichtung (56)
einwirkende Kraft einen vorgebbaren Schwellwert nicht überschreitet.

16. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß Anspruch 14 oder 15, wobei die Betätigungseinrichtung (6) derart ausgebildet ist, dass ein Verschieben der Transporteinrichtung (56) mittels Betätigens der Betätigungseinrichtung (6) selektiv ermöglicht oder verunmöglicht werden kann.

5

17. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 16, aufweisend ein die Zielfläche (57) aufweisendes Transportmodul (1), das, insbesondere samt einer Messsonde (12) an der Zielfläche (57), vom Rest der Handhabungsvorrichtung (50) trennbar und zum Rastersondenmikroskop (81) transportierbar ist.

10

18. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß Anspruch 17, aufweisend eine bewegbare Rampe (3) und ein bewegbares Führungsteil (7), die zum in Eingriff nehmen des Transportmoduls (1) an das Transportmodul (1) heranbewegbar sind und das Transportmodul (1) freigebend von dem Transportmodul (1) wegbewegbar sind.

15

19. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß Anspruch 18, wobei die Aufnahme­fläche (54) bei in Eingriff nehmen des Transportmoduls (1) zwischen der Rampe (3) und dem Führungsteil (7) angeordnet ist.

20

20. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß Anspruch 18 oder 19, wobei die Zielfläche (57) bei in Eingriff nehmen des Transportmoduls (1) zwischen dem Transportmodul (1) und dem Führungsteil (7) angeordnet ist.

25

21. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 20, aufweisend eine Fixiereinrichtung (66) zum selektiven Fixieren der Messsonde (12) an der Zielfläche (57).

22. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß Anspruch 21, wobei die Fixiereinrichtung (66) eine erste Fixierkomponente (67) im Bereich der Zielfläche (57) und eine zweite Fixierkomponente (68) aufweist, die zum Umschalten zwischen einem an der Zielfläche (57) fixierten Zustand der Messsonde (12) und einem von der Zielfläche (57) gelösten Zustand der Messsonde (12) selektiv von der Zielfläche (57) wegbewegbar oder zu der Zielfläche (57) heranbewegbar ausgebildet ist.
23. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß Anspruch 22, wobei die Fixiereinrichtung (66) eingerichtet ist, mittels des Heranbewegens der zweiten Fixierkomponente (68) den von der Zielfläche (57) gelösten Zustand der Messsonde (12) einzuschalten.
24. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß Anspruch 22 oder 23, wobei die Fixiereinrichtung (66) eingerichtet ist, mittels des Wegbewegens der zweiten Fixierkomponente (68) den an der Zielfläche (57) fixierten Zustand der Messsonde (12) einzuschalten.
25. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß einem der Ansprüche 21 bis 24, wobei die Fixiereinrichtung (66) aufweist:
eine Masterkrafteinrichtung (11) zum selektiven Ausüben einer Masterkraft auf einen Fixiermechanismus (15, 16, 17);
den Fixiermechanismus (15, 16, 17), der mittels der Masterkrafteinrichtung (11) zum Lösen und/oder Fixieren der an die Zielfläche (57) transportierten Messsonde (12) betätigbar ist.
26. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß Anspruch 25, wobei die Masterkrafteinrichtung (11) aus einer Gruppe ausgewählt ist, die besteht aus einer Masterkrafteinrichtung zum Ausüben einer magnetischen Masterkraft, insbesondere aufbringbar mittels eines bewegbaren

Masterkraftpermanentmagneten oder mittels eines elektrisch aktivierbaren Masterkraftelektromagneten, einer hydraulischen Masterkraft, einer pneumatischen Masterkraft, einer elektrischen Masterkraft, einer thermischen Masterkraft und einer mechanischen Masterkraft.

5

27. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß Anspruch 25 oder 26, wobei der Fixiermechanismus (15, 16, 17) mindestens zwei Magnelemente (16, 17) aufweist, deren magnetische Wechselwirkungskraft ausgebildet ist, die an die Zielfläche (57) transportierte Messsonde (12) zu fixieren, insbesondere klemmend zu fixieren.

10

28. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß einem der Ansprüche 21 bis 27, wobei die Fixiereinrichtung (66) ein Haltekraftverstärkungselement (15) mit gekrümmter, insbesondere sphärisch gekrümmter, Haftkraftübertragungsfläche aufweist, das in einem an die Zielfläche (57) transportierten Zustand der Messsonde (12) mittels der Haftkraftübertragungsfläche, insbesondere punktförmig, direkt auf die Messsonde (12) einwirkt.

15

29. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß einem der Ansprüche 21 bis 28, wobei die Transporteinrichtung (56) und die Fixiereinrichtung (66) zum Zusammenwirken miteinander derart eingerichtet sind, dass die Messsonde (12) zunächst an die Zielfläche (57) herantransportiert wird und erst beim Fixieren an der Zielfläche (57) fixiert wird, insbesondere erst beim Fixieren an die Zielfläche (57) unter Ausbilden eines physischen Kontakts angedrückt wird.

20

25

30. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 29, aufweisend eine abschnittsweise von der Zielfläche (57) begrenzte Einführtasche (69), in welche die Messsonde (12) zumindest teilweise eingeführt ist, wenn die Messsonde (12) auf der Zielfläche (57) aufliegt.

30

31. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 30, wobei zumindest eine Fläche aus der Gruppe, die besteht aus der Aufnahme­fläche (54), einer Führungsfläche der Führungsstruktur (55), und der Zielfläche (57) als gegenüber einer horizontalen Ebene geneigte Fläche ausgebildet ist,
- 5 insbesondere derart, dass sich die Messsonde (12) beim Transportieren von der Aufnahme­fläche (54) zu der Zielfläche (57) zumindest abschnittsweise entlang der geneigten Fläche abwärts bewegt.
32. Handhabungsvorrichtung (50) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 31,
- 10 aufweisend einen Sperrmechanismus (70) zum Verunmöglichen einer Bewegung mindestens einer Komponente (3, 4) der Handhabungsvorrichtung (50), welche Bewegung den Ausleger (52) und/oder die Sondenspitze (85) und/oder die Einführtasche (69) mit einer mechanischen Belastung beaufschlagen würde.
- 15 33. Anordnung (71), aufweisend:
ein Rastersondenmikroskop (81) zum Ermitteln von
Oberflächeninformation hinsichtlich eines Probekörpers (86) mittels rasternden Abtastens einer Oberfläche des Probekörpers (86), wobei das
Rastersondenmikroskop (81) eine Messsonde (12) aufweist, die zum rasternden
20 Abtasten der Oberfläche des Probekörpers (86) eingerichtet ist und einen
Sondenkörper (51) und eine mittels eines Auslegers (52) mit dem Sondenkörper (51) gekoppelte Sondenspitze (85) aufweist;
eine Handhabungsvorrichtung (50) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 32
zum Handhaben der Messsonde (12).
- 25 34. Anordnung (71) gemäß Anspruch 33, wobei das Rastersondenmikroskop (81) eine Transportmodul-Schnittstelle (72) zum Ankoppeln eines
Transportmoduls (1) gemäß einem der Ansprüche 17 bis 20 derart aufweist, dass nach Ankoppeln des Transportmoduls (1) an die Transportmodul-Schnittstelle

(72) die Messsonde (12) an dem Transportmodul (1) betriebsbereit zum rasternden Abtasten der Oberfläche des Probekörpers (86) ist.

35. Anordnung (71) gemäß Anspruch 33 oder 34, wobei das
5 Rastersondenmikroskop (81) als Rasterkraftmikroskop ausgebildet ist.

36. Verfahren zum Handhaben einer Messsonde (12) für ein
Rastersondenmikroskop (81), wobei die Messsonde (12) einen Sondenkörper
(51) und eine mittels eines Auslegers (52) mit dem Sondenkörper (51)
10 gekoppelte Sondenspitze (85) aufweist, wobei das Verfahren aufweist:
Aufnehmen der Messsonde (12) an einer Aufnahmefläche (54) einer
Handhabungsvorrichtung (50);
Führen der Messsonde (12) in der Handhabungsvorrichtung (50) derart,
dass der Sondenkörper (51) zumindest teilumfänglich von einer
15 Führungsstruktur (55) begrenzt wird und der Ausleger (52) und die Sondenspitze
(85) in der Führungsstruktur (55) berührungsfrei gelagert werden;
Transportieren der Messsonde (12) in der Handhabungsvorrichtung (50)
von der Aufnahmefläche (54) entlang der Führungsstruktur (55) zu einer
Zielfläche (57).

20

37. Verfahren gemäß Anspruch 36, wobei das Verfahren nach dem
Transportieren aufweist:

Trennen eines die Zielfläche (57) aufweisenden Transportmoduls (1) samt
Messsonde (12), insbesondere fixiert an der Zielfläche (57), vom Rest der
25 Handhabungsvorrichtung (50); und

Ankoppeln des Transportmoduls (1) samt der an der Zielfläche (57)
befindlichen Messsonde (12) an das Rastersondenmikroskop (81).

38. Verfahren gemäß Anspruch 37, wobei das Verfahren nach dem Ankoppeln
30 ein Betreiben des Rastersondenmikroskops (81) zum Ermitteln von

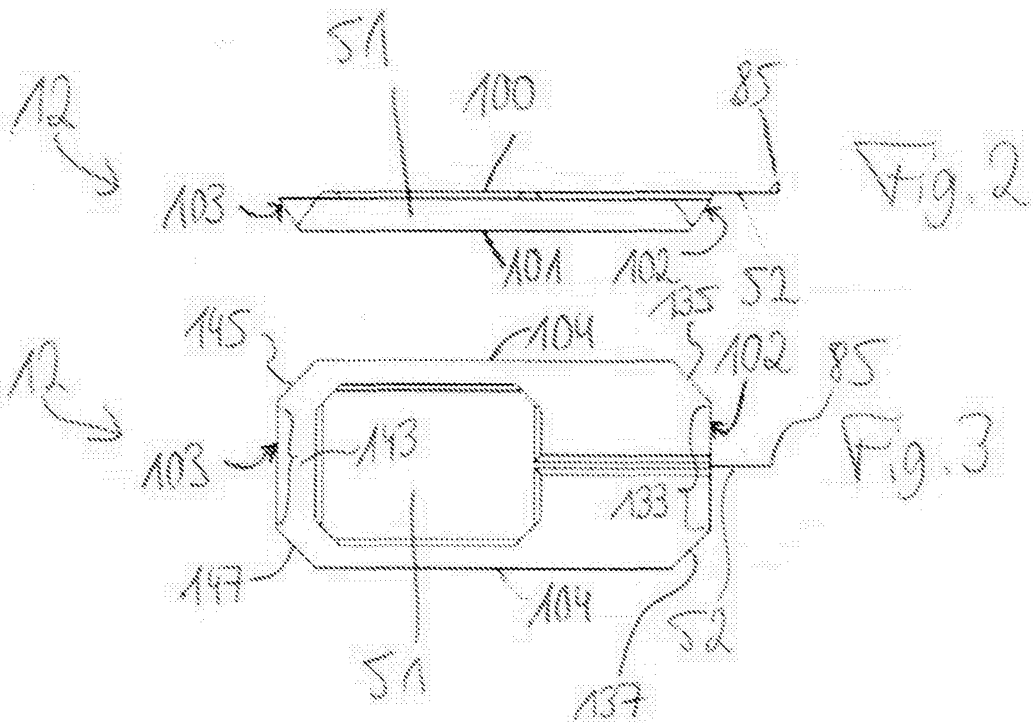
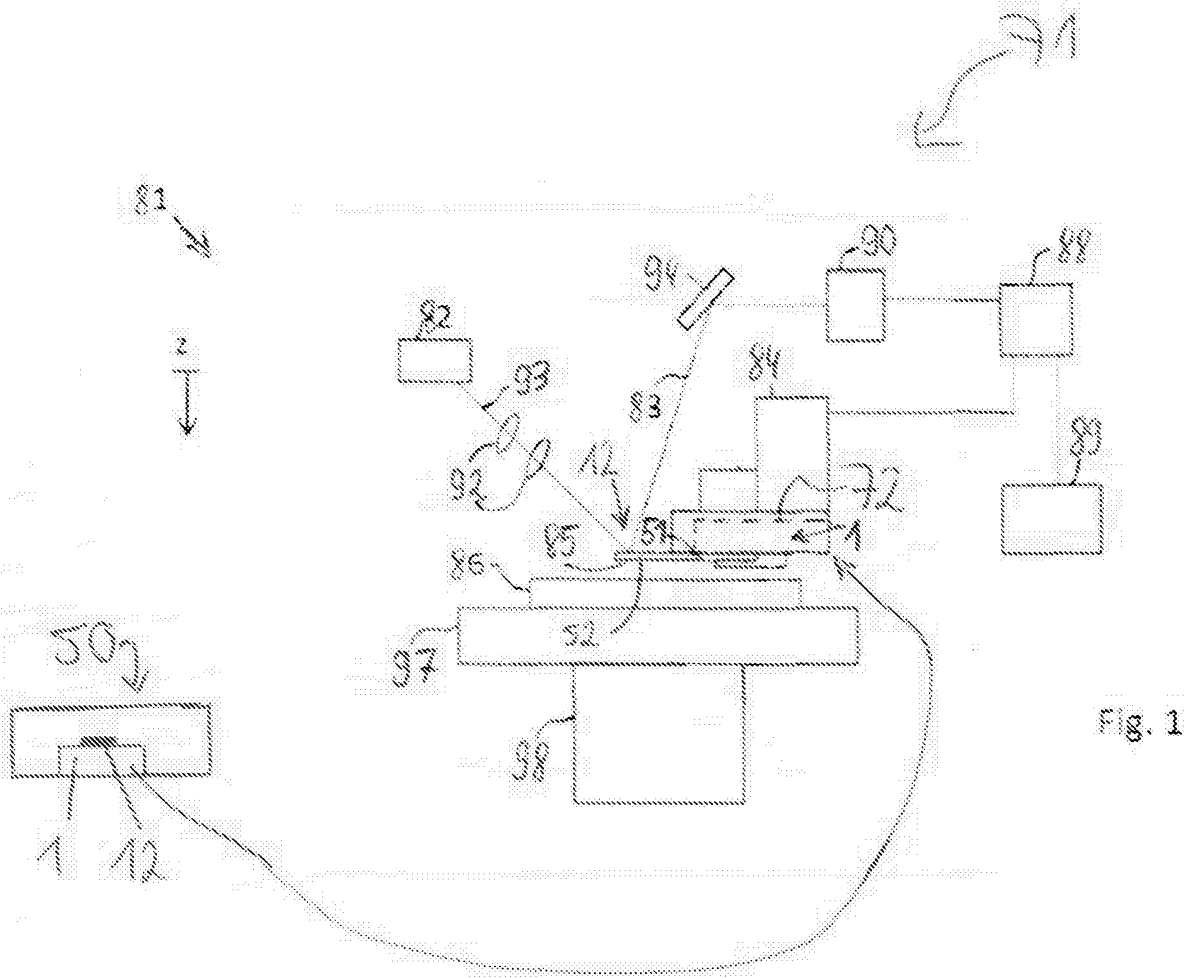
Oberflächeninformation hinsichtlich eines Probekörpers (86) mittels rasternden Abtastens einer Oberfläche des Probekörpers (86) mittels der Messsonde (12) aufweist.

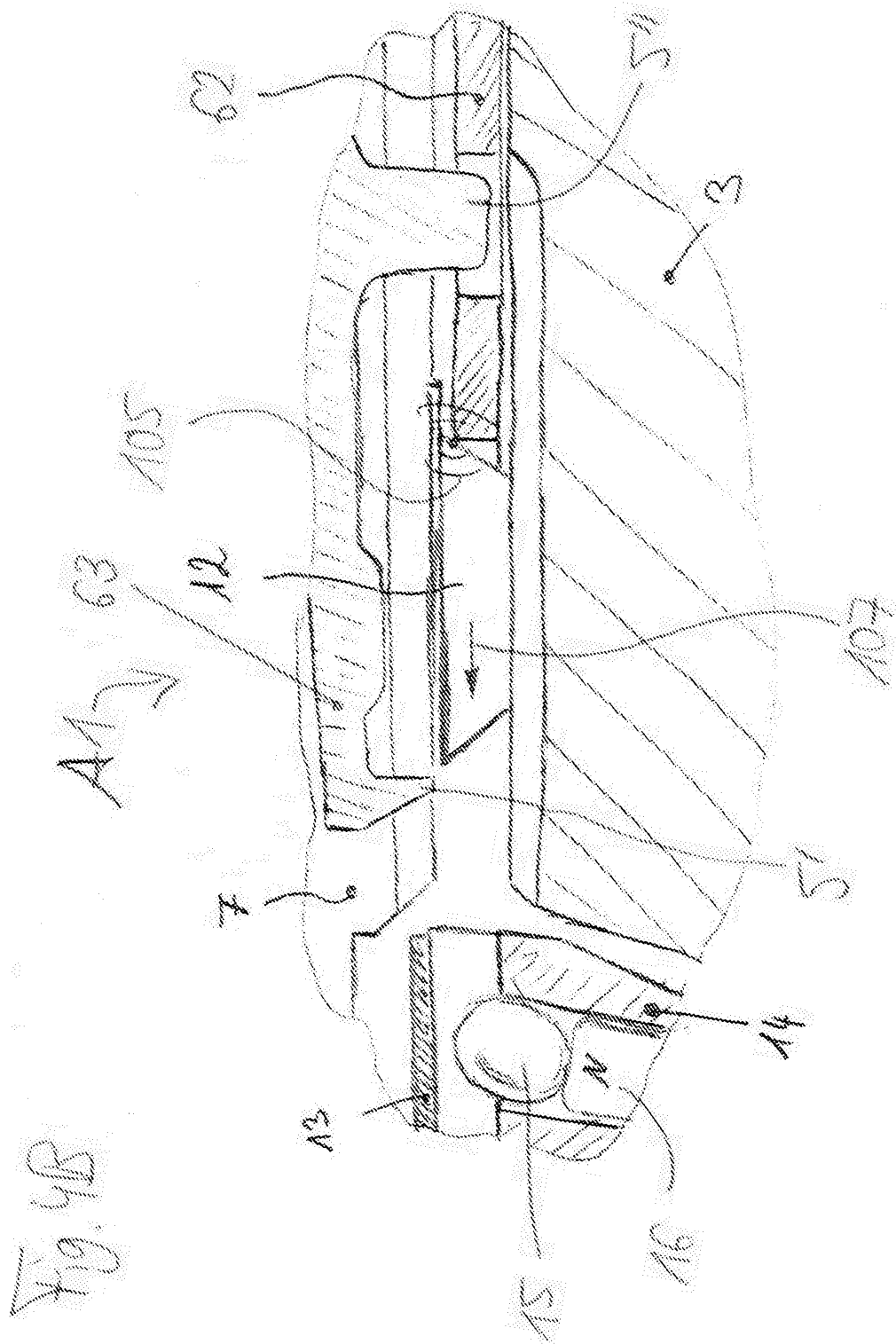
- 5 39. Verfahren gemäß Anspruch 37 oder 38, wobei das Verfahren aufweist:
 Trennen des Transportmoduls (1) samt Messsonde (12) von dem
 Rastersondenmikroskop (81); und
 Wiederankoppeln des Transportmoduls (1) samt Messsonde (12) an die
 Handhabungsvorrichtung (50).

10

40. Verfahren gemäß Anspruch 39, wobei das Verfahren ein Transportieren der
 Messsonde (12) in der Handhabungsvorrichtung (50) von der Zielfläche (57)
 entlang der Führungsstruktur (55) zurück zu der Aufnahme­fläche (54) aufweist.

A 4051 AT





50
✓

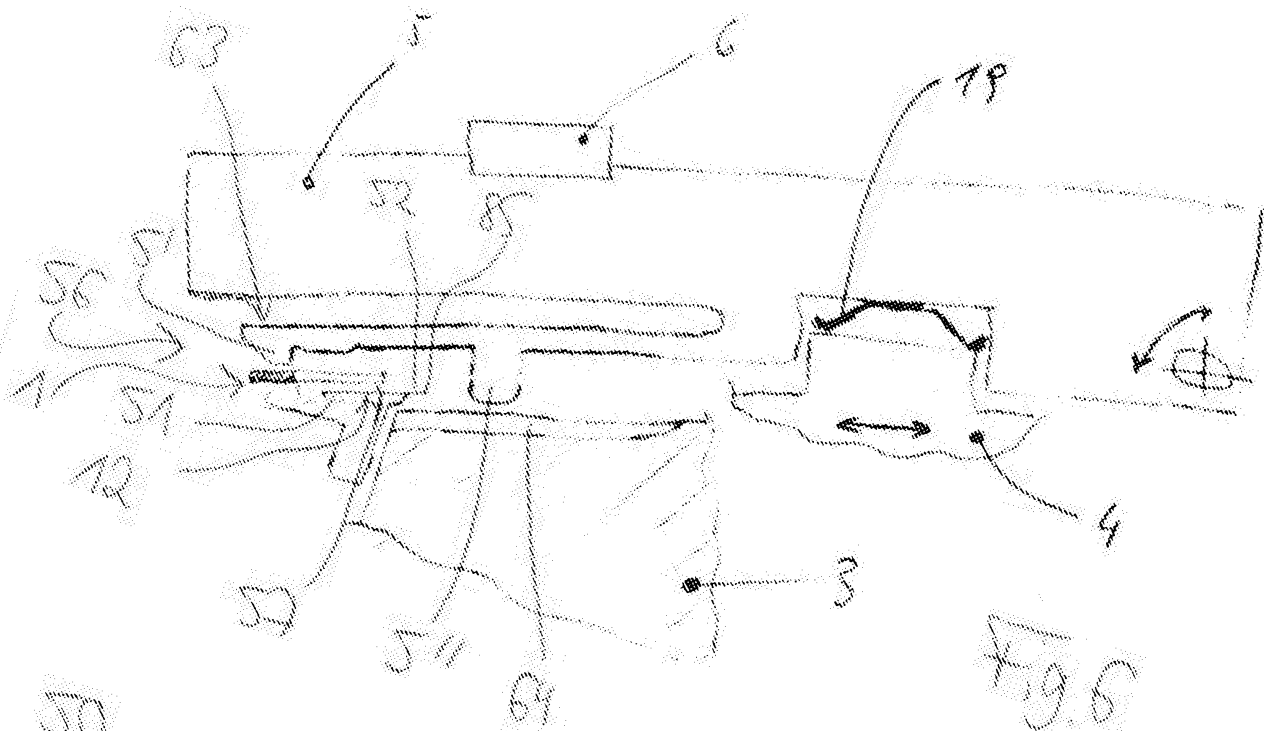


Fig. 6

50
✓

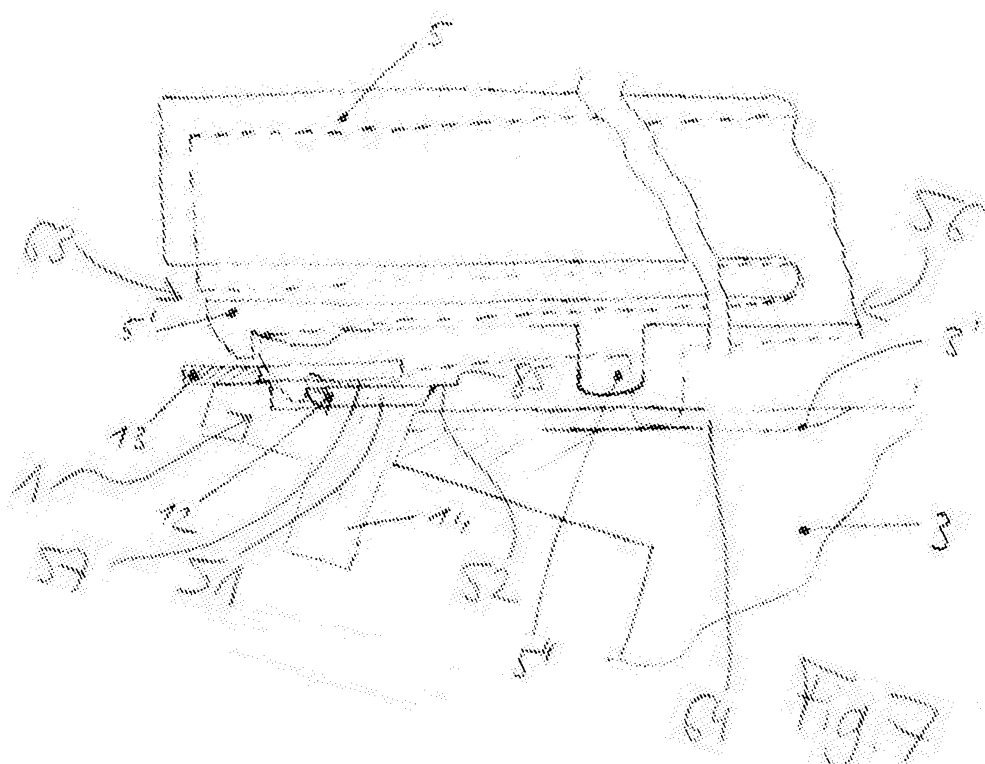
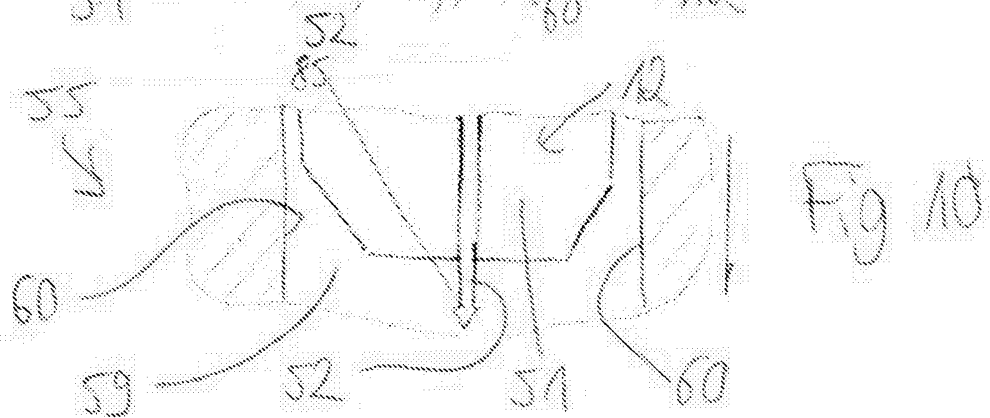
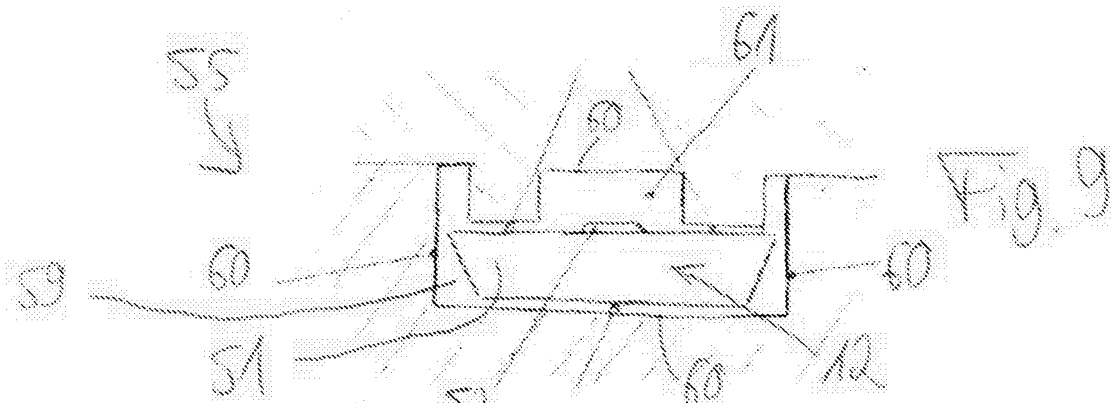
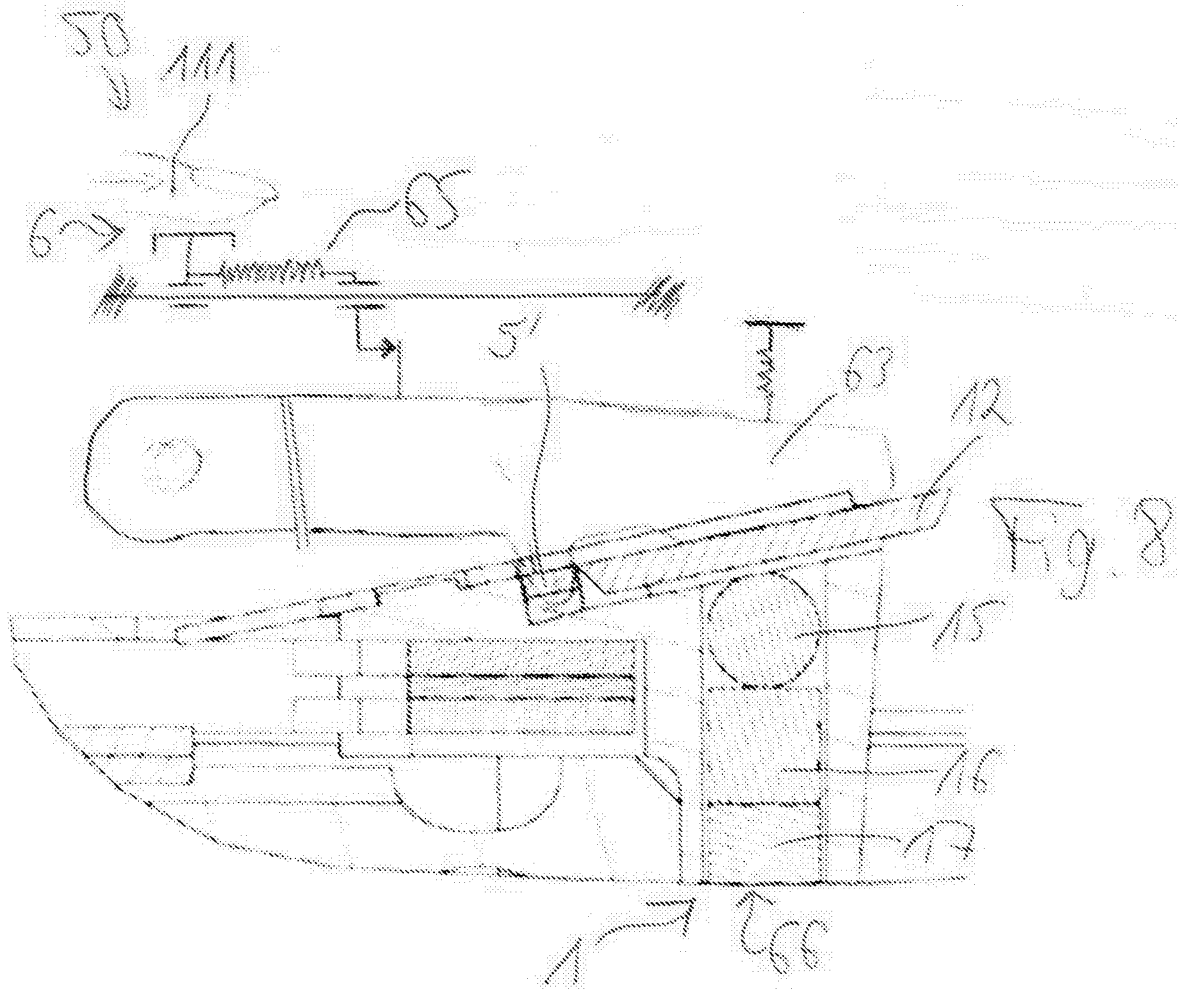
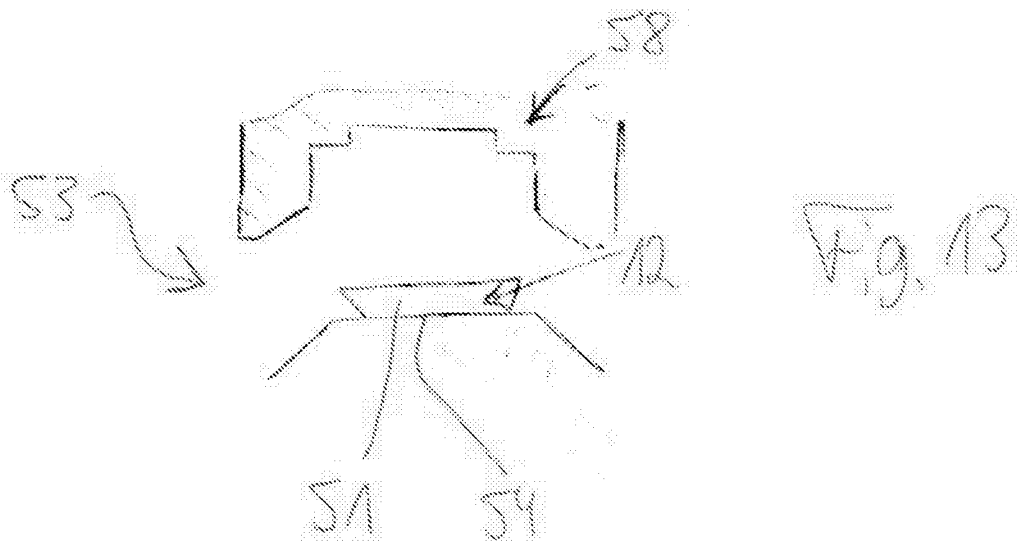
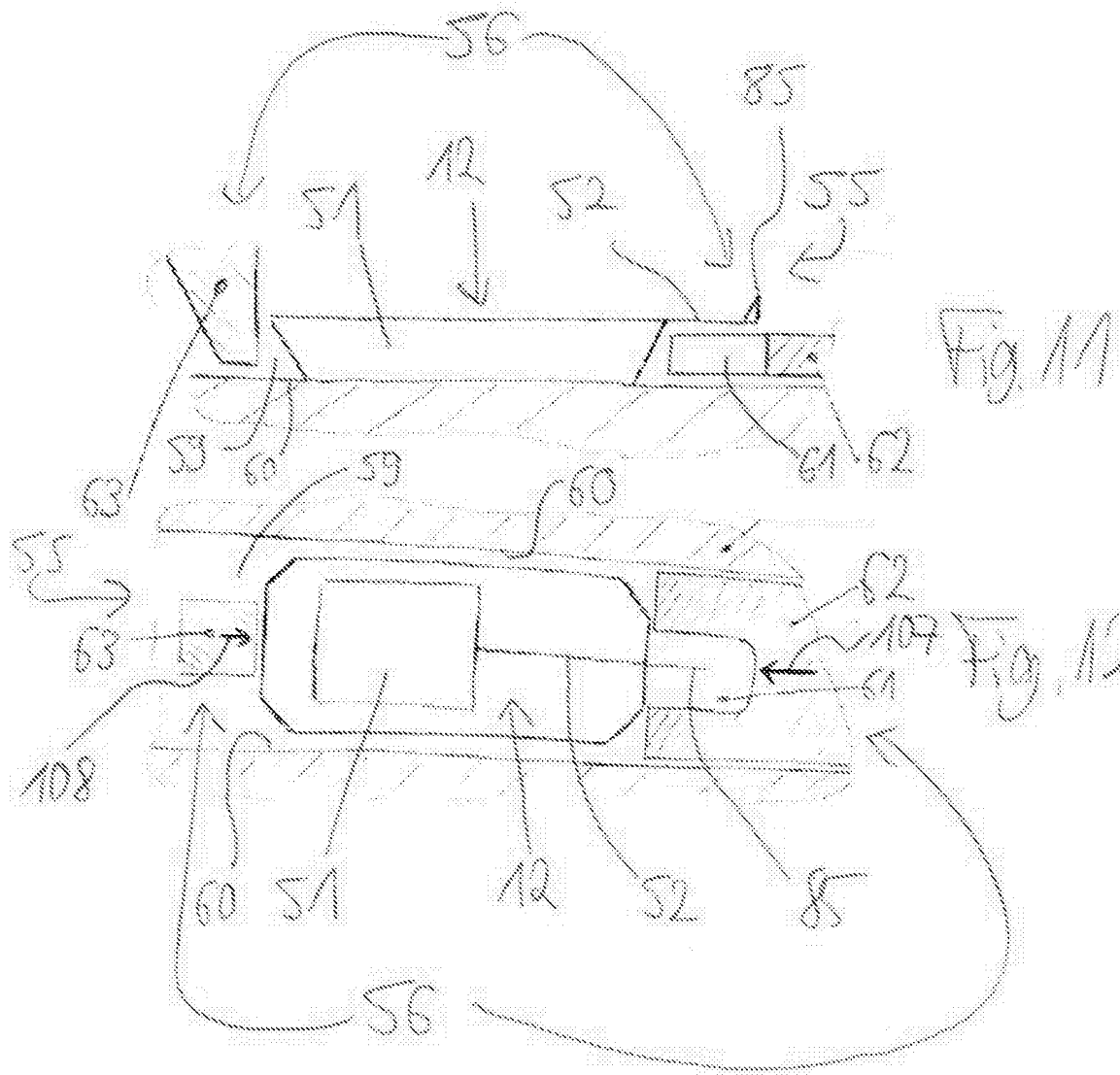


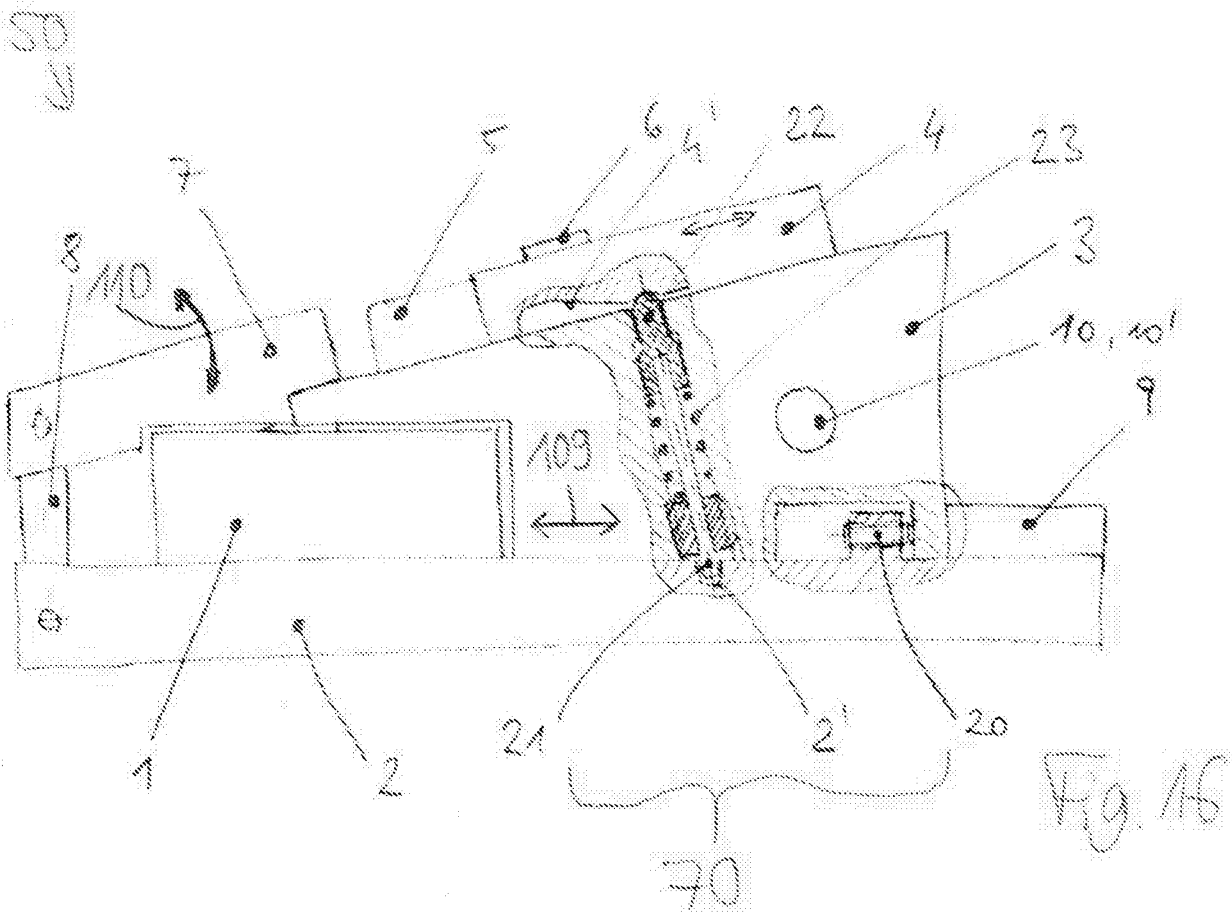
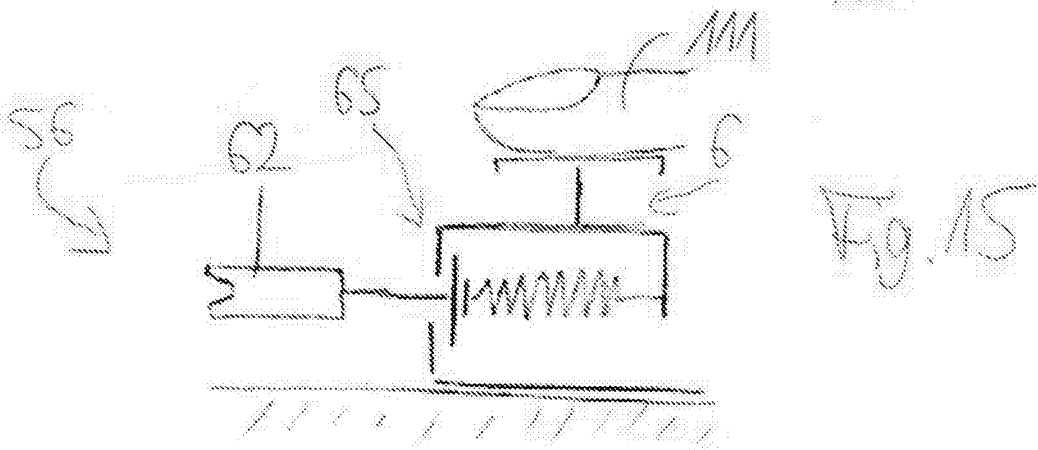
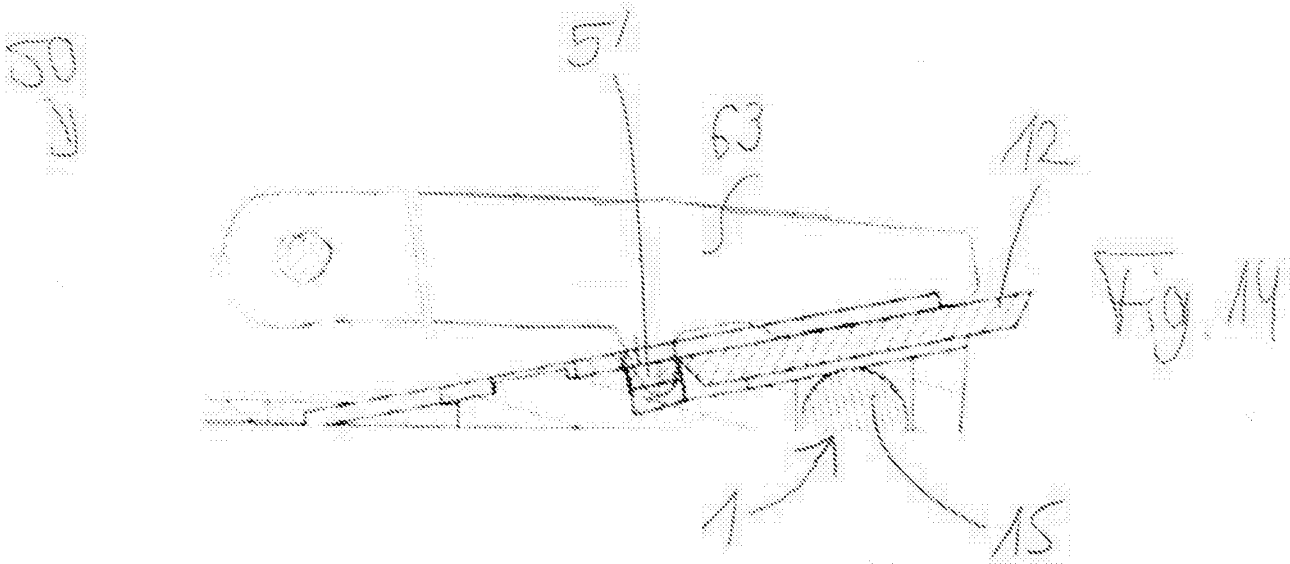
Fig. 7



A 4051 AT



A 4051 AT



A 4051 AT

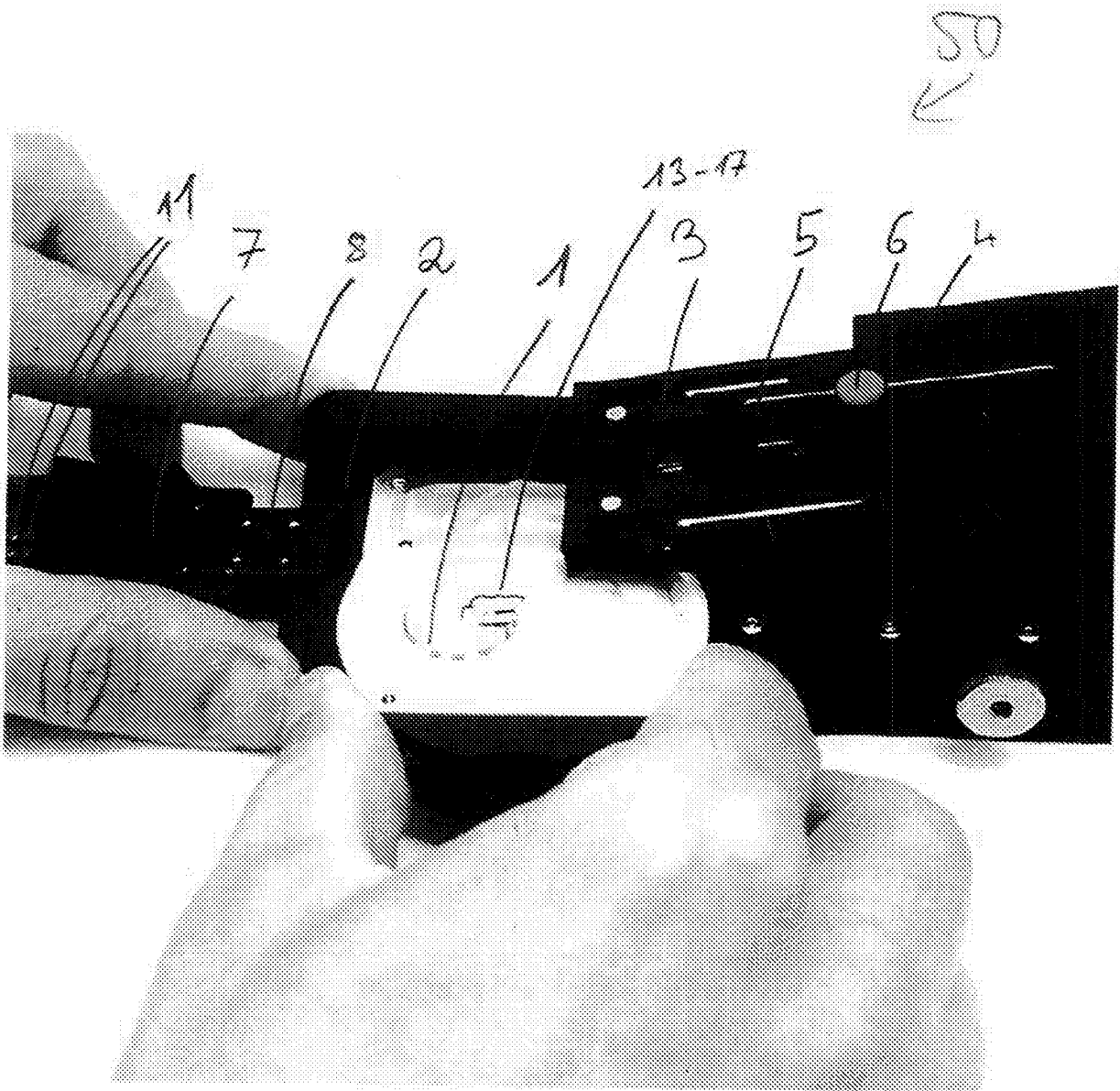


Fig. A

A 4051 AT

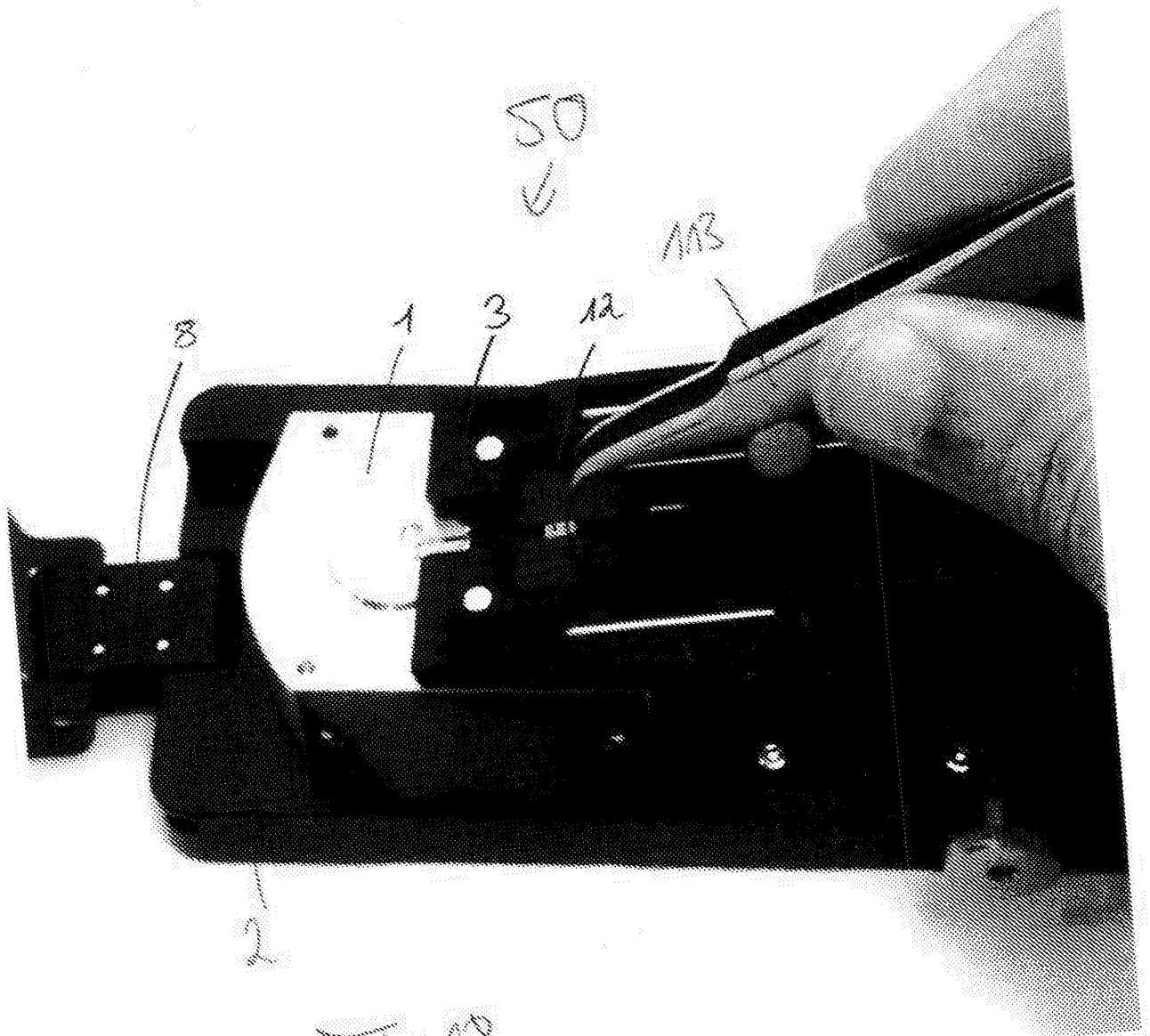
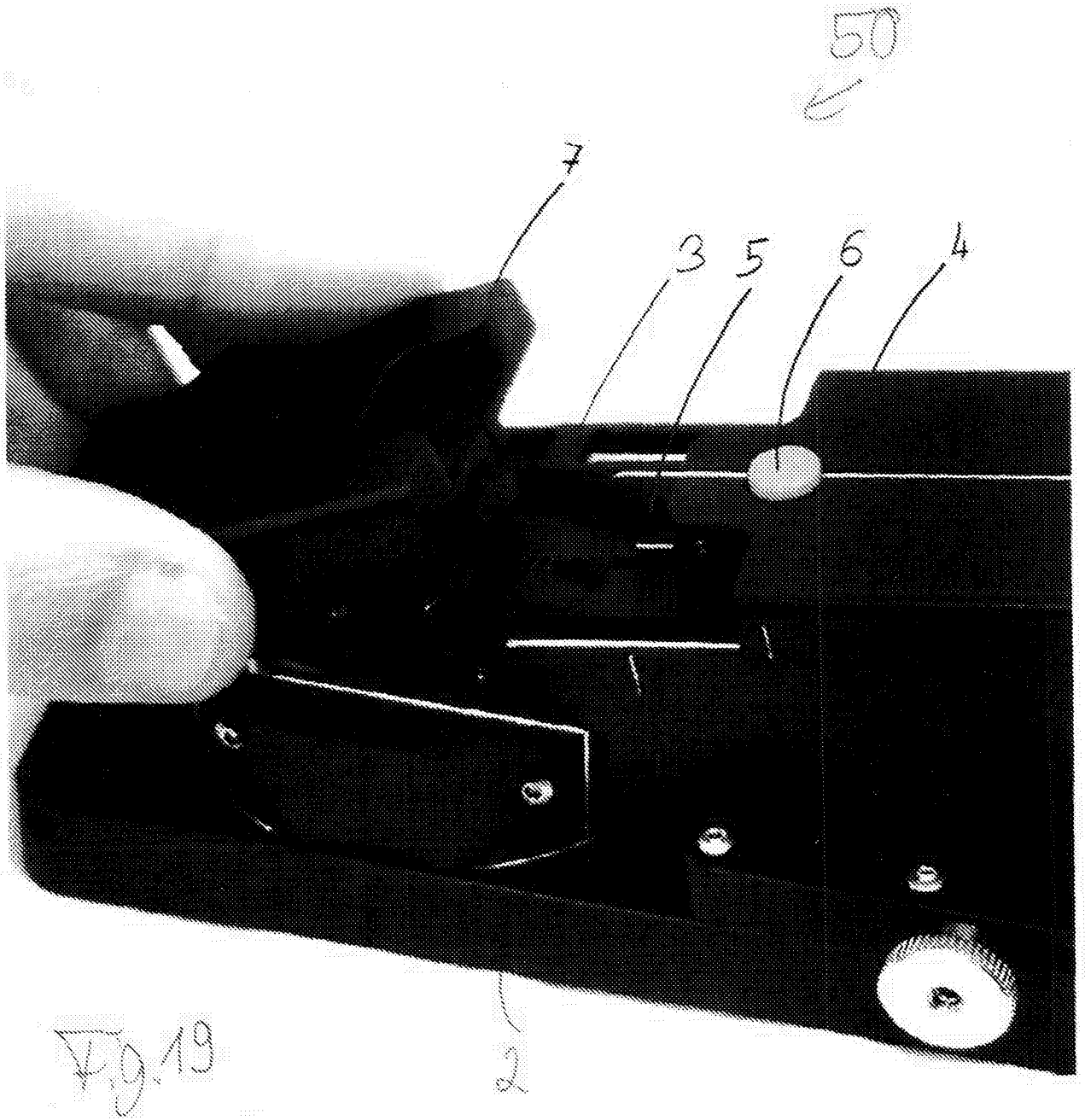


Fig. 18

A 4051 AT



A 4051 AT

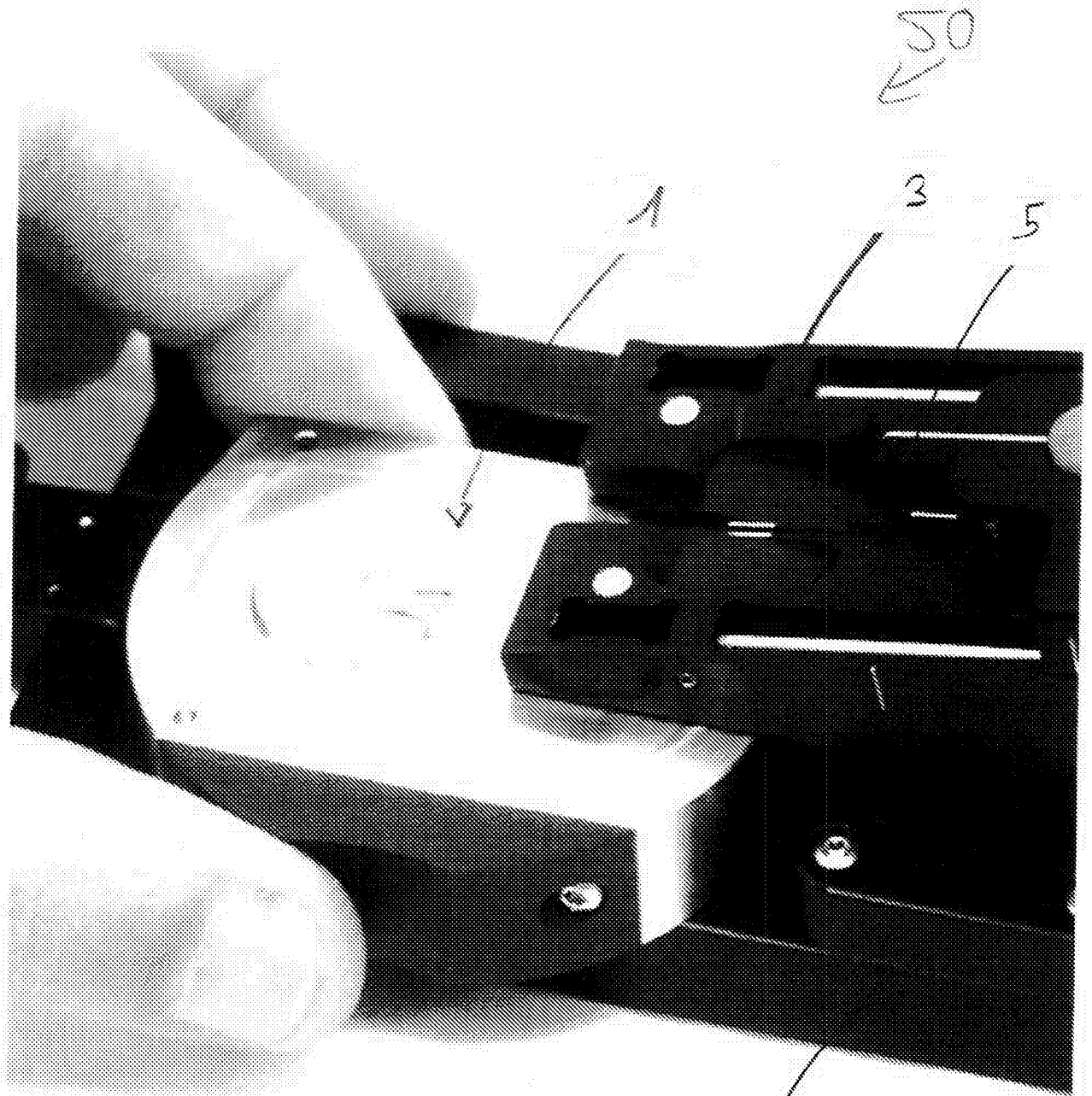


Fig. 20

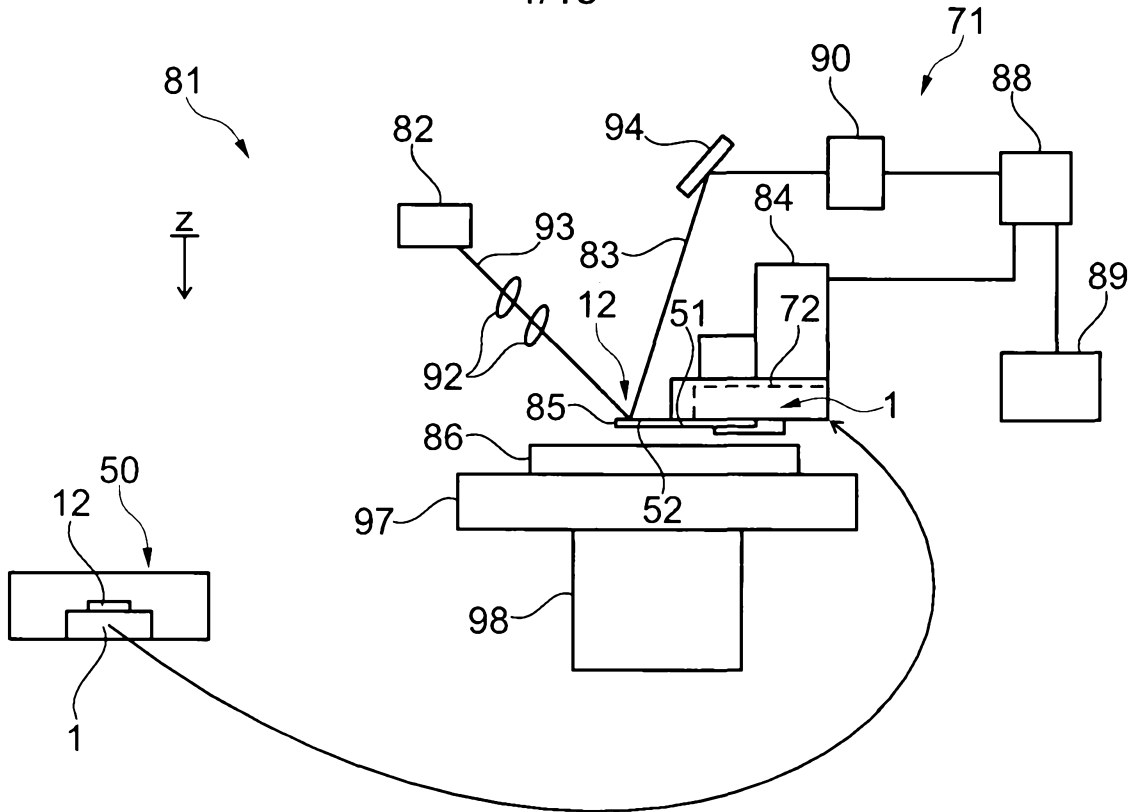


Fig. 1

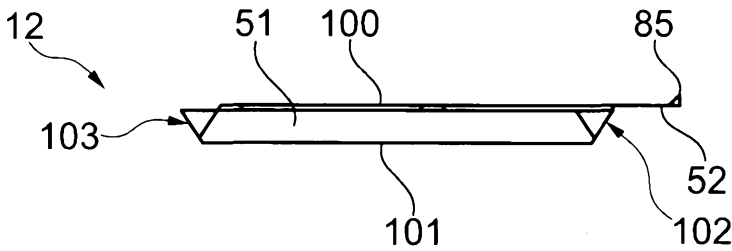


Fig. 2

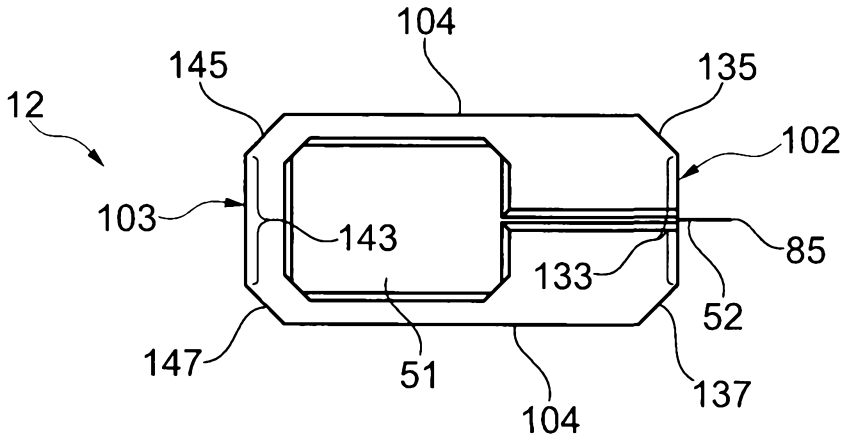


Fig. 3

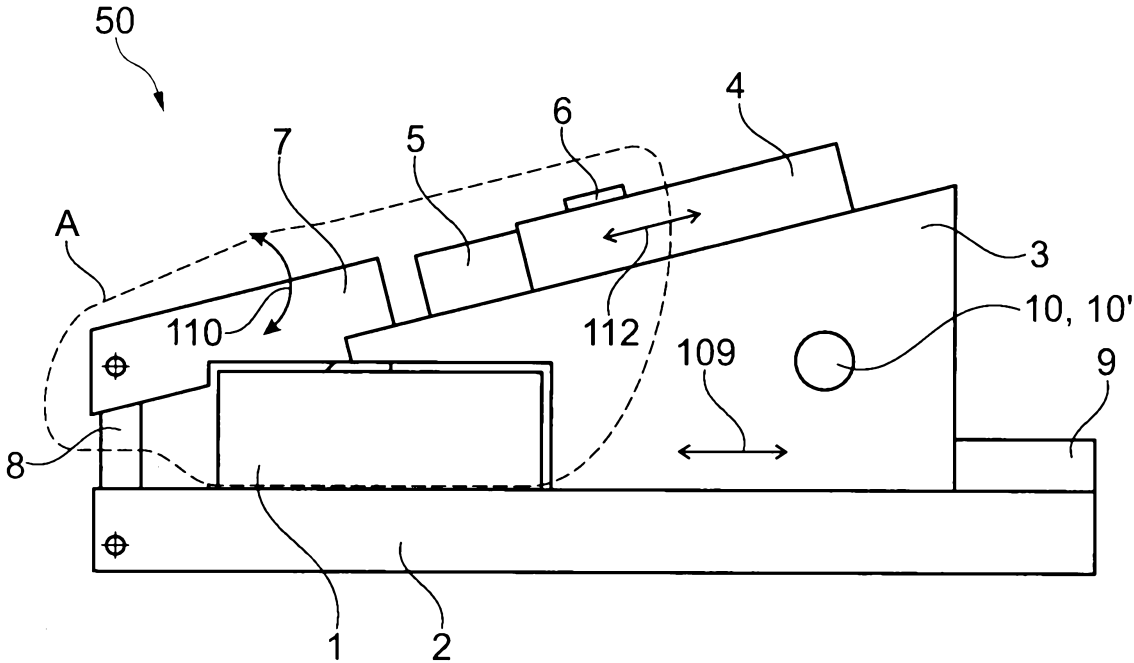


Fig. 4

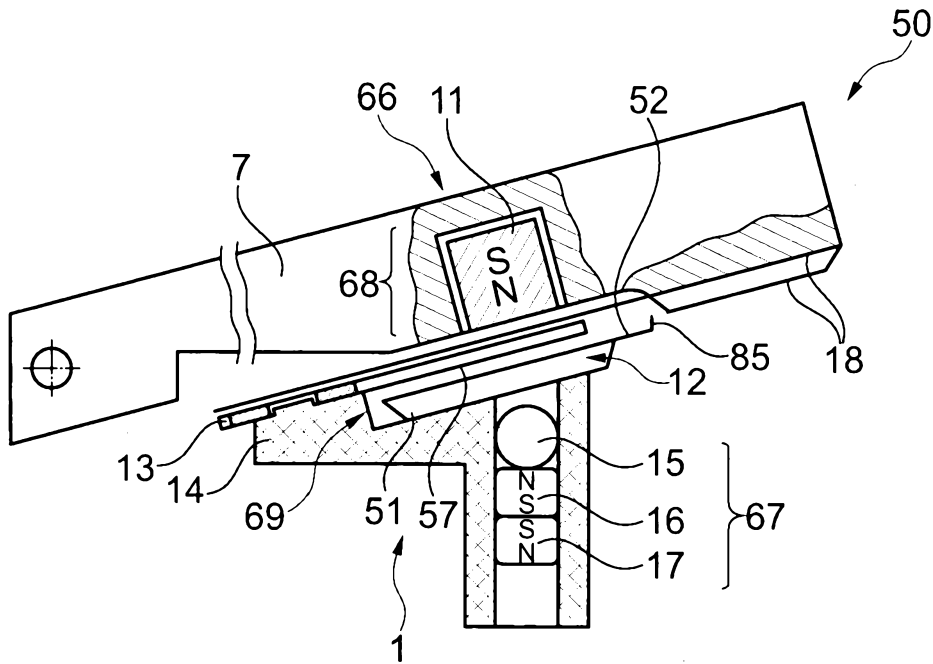


Fig. 5

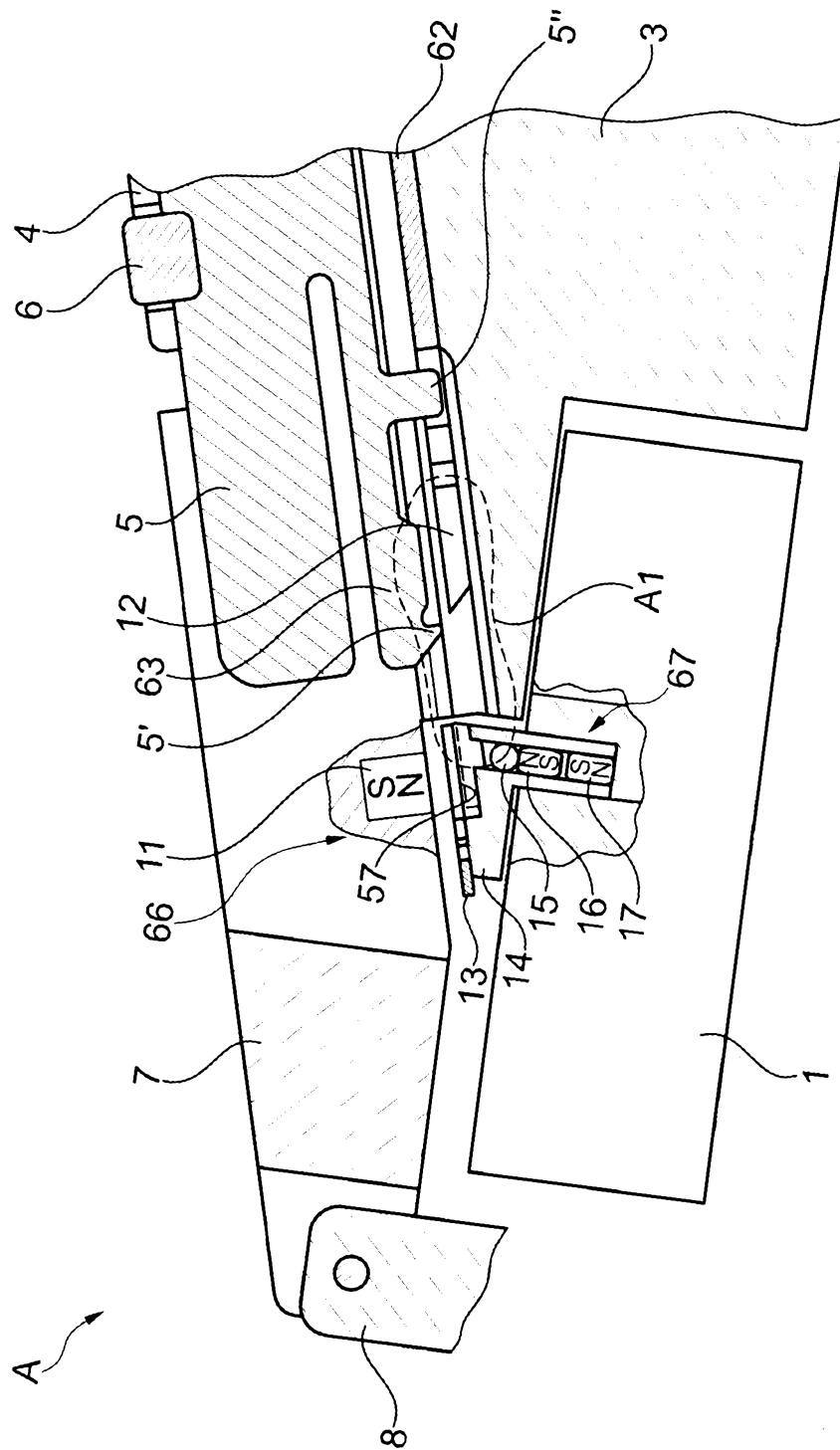


Fig. 4A

005488

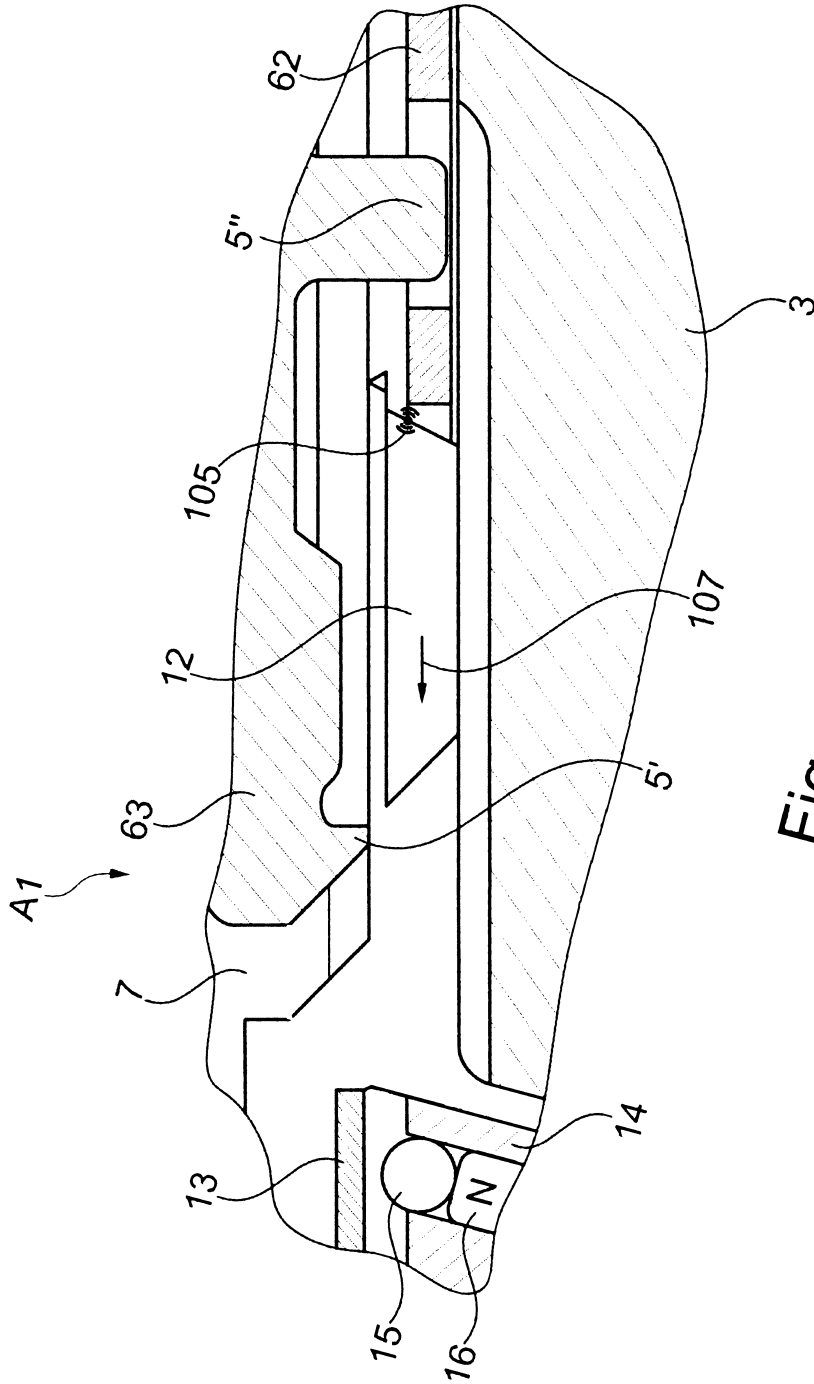


Fig. 4B

000485

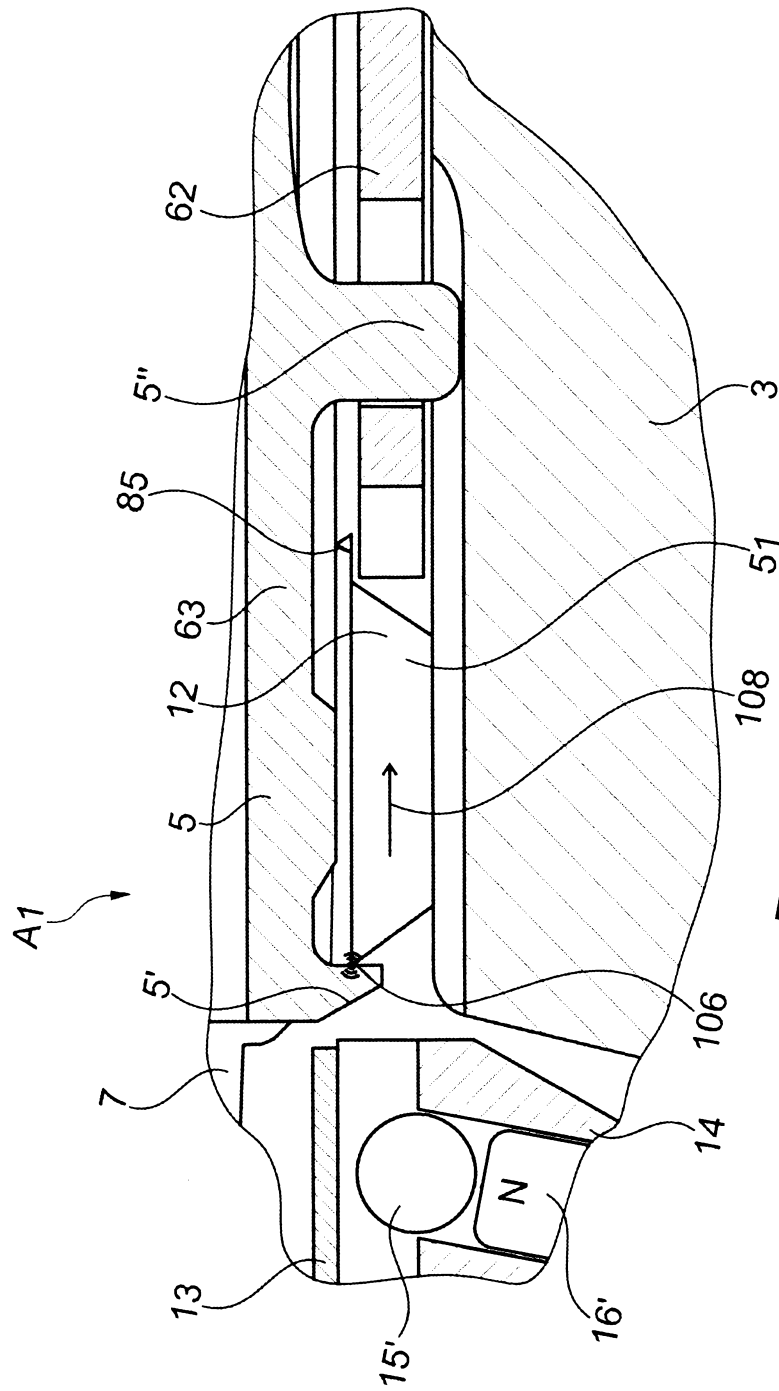


Fig. 4C

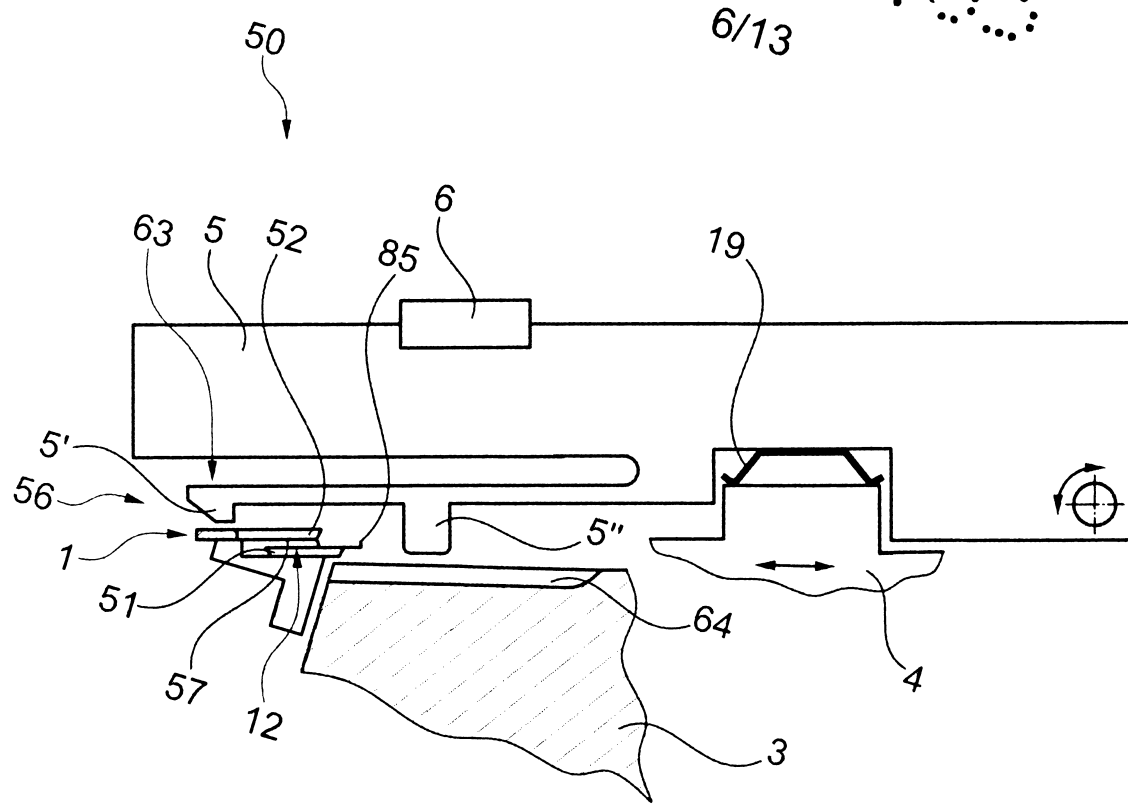


Fig. 6

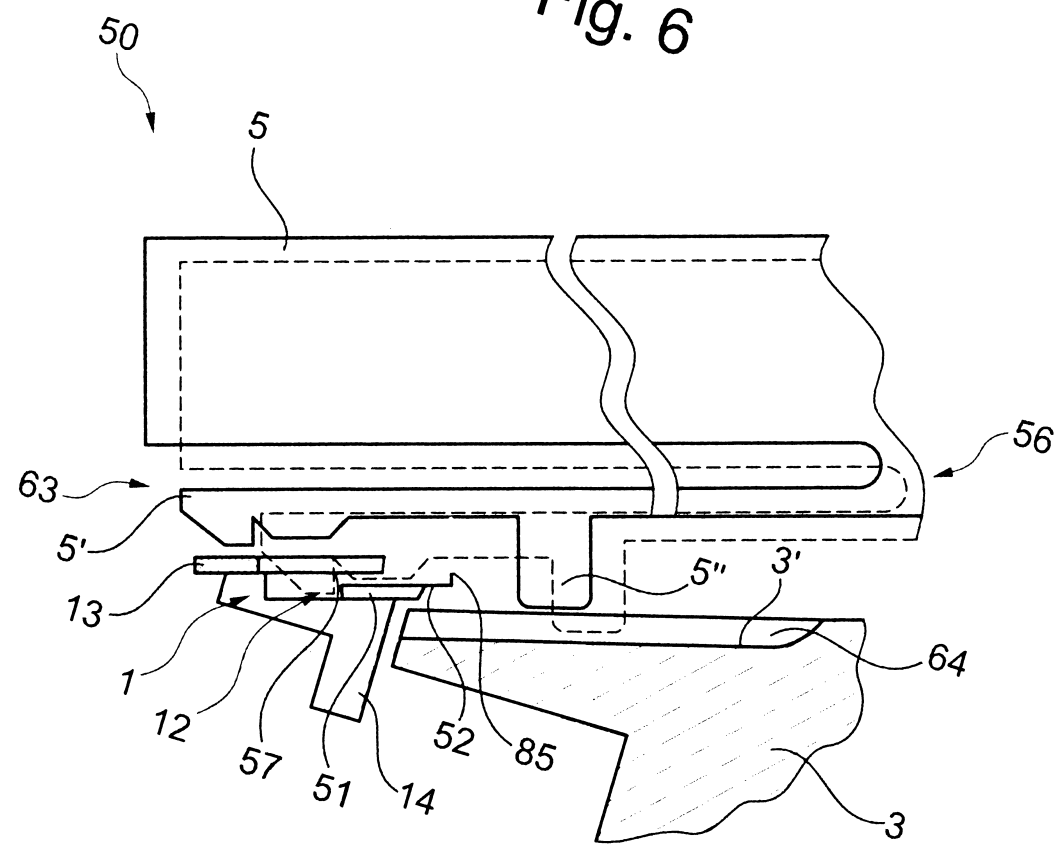
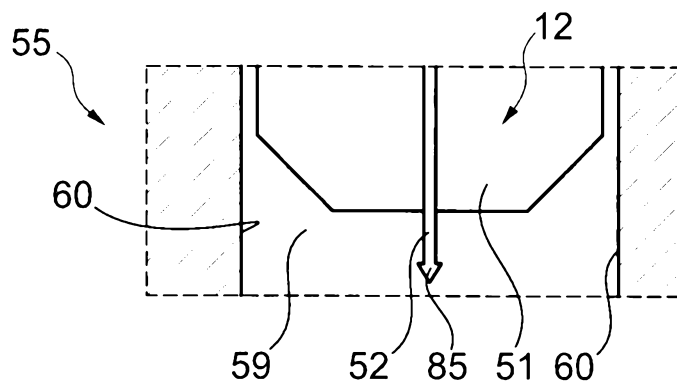
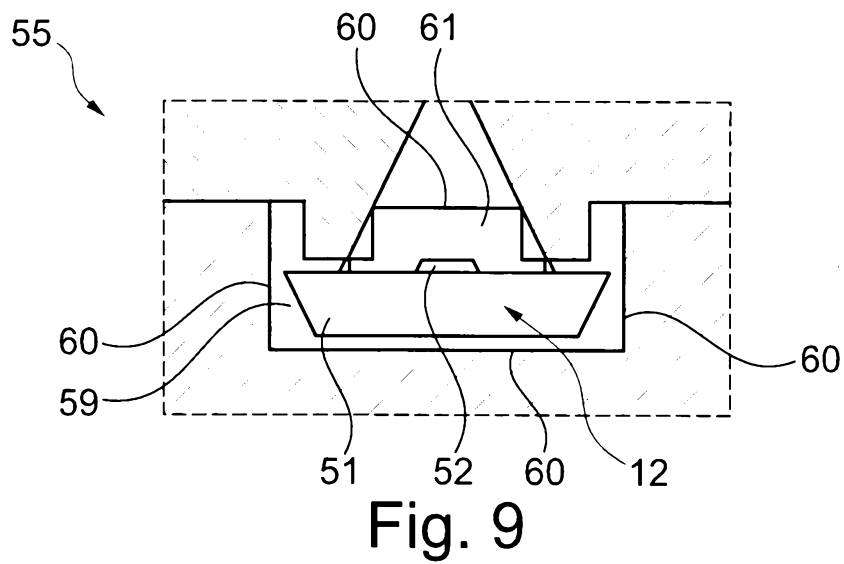
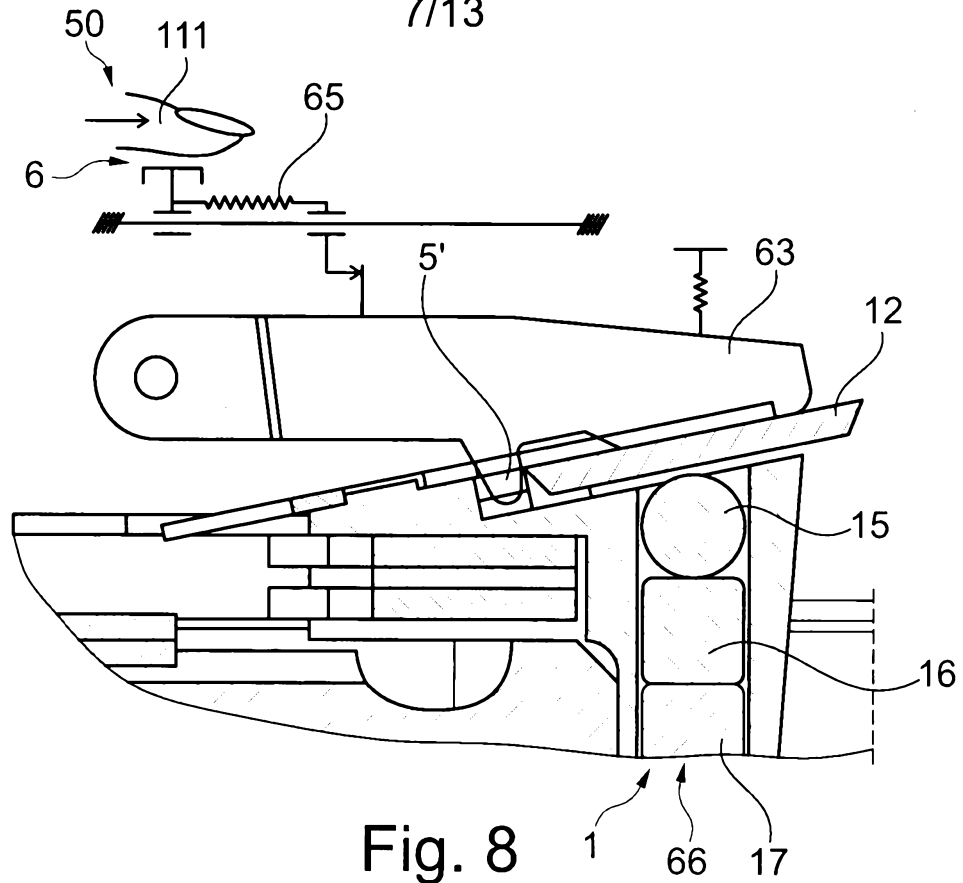


Fig. 7



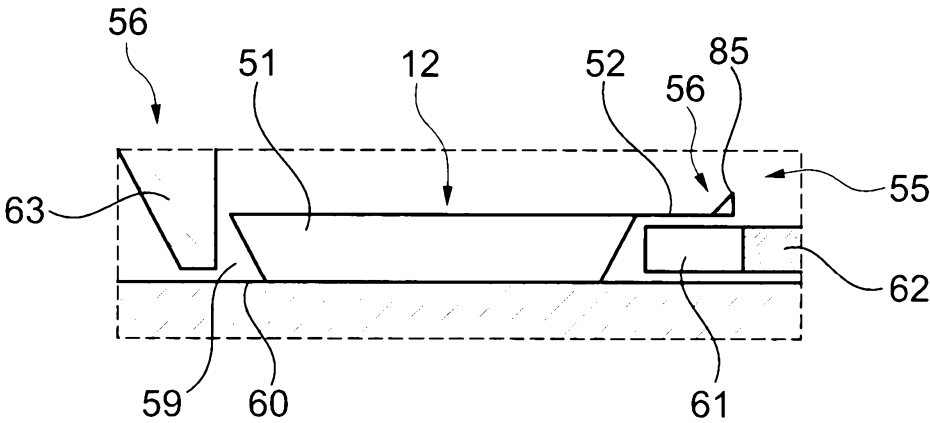


Fig. 11

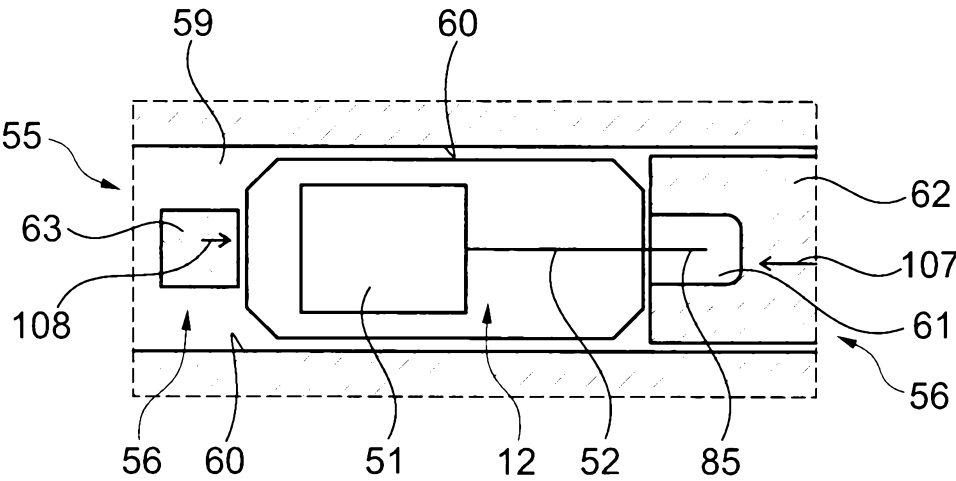


Fig. 12

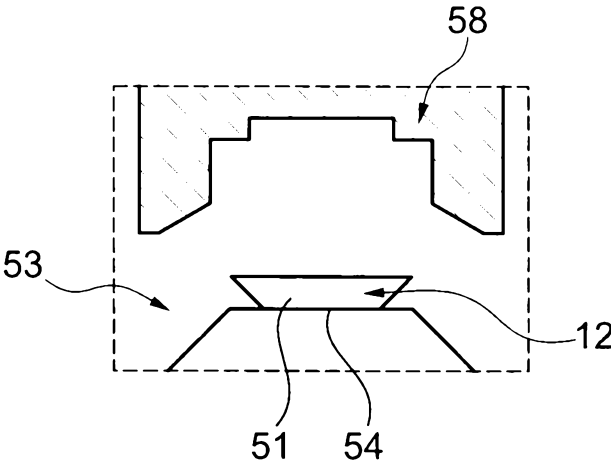
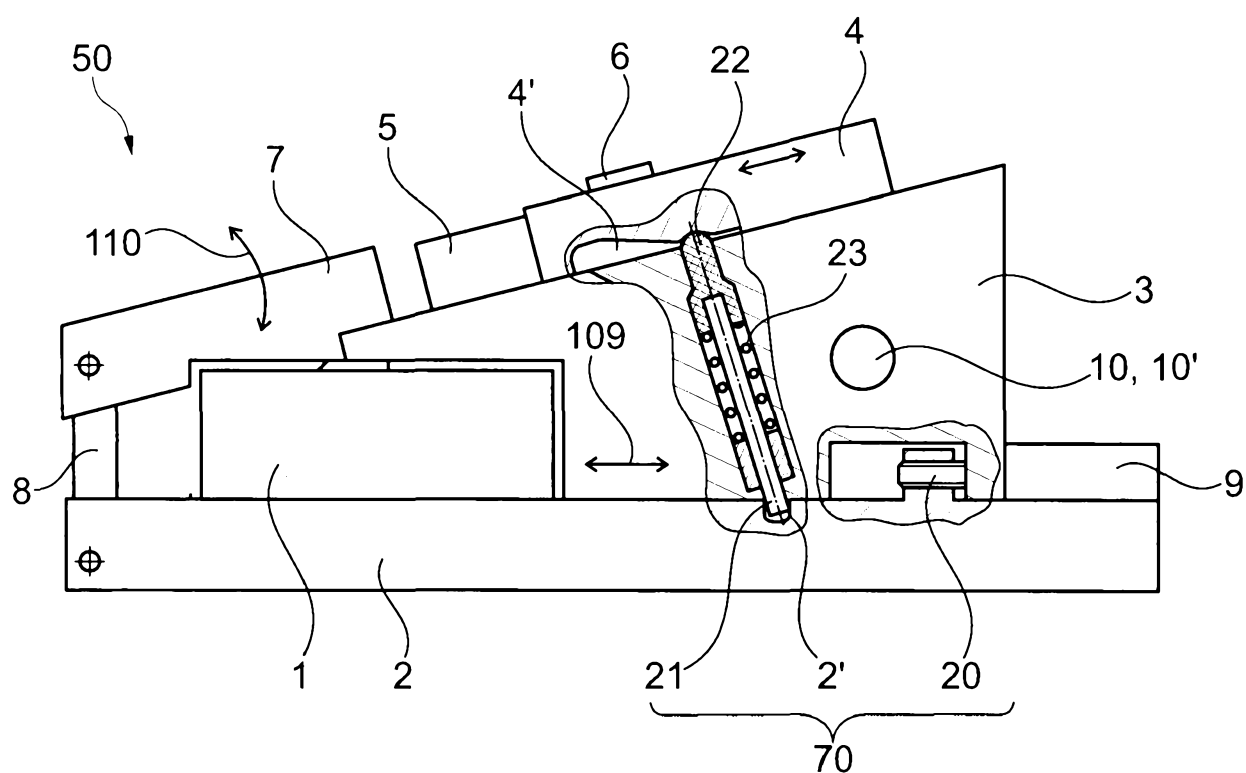
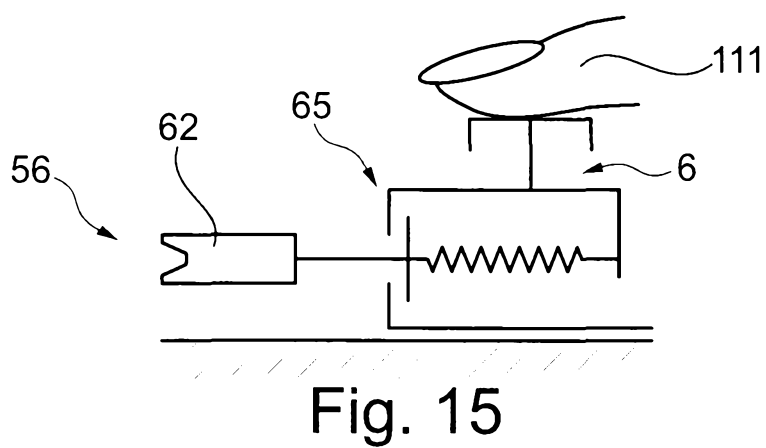
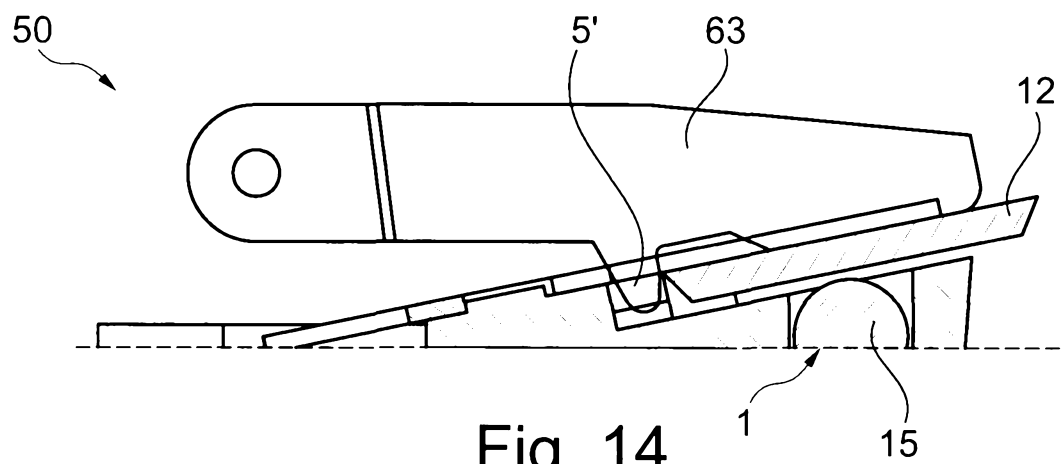


Fig. 13



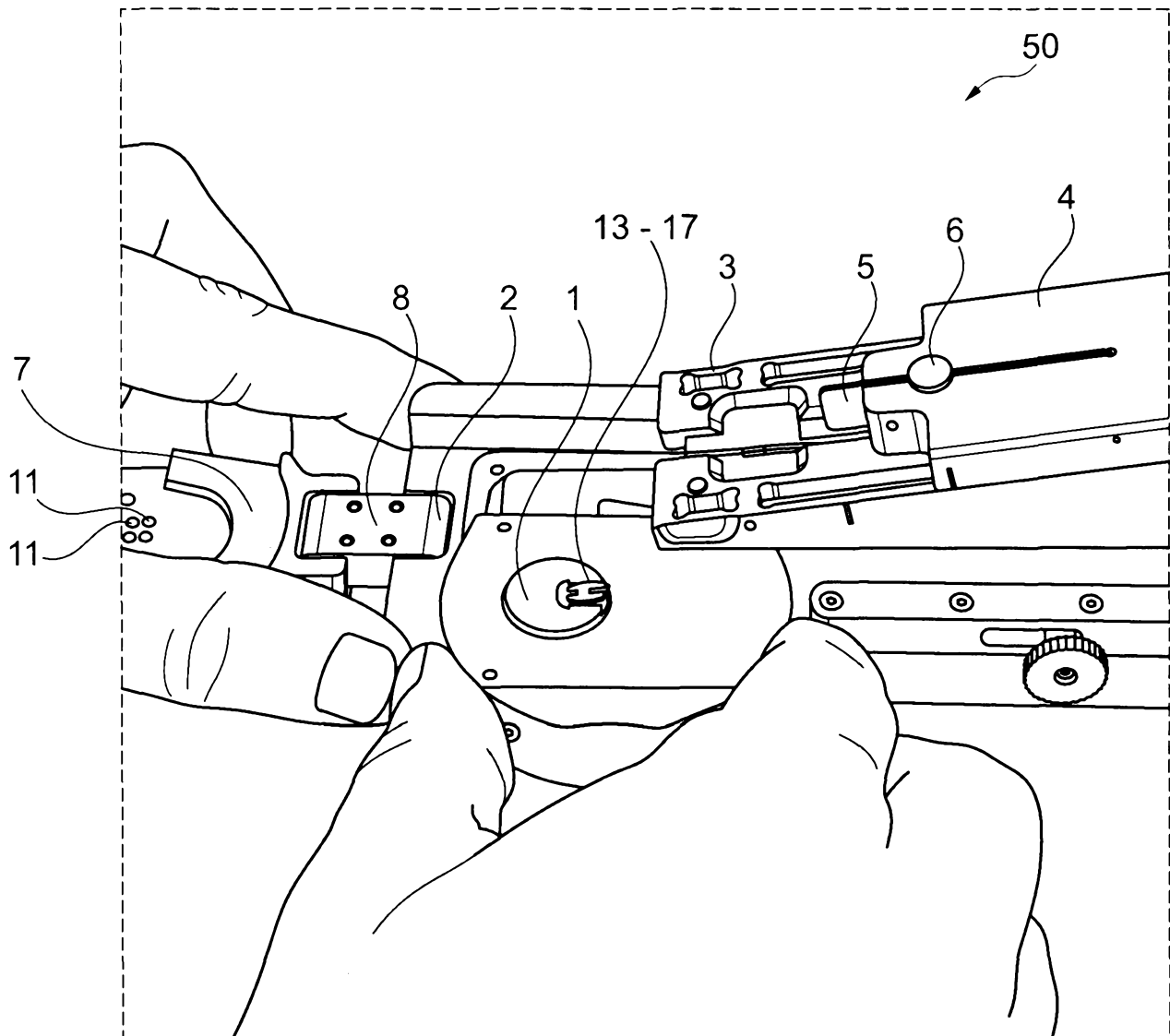


Fig. 17

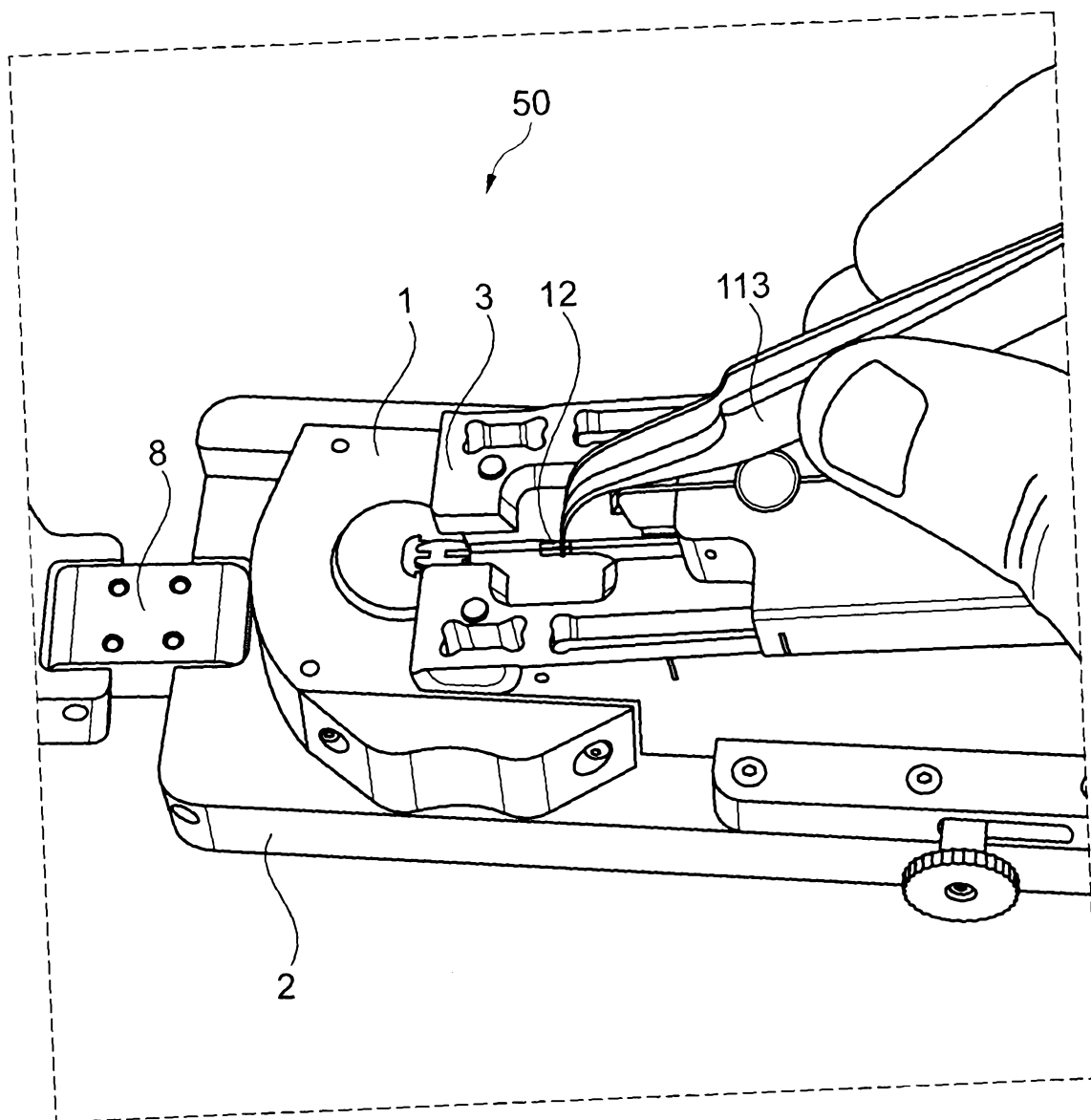


Fig. 18

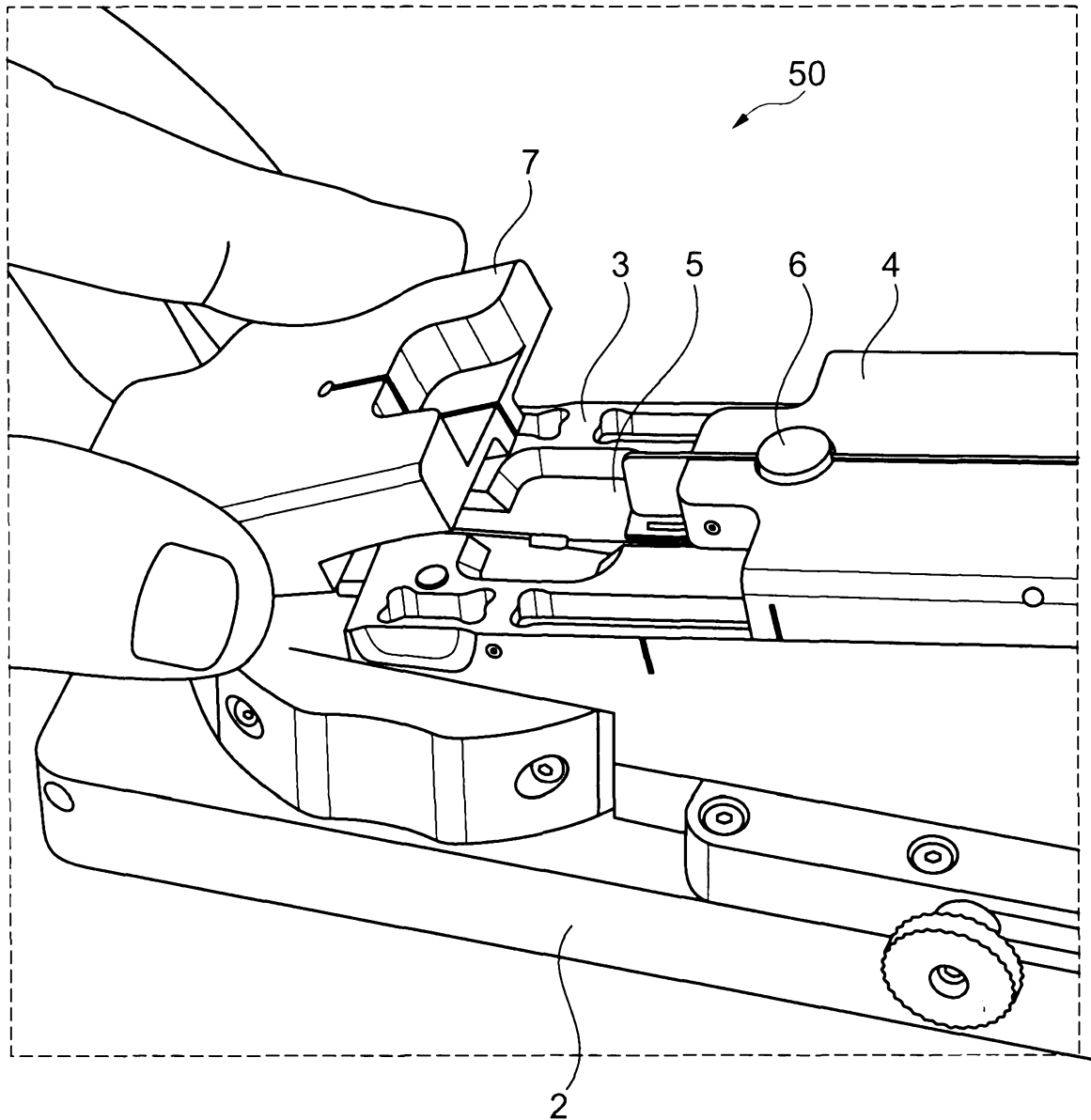


Fig. 19

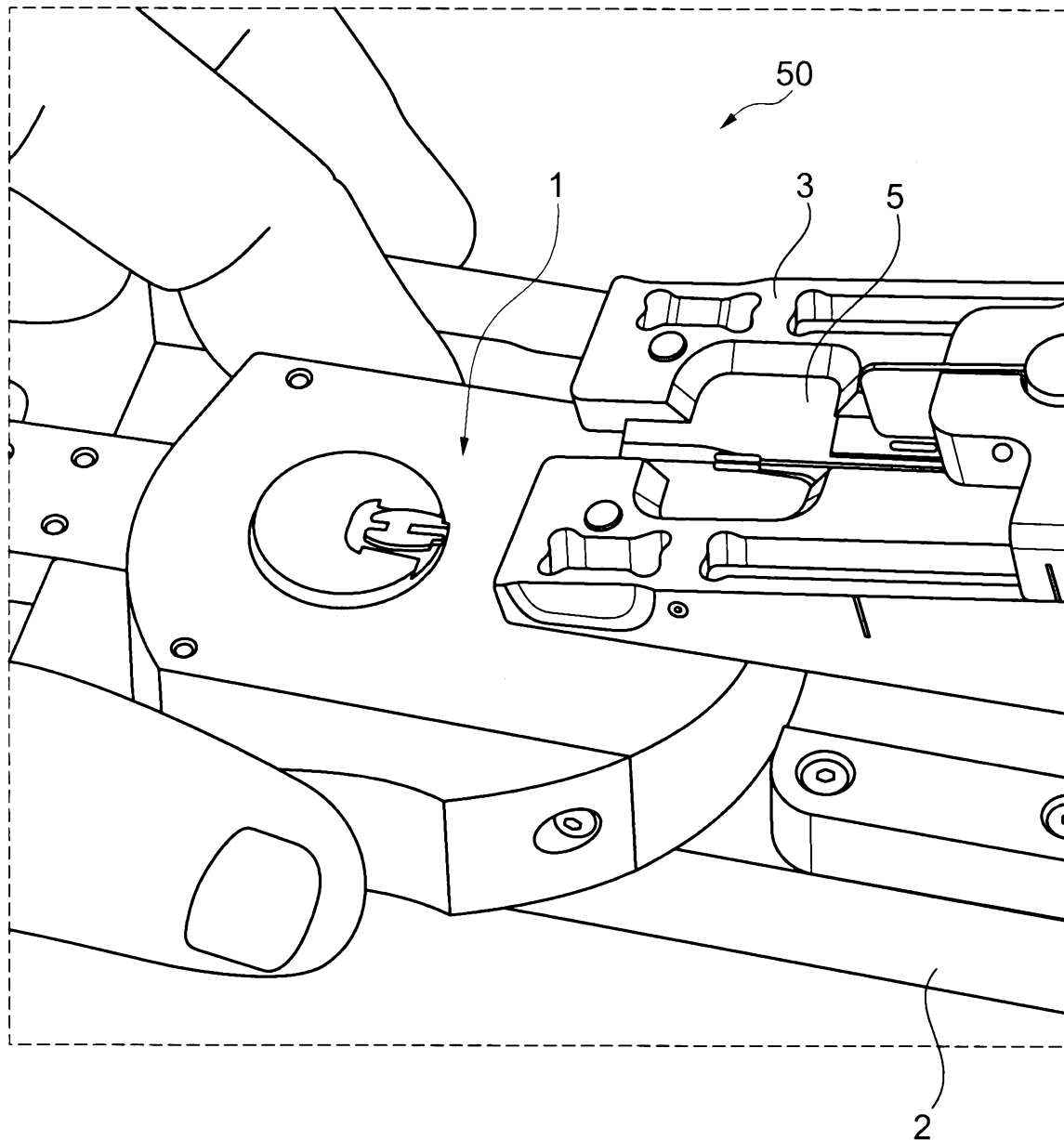


Fig. 20