



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 25 226 T2 2005.08.04**

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 903 606 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 25 226.8**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 307 237.2**

(96) Europäischer Anmeldetag: **08.09.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **24.03.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **28.07.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **04.08.2005**

(51) Int Cl.7: **G02B 21/00**

(30) Unionspriorität:

**935971                      23.09.1997                      US**

(73) Patentinhaber:

**Lucent Technologies Inc., Murray Hill, N.J., US**

(74) Vertreter:

**derzeit kein Vertreter bestellt**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB**

(72) Erfinder:

**Aksyuk, Vladimir Anatolyevich, Piscataway, New Jersey 08854, US; Bishop, David John, Summit, New Jersey 07901, US; Gammel, Peter Ledel, Millburn, New Jersey 07041, US**

(54) Bezeichnung: **Mikromechanischer XYZ-Objektträger für die Verwendung mit optischen Bauteilen**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

## Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein XYZ-Gestell zur Mikroausrichtung eines darauf angeordneten Gegenstands.

## Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Optische Nahfeldmikroskope (NSOM) mit einem räumlichen Auflösungsvermögen im Submikrometerbereich sind körperlich groß und teuer. Diese großen Abmessungen und hohen Kosten verbieten ihre Verwendung bei einer Vielzahl von Anwendungen, bei denen eine solche Submikrometerauflösung sehr nützlich wäre. Zum Beispiel wäre ein sehr kleines, kostengünstiges, hochauflösendes Mikroskop nützlich für Fernablesungsanwendungen, zum Beispiel, wenn die erwünschte Information ein Muster oder eine Änderung im Muster oder in der Form ist, oder zur Bildzusammenstellung in feindlichen Umgebungen und bei der Überwachung von Vorrichtungen/Systemen, bei denen das Mikroskop durch Strahlung, Chemikalien oder Organismen verseucht wird und anschließend entsorgt werden sollte.

**[0003]** Eine Schwierigkeit bei der Entwicklung eines Miniatur-NSOM ist die Bereitstellung eines passenden XYZ-Gestells. Bei einem NSOM wird das betrachtete Probegut gescannt, um ein Bild zu erzeugen. Wenn ein solches Scannen über ein bewegliches Gestell erfolgt, muss dieses Gestell in der Lage sein, eine genau gesteuerte Bewegung in der X-Y-Ebene im Mikrometerbereich durchzuführen. Ein solches Gestell wurde von Indermuehle et al. in "Design and Fabrication of an Overhanging xy-Microactuator with Integrated Tip for Scanning Surface Profiling," Vol. 43, Sensors and Actuators A, Seiten 346–50 (1994) beschrieben.

**[0004]** Zusätzlich liegt der Arbeitsabstand, d. h. der Abstand zwischen der optischen Apertur und dem Probegut, vorzugsweise in der Größenordnung der Apertur, die im Submikrometerbereich liegen kann. Daher muss das Gestell auch in der Z-Ebene präzise in Submikrometer-Inkrementen positionierbar sein. Ein solches Miniatur-XYZ-Gestell wurde von Fan et al. in "Self-Assembled Microactuated XYZ Stages for Optical Scanning and Alignment," Proc. 1997 Int'l. Conf. Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '97), Seiten 319–22, 1997 offenbart. Das XYZ-Gestell von Fan verwendet gleitende/drehende mechanische Gelenke.

**[0005]** Solche Elemente können die Wiederholbarkeit der Bewegung beeinträchtigen und durch Reibung Rauschen verursachen.

**[0006]** Somit besteht ein Bedarf für ein robustes Mi-

niatur-XYZ-Gestell, das eine präzise gesteuerte Bewegung im Submikrometer-Bereich durchführen kann.

## Zusammenfassung der Erfindung

**[0007]** Es werden ein mikromechanisches XYZ-Gestell und ein optisches Nahfeldmikroskop (NSOM), das ein solches Gestell verwendet, offenbart. Erfindungsgemäß sind ein X-Antrieb und ein Y-Antrieb auf einer Tragfläche angeordnet, wie z. B. einem Plättchen, und sie sind mit einem Objektträger verbunden und tragen ihn. Der X-Antrieb und der Y-Antrieb sind koplanar, und sie können betrieben werden, um den Objektträger in einer X-Y-Ebene zu positionieren. In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Antriebe als "Kamm"-Antriebe ausgebildet.

**[0008]** Das XYZ-Gestell weist weiter einen Z-Antrieb auf, der geeignet konfiguriert ist, um eine elektrostatische Kraft zu erzeugen, die den Objektträger aus der X-Y-Ebene hinaus bewegt. Der Z-Antrieb ist ein Stellantrieb mit paralleler Platte, der durch Aufhängen einer Flachplattenelektrode über dem Objektträger unter Verwendung geeigneter Tragmittel hergestellt wird. Wenn eine Spannung über die Plattenelektrode und den Objektträger angelegt wird, bewegt sich der Objektträger aus der X-Y-Ebene hinaus zur Plattenelektrode. Das Tragmittel kann aus drehbaren angelenkten Platten bestehen. Solche drehbaren angelenkten Platten erleichtern den Zusammenbau des Z-Antriebs zusätzlich dazu, dass sie eine Stütze für seine zusammengebaute Konfiguration liefern. Der Z-Antrieb ist physikalisch geeignet, um einen Zugriff zum Objektträger zu ermöglichen.

**[0009]** Das vorliegende XYZ-Gestell kann vorteilhaft zusammen mit optischen Elementen verwendet werden. In einer Ausführungsform wird das XYZ-Gestell zum Beispiel verwendet, um ein NSOM zu bilden. Erfindungsgemäß nimmt der Z-Antrieb die Spitze einer Lichtleitfaser auf, die auf Submikrometergröße gezogen wurde. Die Lichtleitfaser liefert Licht an ein Probegut, das auf dem Objektträger unter dem Z-Antrieb angeordnet ist. Das Gestell wird unter Verwendung des Kammantriebs bewegt, und das vom Probegut reflektierte oder durch das Probegut übertragene Licht wird von einer Fernfeldoptik aufgefangen und an eine Verarbeitungselektronik geliefert. Die Verarbeitungselektronik kann ein Lichtmessgerät aufweisen, das mit einem Computer verbunden ist, die gemeinsam betrieben werden können, um eine Darstellung des Probeguts zu erzeugen, zum Beispiel durch eine grafische Stärke-Positions-Darstellung.

**[0010]** In einer weiteren Ausführungsform kann eine mikrobearbeitete Spitze auf dem vorliegenden XYZ-Gestell zur Verwendung in der Abtastsonden-Mikroskopie ausgebildet werden.

## Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0011] Weitere Merkmale der Erfindung gehen klarer aus der nachfolgenden ausführlichen Beschreibung spezifischer Ausführungsformen in Zusammenhang mit den beiliegenden Figuren hervor. Es zeigen:

[0012] [Fig. 1](#) ein XY-Gestell und einen zugeordneten X-Antrieb und Y-Antrieb;

[0013] [Fig. 2](#) eine Ausführungsform, bei der der X-Antrieb und der Y-Antrieb aus [Fig. 1](#) je zwei Stellantriebe aufweisen;

[0014] [Fig. 3](#) eine Ausführungsform der Stellantriebe aus [Fig. 2](#);

[0015] [Fig. 4](#) ein erfindungsgemäßes XYZ-Gestell;

[0016] [Fig. 5](#) ein Ausführungsbeispiel eines Z-Antriebs gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0017] [Fig. 6](#) ein Ausführungsbeispiel einer angelenkten Tragplatte zur Verwendung in Zusammenwirkung mit dem Z-Antrieb;

[0018] [Fig. 7](#) ein Ausführungsbeispiel einer Verriegelung einer angelenkten Tragplatte zur Verwendung in Zusammenwirkung mit dem Z-Antrieb; und

[0019] [Fig. 8](#) eine Ausführungsform eines optischen Nahfeldmikroskops, das das vorliegende XYZ-Gestell verwendet.

## Ausführliche Beschreibung

[0020] [Fig. 1](#) zeigt ein XY-Gestell 4, das auf einem Plättchen 10 angeordnet ist. Das XY-Gestell 4 enthält einen Objektträger 12, der über Verbindungen 14 und 16 je mit einem X-Antrieb 20 bzw. einem Y-Antrieb 40 verbunden ist. Der x-Antrieb 20 kann betrieben werden, um den Objektträger 12 in die Richtungen zu bewegen, die durch den Richtungsvektor 6 angezeigt sind. Der Y-Antrieb 40 kann betrieben werden, um den Objektträger 12 in die Richtungen zu bewegen, die durch den Richtungsvektor 8 angezeigt sind. Die gesteuerte Betätigung des X- und des Y-Antriebs 20, 40 ermöglicht die Positionierung des Objektträgers 12 in einer X-Y-Ebene.

[0021] In einer Grundauführung weisen sowohl der X- als auch der Y-Antrieb 20, 40 zwei Stellantriebe 20a, 20b bzw. 40a, 40b auf, wie in [Fig. 2](#) gezeigt ist. Die Stellantriebe 20a, 20b sind mit dem Objektträger 12 über Verbindungen 14a bzw. 14b verbunden. Die Stellantriebe 40a, 40b sind mit dem Objektträger 12 über Verbindungen 16a bzw. 16b verbunden. Zwei solche Stellantriebe sind für jeden der Antriebe 20, 40 notwendig, da in der beschriebenen Grundauführung die Stellantriebe nur in einer Richtung betätigbar

sind, d. h. zum Schieben oder, bevorzugter, zum Ziehen. So kann der Stellantrieb 20a betrieben werden, um über die Verbindung 14a eine Kraft an den Objektträger 12 anzulegen, so dass der Objektträger sich zum Stellantrieb 20a bewegt, wie durch den Richtungsvektor 6a angezeigt. In gleicher Weise können die Stellantriebe 20b, 40a und 40b betrieben werden, wenn sie betätigt werden, um den Objektträger 12 in die Richtungen zu bewegen, die durch die Richtungsvektoren 6b, 8a bzw. 8b angezeigt sind.

[0022] In einer Ausführungsform sind die Stellantriebe 20a, 20b, 40a, 40b als übliche "Kamm"-Antriebe ausgeführt. Der Kammantrieb 20a ist in [Fig. 3](#) dargestellt. Alle vier Kammantriebe sind gleich; es ist die Anordnung des Kammantriebs, welche die Richtung bestimmt, in der er den Objektträger 12 bei seiner Betätigung bewegt.

[0023] Wie in [Fig. 3](#) gezeigt, weist der Kammantrieb 20a ineinander verzahnte, bewegliche Zinken 21 und ortsfeste Zinken 22 auf. Die beweglichen Zinken 21 sind mit einem ersten Abschnitt 25 des Gestells 23 verbunden. Die Verbindung 14a ist mit einem zweiten Abschnitt 27 des Gestells 23 verbunden. Die ortsfesten Zinken 22 sind mit einem ersten Abschnitt 26 eines Rahmens 24 verbunden. Ein zweiter Abschnitt 28 des Rahmens 24 ist auf einer Drahtleitung 36 angeordnet. Die Drahtleitung 36 steht in elektrischem Kontakt mit einem Anschlussfleck 32, der einen Draht 34 zum Liefern einer Spannung an die ortsfesten Zinken 22 des Kammantriebs 20a aufnimmt.

[0024] Die Arme 38 der Antriebsträger 30 (nur ein Antriebsträger ist aus Gründen der Klarheit ganz gezeigt) sind am Gestell 23 an Gestell-Seitenelementen 29 befestigt. Die Antriebsträger 30 tragen das Gestell 23 und die damit verbundenen beweglichen Zinken 21 und die Verbindung 14a oberhalb darunter liegender Schichten, zum Beispiel der Tragfläche 10, oder einer beliebigen leitenden oder isolierenden Schicht, die darauf angeordnet ist. Die Antriebsträger 30 heben das Gestell 23, die Verbindung 14a und die beweglichen Zinken 21 etwa 2 Mikrometer über solche darunter liegenden Flächen an. Eine leitende Schicht 33, typischerweise aus Polysilicon, ist auf der Tragfläche 10 unter den Antriebsträgern 30, dem Gestell 23, den beweglichen Zinken 21 usw. angeordnet. Der Antriebsträger 30 steht in elektrischem Kontakt mit der leitenden Schicht 33 und ist am Hebeelement 31 daran befestigt. Die leitende Schicht 33 steht in elektrischem Kontakt mit einem Drahtanschlussfleck 35, der einen Draht 37 zum Liefern einer Spannung an das Gestell 23 und dadurch an die beweglichen Zinken 21 aufnimmt.

[0025] Im Betrieb wird über die ineinander verzahnten Zinken 21 und 22 eine Spannung angelegt, wodurch eine elektrostatische Kraft zwischen ihnen erzeugt wird. Als Reaktion werden die beweglichen Zin-

ken **22** zu den ortsfesten Zinken **22** gezogen, wie durch den Richtungsvektor **6a** angezeigt. Da der Objektträger **12** über das Gestell **23** und die Verbindung **14a** mit den beweglichen Zinken **21** verbunden ist, wird er auch in die Richtung gezogen, die durch den Richtungsvektor **6a** angezeigt wird.

**[0026]** Die anderen drei Kammantriebe **20b**, **40a**, **40b** sind gleich konstruiert und betreibbar, um den Objektträger **12** in die Richtungen zu ziehen, die durch die jeweiligen Richtungsvektoren **6b**, **8a** bzw. **8b** angezeigt werden, die in [Fig. 2](#) zu sehen sind. Das oben beschriebene und in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) dargestellte XY-Gestell **4** ist im Stand der Technik bekannt. Die X- und Y-Antriebe **20**, **40** können unter Verwendung einer Vielzahl von entsprechend gestalteten Stellantrieben implementiert werden, die dem Fachmann bekannt sind. Die oben beschriebenen Kammantriebe sind eine von vielen geeigneten Ausführungsformen eines solchen Stellantriebs.

**[0027]** Im in [Fig. 3](#) gezeigten Ausführungsbeispiel ist der Antriebsträger **30** am Element **39** "umgebogen", d. h. die Arme **38** stehen vom Element **39** in einer Richtung vor, die um 180° entgegengesetzt zu der Richtung liegt, in der die Arme vom Ankerelement **31** vorstehen. Diese Anordnung wird als eine Konfiguration "mit umgebogenem Balken" bezeichnet. Es sollte klar sein, dass die Stellantriebe in anderen Ausführungsformen anders gestaltet sein können, soweit es innerhalb der Möglichkeiten eines Durchschnittsfachmanns liegt, aber immer noch eine Stütze für die und wahlweise einen elektrischen Kontakt mit den Stellantrieben liefern.

**[0028]** Ein XYZ-Gestell **2** wird durch Hinzufügen eines Z-Antriebs zum oben erwähnten XY-Gestell **4** gebildet. Gemäß der vorliegenden Erfindung ist der Z-Antrieb geeignet konfiguriert, um eine elektrostatische Kraft zu erzeugen, die den Objektträger **12** aus der X-Y-Ebene heraus bewegt. In einem in [Fig. 4](#) dargestellten Ausführungsbeispiel weist der Z-Antrieb **48** einen Parallelplatten-Stellantrieb und Tragmittel **54** auf. Aus Gründen der Klarheit der Darstellung wurde der Y-Antrieb **40** in [Fig. 4](#) nicht dargestellt.

**[0029]** In der in [Fig. 4](#) gezeigten Ausführungsform wird der Parallelplatten-Stellantrieb durch Aufhängen einer Plattenelektrode **50** über dem Objektträger **12** mittels eines Tragmittels **54** hergestellt. In manchen Ausführungsformen hat die Plattenelektrode **50** eine Öffnung **52**, um durch diese einen Zugriff zum Objektträger **12** aus der Senkrechten zu ermöglichen. Die Plattenelektrode **50** steht in elektrischem Kontakt mit einer Elektrode **70**, die ihrerseits mit einer Drahtleitung **72** in elektrischem Kontakt steht. Die Drahtleitung **72** steht mit einem Anschlussfleck **74** in elektrischem Kontakt, der den Draht **76** aufnimmt.

**[0030]** Im Betrieb wird über den Draht **76**, den An-

schlussfleck **74**, die Drahtleitung **72** und die Elektrode **70** eine Spannung an die Plattenelektrode **50** geliefert. Es wird eine elektrostatische Kraft zwischen dem Objektträger **12** und der Plattenelektrode **50** erzeugt, die den Objektträger dazu bringt, sich aus der Ebene heraus zur Plattenelektrode zu bewegen. Unter Verwendung einer Kapazitäts-Präzisionsmessbrücke kann die Position des Objektträgers **12** erfasst und bis auf 20 nm oder weniger in der Z-Richtung gesteuert werden. Daher können die Plattenelektrode **50** und die zugeordneten Elemente in Verbindung mit dem X-Antrieb **20** und dem Y-Antrieb **40** zusammen betrieben werden, um den Objektträger **12** in einem dreidimensionalen Raum zu bewegen.

**[0031]** In bevorzugten Ausführungsformen ist das Tragmittel **54** eine Anordnung von angelenkten Platten, die geeignet konfiguriert sind, um die Plattenelektrode **50** anzuheben und sie permanent über den Objektträger **12** zu hängen. Die in Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung verwendeten angelenkten Platten sind den Fachleuten in der Mikrobearbeitungsindustrie wohl bekannt. Siehe zum Beispiel Pister et al. "Microfabricated Hinges", Vol. 33, Sensors and Actuators A, Seiten 249–56, 1992. Eine Technologie zur Herstellung solcher Drehgelenke und daraus gebildete Mikrovorrichtungen ist vom MEMS Technology Application Center at North Carolina (MCNC) unter Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)-unterstützten Multi-User-MEMS-Prozessen (MUMPs) erhältlich. Die MCNC-MUMPs-Technologie verwendet drei Polysiliconschichten, bei denen angelenkte Platten unter Verwendung von Photolithographieverfahren gebildet werden. Siehe auch EP-A-0 880 040 und EP-A-0 880 077.

**[0032]** Ein Ausführungsbeispiel eines Tragmittels **54**, das solche angelenkten Platten verwendet, ist in [Fig. 5](#) dargestellt. Aus Gründen der Klarheit der Darstellung sind das XY-Gestell **4** und die zugehörigen Elemente in [Fig. 5](#) nicht dargestellt. In der in [Fig. 5](#) gezeigten Ausführungsform weist das Tragmittel **54** zwei angelenkte Tragplatten **55** und zwei angelenkte Tragplattenverriegelungen **63** auf. Wie in den [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) gezeigt, enthält jede Tragplatte **55** Drehgelenke **57**, mehrere Öffnungen **56** und zwei Heber **66**. Die Öffnungen **56** nehmen leitende Finger **58** auf, die mit den Elektroden **70** an einem Ende und der Plattenelektrode **50** am anderen Ende verbunden sind. Die Finger **58** haben eine doppelte Funktion. Eine Funktion ist die elektrische Verbindung zur Plattenelektrode **50**. Eine zweite Funktion ist es, zum Zusammenbau der Plattenelektrode **50** und des Tragmittels **54** wie nachfolgend beschrieben beizutragen.

**[0033]** Die verschiedenen Platten, Elektroden und anderen Elemente, die zum vorliegenden XYZ-Gestell gehören, sind in einer von zwei Polysiliconschichten gestaltet, die auf die Tragfläche **10** aufge-

bracht sind, zum Beispiel unter Verwendung des MCNC-MUMPs-Verfahrens. Solche Elemente sind in der Ebene der Tragfläche **10** angeordnet, wenn sie geformt sind. Es ist klar, dass zum Formen des in [Fig. 5](#) gezeigten Z-Antriebs diese Elemente entweder gedreht (die Tragplatten **55**, die Tragplattenverriegelungen **63**) oder aus der Ebene der Tragfläche **10** angehoben werden müssen (die Plattenelektrode **50**).

**[0034]** Die Plattenelektrode **50** kann von der Tragfläche **10** durch Anheben des nicht angelenkten Endes jeder Tragplatte **55** angehoben werden, so dass die Tragplatte um das Drehgelenk **57** dreht. [Fig. 6](#) stellt ein solches Anheben und Drehen entlang des Pfads **82** für eine der Tragplatten **55** dar. Wenn eine Tragplatte **55** in der dargestellten Richtung gedreht wird, werden die durch die Öffnungen **56** in den Tragplatten verlaufenden Finger **58** in Bezug auf die Tragfläche **10** nach oben bewegt. Da die Finger **58** an der Plattenelektrode **50** befestigt sind, wird diese ebenfalls aus der Ebene heraus bewegt.

**[0035]** Die Plattenelektrode **50** wird von der Tragfläche **10** in eine Endstellung angehoben, typischerweise etwa 30 Mikrometer über der Tragfläche. Wenn die Plattenelektrode **50** in dieser Stellung ist, nehmen die Tragplatten **55** eine im wesentlichen senkrechte Ausrichtung in Bezug auf die Tragfläche **10** ein. Die Tragplatten **55** können in der oben erwähnten senkrechten Ausrichtung über Tragplattenverriegelungen **63** befestigt werden. Im in [Fig. 5](#) gezeigten Ausführungsbeispiel weist jede Tragplattenverriegelung **63** zwei angelenkte Platten **62a**, **62b** und ein Verbindungsglied **64** zwischen ihnen auf. Jede angelenkte Platte **62a**, **62b** hat einen Schlitz **66**, der an ihrem nicht angelenkten Ende ausgebildet ist. Um die Tragplatten **55** in Stellung zu befestigen, werden die Tragplattenverriegelungen **63** angehoben, zum Beispiel durch Anordnen einer Mikropipette unter dem Verbindungsglied **64**. Beim Anheben jeder Tragplattenverriegelung dreht diese um das Drehgelenk **68** zur aufgehängten Plattenelektrode und den Tragplatten **55**. Die Drehung um das Drehgelenk **68** entlang eines Pfads **84** ist für eine der Tragplattenverriegelungen **63** in [Fig. 7](#) dargestellt. Eine solche Drehung wird fortgesetzt, bis der Schlitz **66** mit einem Vorsprung oder Heber **60** in Eingriff kommt, der an jedem Ende der Tragplatten **55** angeordnet ist. Zusätzlich kann ein Kleber auf den Drehgelenken **57**, **68** und in den in die Heber **60** eingreifenden Schlitzen **66** angebracht sein, um eine Bewegung der Tragplatte **55** bzw. der Tragplattenverriegelungen **63** zu verhindern. Der Kleber kann gemäß einem in der EP-A-0 878 244 beschriebenen Verfahren aufgebracht werden. Es ist klar, dass viele andere Anordnungen zum Anheben und Stützen der Plattenelektrode **50** und zur Bildung eines Parallelplatten-Stellantriebs und der zugeordneten Tragmittel in Zusammenhang mit der vorliegenden Verbindung verwendet werden können.

**[0036]** Das vorliegende XYZ-Gestell kann vorteilhafterweise zusammen mit optischen Elementen verwendet werden. Zum Beispiel wird in einer Ausführungsform das XYZ-Gestell in Kombination mit einer Lichtleitfaser verwendet, die eine Mikrometer- oder noch kleinere Apertur zur Bildung eines optischen Nahfeldmikroskops (NSOM) aufweist.

**[0037]** Nahfeldmikroskope arbeiten unter Verwendung einer sehr kleinen Apertur zum "Fokussieren" von Licht auf eine kleine Fleckgröße. Die Fleckgröße kann sehr viel kleiner sein als die Lichtwellenlänge  $\lambda$ . Das Licht wird über ein Probegut gescannt und von einer Fernfeldoptik aufgefangen. Das aufgefangene Licht wird dann an eine Verarbeitungselektronik geliefert, um die Stärke oder andere optische Eigenschaften zu messen und um die Messergebnisse in ein Bild zu verarbeiten. Siehe Betzig et al., "Near-Field Optics: Microscopy, Spectroscopy, and Surface Modification Beyond the Diffraction Limit," Vol. 257, Science, Seiten 189–195, 10. Juli 1992.

**[0038]** Ein NSOM gemäß der vorliegenden Erfindung ist in [Fig. 8](#) gezeigt. Aus Gründen der Klarheit der Darstellung wurden weder der X- noch der Y-Antrieb **20**, **40** dargestellt, und das Tragmittel **54** ist symbolisch angedeutet. Es ist klar, dass das vorliegende NSOM ein XYZ-Gestell gemäß der vorliegenden Erfindung sowie eine Lichtleitfaser **90** aufweist, die eine Apertur von reduzierter Größe **92** besitzt. Die Öffnung **52** in der Plattenelektrode **50** ermöglicht der Lichtleitfaser **90** den Zugang zum Objektträger **12**.

**[0039]** Wie in der vorliegenden Beschreibung implementiert, kann die Apertur, die einen Durchmesser typischerweise in der Größenordnung von etwa 50 bis 100 Nanometern (nm) aufweist, durch Herunterziehen der Spitze einer Lichtleitfaser mittels bekannter Verfahren geformt werden. Gemäß einem solchen Verfahren wird eine Spannung an die Faser angelegt, und die Faser wird lokal mit einem fokussierten Laserfleck erwärmt. Beim Erwärmen beginnt die Faser zu fließen und trennt sich in zwei Teile mit fein verjüngten Enden auf. Dann wird Metall auf die verjüngten Spitzen aufgebracht, wobei an der Spitze eine kleine Öffnung freigelassen wird.

**[0040]** Es ist wichtig, einen Zwischenraum von im wesentlichen konstanter Größe zwischen der Faserapertur **92** und dem Objektträger **12** aufrechtzuerhalten. Dies wird üblicherweise dadurch erzielt, dass die Abscherkraft gemessen wird. Gemäß einer solchen üblichen Praxis wird die Faser, wie z. B. die Faser **90**, unter Verwendung eines Piezo-Elements in Schwingung versetzt. Der Objektträger, wie zum Beispiel der Objektträger **12**, wird nach oben zur Faser bewegt, bis eine Eigenschaft der Faserbewegung sich ändert. Zum Beispiel kann die Amplitude der Bewegung abnehmen. Eine solche Veränderung, zum Beispiel eine Abnahme der Amplitude, tritt auf, wenn

aufgrund der Nähe der Faserspitze zur Oberfläche des Probeguts eine Abscherkraft auf die Faserspitze einwirkt. Die Eigenschaften, z. B. die Amplitude und die Frequenz, der Faserschwingung können durch Beobachten des gleichen Piezo-Elements überwacht werden, das zum Antrieb der Faser verwendet wird. In einem solchen Fall wird die Wechselstromimpedanz des Piezo-Elements gemessen. Alternativ kann eine zusätzliche Lichtquelle/ein Detektor verwendet werden.

**[0041]** In einem Verfahren der Verwendung eines XYZ-Gestells gemäß der vorliegenden Erfindung wird die Zwischenraumgröße durch Überwachung von Veränderungen im mechanischen Verlust beim Schwingen des Objektträgers **12** in Z-Richtung mit einer Amplitude von etwa 50 nm überwacht. Das vorliegende Verfahren vermeidet vorteilhafterweise die von Verfahren des Stands der Technik verwendeten Scherkräfte, die zerbrechliche Probegüter beschädigen können. Gemäß dem vorliegenden Verfahren wird eine Kapazitätsbrücke mit der Plattenelektrode **50** und dem Objektträger **12** verbunden. Die Ausgabedaten der Brücke sind die Kapazität C und der Verlust G. Vereinfacht gesagt, legt die Brücke Spannung an und misst den Strom. Die angelegte Spannung entspricht der Summe der Gleichstrom- und Wechselstromkomponenten, d. h.  $V_{app} = V_{DC} + V_{AC}$ . Die Gleichstromspannung, die typischerweise im Bereich von 0 bis etwa 40 Volt liegt, bestimmt die Position des Objektträgers **12** in der Z-Richtung, d. h. bei der Bewegung zur Plattenelektrode **50**. Die Wechselstromspannung liegt typischerweise auf einem viel niedrigeren Wert. Nur die Wechselstromkomponente des Stroms wird gemessen. Die phasenempfindliche Messung erleichtert die Bestimmung sowohl der kapazitiven (C) als auch der resistiven Komponente (G) der Impedanz des Objektträgers und der Plattenelektrode.

**[0042]** Die Position des Objektträgers kann theoretisch auf der Basis der physikalischen Abmessungen des Objektträgers (**12**) und der Plattenelektrode (**50**) usw., und der Kapazitätsmessung bestimmt werden. Eine Beziehung zwischen Kapazität und Position kann dann entwickelt werden. Vorzugsweise werden konkrete Messungen des Zwischenraums zwischen Objektträger (**12**) und Plattenelektrode (**50**) in Verbindung mit Kapazitätsmessungen für verschiedene angelegte Spannungen durchgeführt. Auf diese Weise kann die Kapazität verwendet werden, um die Position in der Z-Richtung als eine Funktion der Gleichspannung zu bestimmen.

**[0043]** Die Wechselspannung, deren Frequenz niedriger ist als die Resonanzfrequenz des XYZ-Gestells, wird verwendet, um den Objektträger mechanisch um seine Gleichgewichtsposition in Schwingung zu versetzen, wie durch  $V_{DC}$  bestimmt wird. Wenn die Sondenspitze sich in der Nähe der Oberflä-

che eines leeren Objektträgers **12** oder der Oberfläche eines darauf angeordneten Probeguts befindet, wirken Kräfte zwischen der Spitze und der Oberfläche. Die Kraft beeinflusst die Schwingungsamplitude des Gestells. Die Schwingungsamplitude wird von  $V_{AC}$ ,  $V_{DC}$  und mechanischen Verlusten sowie durch Wechselstromfrequenz bestimmt. Da die elektrischen Verluste vernachlässigbar sind, wird jede Energiestreuung durch mechanischen Verlust verursacht. Der mechanische Verlust, der durch Luftbefeuchtung verursacht wird, ist proportional zur Schwingungsamplitude. Daher können Veränderungen einer solchen Amplitude durch Veränderungen in G beobachtet werden. Die Nähe der Spitze zu einer solchen Oberfläche kann dadurch bestimmt werden.

**[0044]** Außerdem kann das vorliegende Verfahren für eine Spitze-zu-Probegut-Annäherungsbestimmung durch Schwingen des Objektträgers **12** sowohl in der X- oder der Y-Richtung als auch und der Z-Richtung verwendet werden. In einem solchen Fall ist das Verfahren eine Abänderung des Abscherkraft-Feedbacks.

**[0045]** Obwohl nicht in den Zeichnungen dargestellt, weist das vorliegende NSOM auch gesteuerte Spannungsquellen zur Betätigung des X-Antriebs, des Y-Antriebs und des Z-Antriebs und zur Steuerung der dem Objektträger über den X-Antrieb, den Y-Antrieb und den Z-Antrieb verliehenen Bewegung auf. Wie oben angemerkt, kann die Kapazität des Z-Antriebs und/oder des X- und Y-Antriebs gemessen werden, um die Bewegung des Objektträgers zu steuern.

**[0046]** Zusätzlich enthält das NSOM eine Fernfeldoptik, die betrieben werden kann, um Licht aufzufangen, das von einem Probegut auf dem Objektträger reflektiert oder durch es hindurch übertragen wird. Eine solche Optik enthält typischerweise eine Objektivlinse zum Auffangen von reflektiertem/übertragenem Licht und eine Optik zum Liefern eines solchen Lichts an einen Detektor, und den Detektor. Der Detektor kann ein Photovervielfacher sein, obwohl auch viele andere Lichtdetektoren, die zur Messung der Stärke und anderer Eigenschaften geeignet sind, verwendet werden können. Zum Beispiel können die Vorspannung, Zeitverzögerung, und Veränderungen der Vorspannung, des Spektrums usw. in geeigneter Weise verwendet werden. Der Detektor ist seinerseits mit einem Prozessor verbunden, der geeignet gestaltet oder programmiert ist, um die Stärke-/Kontrastmessungen in ein Bild zu verarbeiten.

**[0047]** In einem ersten Ausführungsbeispiel kann das NSOM auf einer Tischoberfläche angeordnet werden. In einer solchen Ausführungsform kann ein übliches Mikroskop vorteilhafterweise verwendet werden, um die Fernfeldoptik zu liefern. Insbesondere werden die Objektivlinse und andere optischen

Einrichtungen eines üblichen Mikroskops zum Liefern von Licht an eine Kameraöffnung des Mikroskops zusammen mit einem kommerziellen Belichtungsmesser verwendet, der auf diese Öffnung aufgesetzt ist.

**[0048]** In einem zweiten Ausführungsbeispiel kann das NSOM innerhalb eines Kryostaten für Tieftemperaturuntersuchungen angeordnet werden, wie zum Beispiel zur Untersuchung der Supraleitfähigkeit. In einer solchen Ausführungsform weist die Fernfeldoptik eine GRIN-Linse (Gradientenindexlinse), eine faseroptische Bildleitung zum Liefern von Licht aus dem Kryostaten, und einen Belichtungsmesser auf.

**[0049]** Es ist dem Fachmann klar, dass die Fernfeldoptik und die (nicht erörterte) Beleuchtungsoptik typischerweise Polarisatoren, Filter und eine Vielfalt anderer Komponenten aufweisen. Siehe zum Beispiel Betzig et al., "Near-Field Optics: Microscopy, Spectroscopy, and Surface Modification Beyond the Diffraction Limit," worauf bereits weiter oben Bezug genommen wurde.

**[0050]** In einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann eine nicht dargestellte SPM(Rastersondenmikroskopie)-Sonde auf dem vorliegenden XYZ-Gestell angeordnet werden. In manchen Ausführungsformen kann eine solche Sonde durch Mikrobearbeitung hergestellt werden, wie zum Beispiel eine mikrobearbeitete Silikonspitze. Die SPM-Sonde ermöglicht die Verwendung des vorliegenden XYZ-Gestells zum Beispiel für die Rasterkraftmikroskopie (AFM) oder die Raster-Tunnel-Mikroskopie (RTM).

**[0051]** Sowohl AFM als auch RTM umfassen die genaue Bewegungs- und Positionserfassung einer scharfen Abtastspitze. Siehe Indermuehle et al. in "Design and Fabrication of an Overhanging xy-Microactuator with Integrated Tip for Scanning Surface Profiling," Vol. 43, Sensors and Actuators A, Seiten 346–50 (1994).

### Patentansprüche

1. Mikromechanisches XYZ-Gestell, das für dreidimensionale Bewegungen betätigbar ist und Folgendes aufweist:  
 – einen Objektträger (**12**);  
 – einen X-Antrieb (**20**), der technisch so ausgelegt ist, dass er den Objektträger entlang einer ersten Achse (**6**) bewegt;  
 einen Y-Antrieb (**40**), der technisch so ausgelegt ist, dass er den Objektträger entlang einer zweiten Achse (**8**) bewegt, wobei die zweite Achse mit der ersten Achse koplanar ist; und  
 – einen Z-Antrieb (**48**), der technisch so ausgelegt ist, dass er den Objektträger entlang einer dritten Achse (**13**) bewegt, die zur ersten und zweiten Achse ortho-

gonal liegt, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Z-Antrieb eine Elektrode (**50**) aufweist, die mit Hilfe eines Trägers (**54**) über dem Objektträger aufgehängt ist, wobei der Träger eine Tragplatte (**55**) aufweist, die drehbar an einer Tragfläche (**10**) befestigt ist.

2. XYZ-Gestell nach Anspruch 1, wobei die Elektrode eine Plattenelektrode (**50**) ist.

3. XYZ-Gestell nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Tragplatte Öffnungen (**56**) aufweist, die elektrisch leitende Elemente (**58**) aufnehmen, die von der Elektrode abstehen.

4. XYZ-Gestell nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Z-Antrieb so ausgelegt ist, dass er unter Verwendung einer Kapazitätsmessbrücke gesteuert wird, die elektrisch mit dem Objektträger und der Plattenelektrode verbunden ist.

5. XYZ-Gestell nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Tragplatte über ein Gelenk (**57**) drehbar an der Tragfläche befestigt ist.

6. XYZ-Gestell nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Träger weiter eine Tragplattenverriegelung (**63**) aufweist, um die Tragplatte in einer Ausrichtung festzulegen, die außerhalb der Ebene in Bezug auf die Tragfläche liegt.

7. XYZ-Gestell nach Anspruch 6, wobei die Tragplattenverriegelung eine Platte (**62**) aufweist, die drehbar an der Tragfläche befestigt ist, und wobei die Platte weiter technisch so ausgelegt ist, dass sie in einen Vorsprung (**60**) eingreift, der von der Tragplatte absteht.

8. XYZ-Gestell nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei mindestens der X- oder der Y-Antrieb ein Kammantrieb ist.

9. XYZ-Gestell nach Anspruch 8, wobei jeder Kammantrieb einen Antriebsträger (**30**) aufweist, der von einem Antriebsgestell (**23**) abhängt und das Antriebsgestell über der Tragfläche stützt.

10. XYZ-Gestell nach Anspruch 9, wobei der Antriebsträger wie ein umgebogener Balken (**31**, **38**, **39**) ausgelegt ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

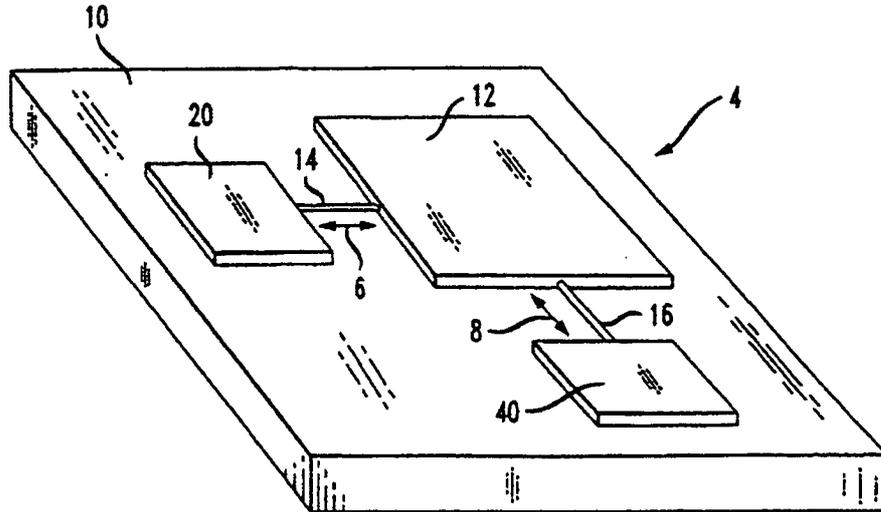


FIG. 2

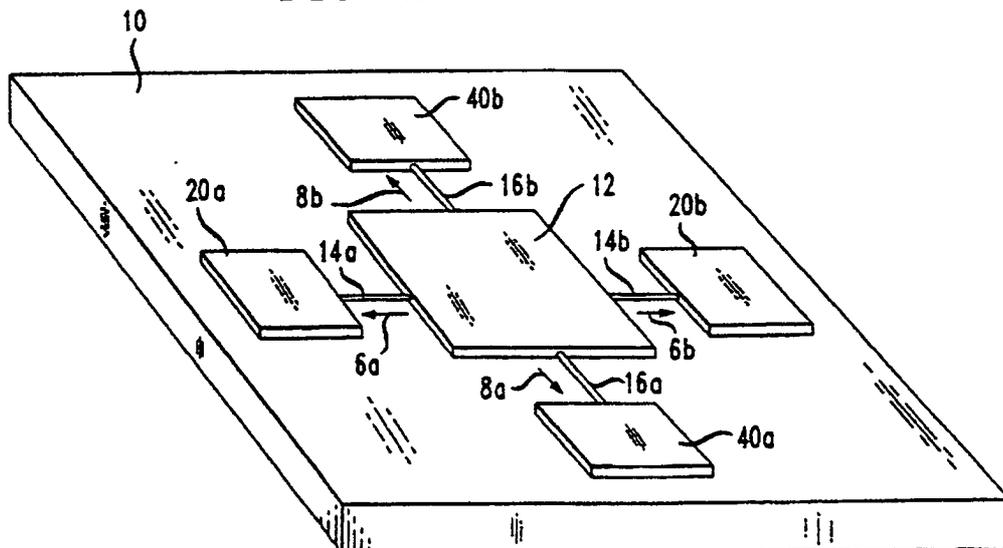


FIG. 3

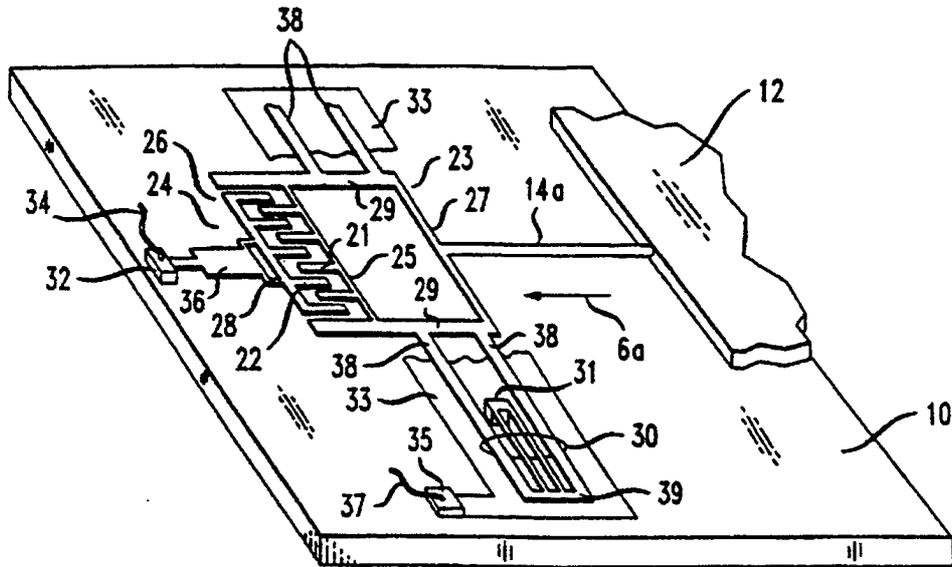


FIG. 4

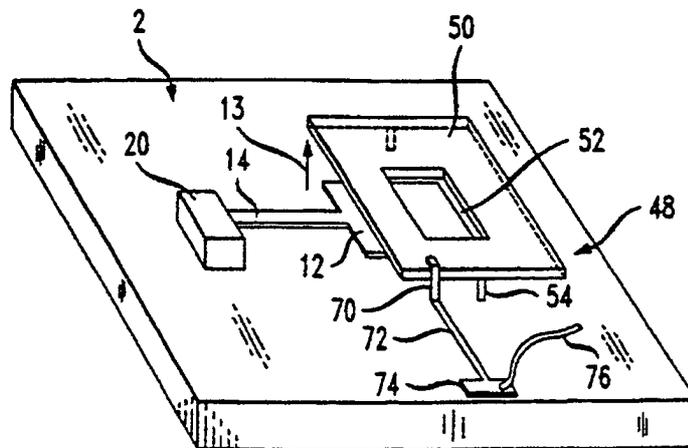


FIG. 5

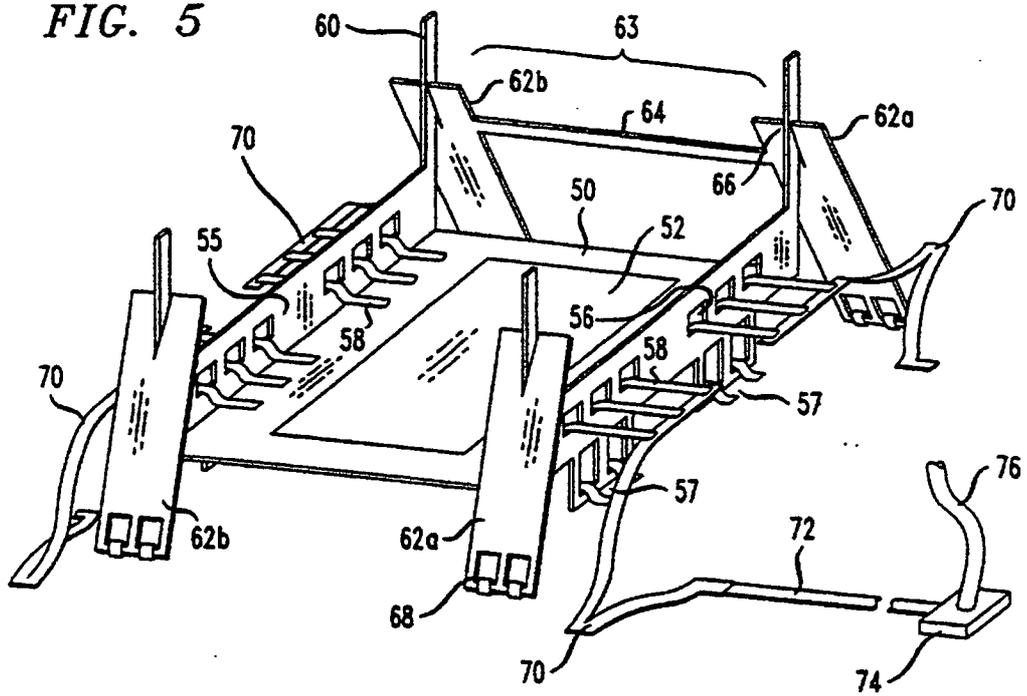


FIG. 6

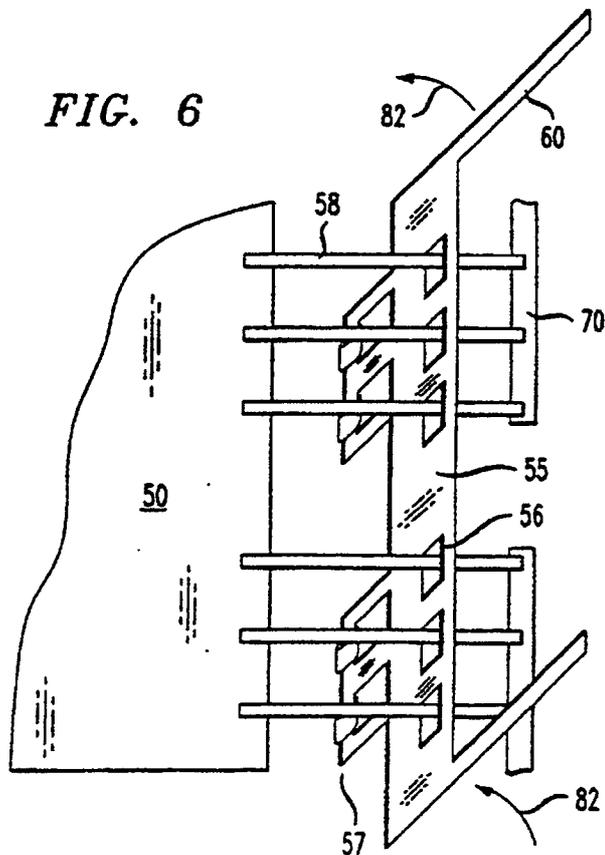


FIG. 7

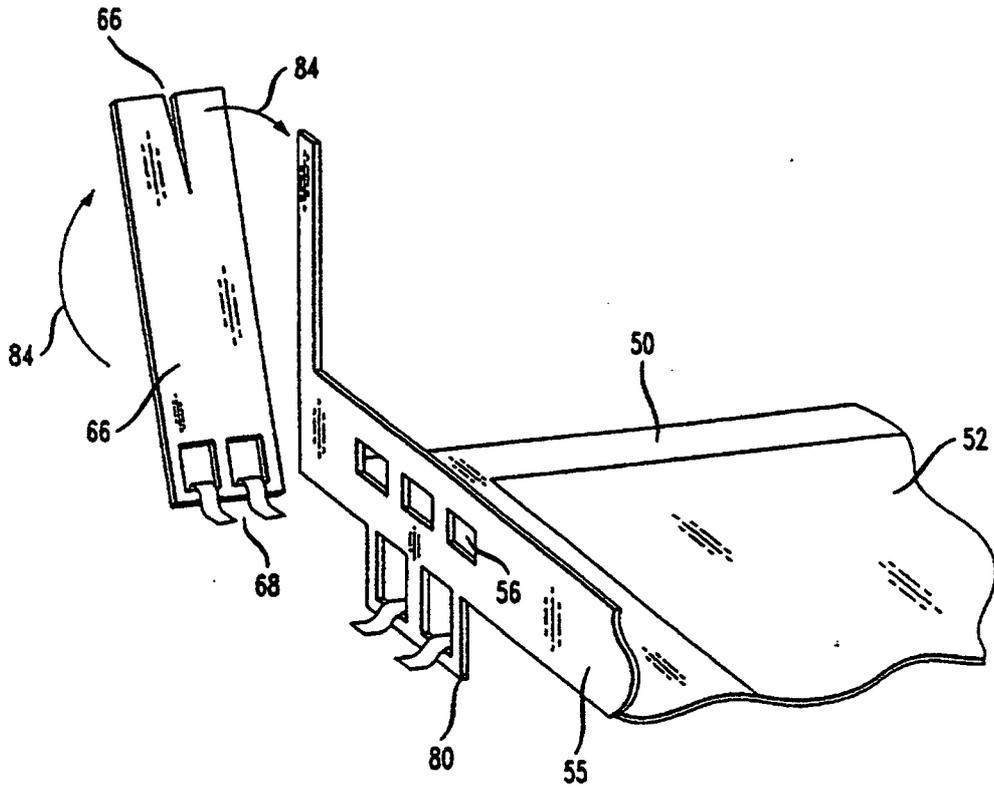


FIG. 8

