(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2013 005 633 B4** 2015.09.17

(12) # Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 005 633.0**
(22) Anmeldetag: **04.04.2013**
(43) Offenlegungstag: **09.10.2014**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **17.09.2015**

(51) Int Cl.: ***B81C 1/00*** (2006.01)
B81B 1/00 (2006.01)
G01L 1/00 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Universität Bremen, 28359 Bremen, DE

(74) Vertreter:
BOEHMERT & BOEHMERT Anwaltspartnerschaft mbB - Patentanwälte Rechtsanwälte, 28209 Bremen, DE

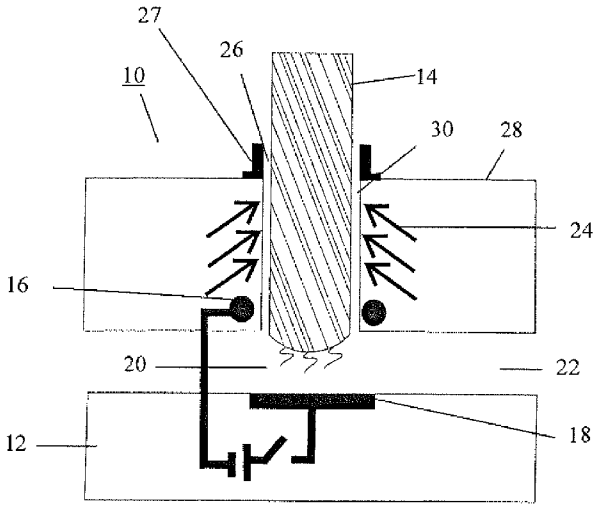
(72) Erfinder:
Lang, Walter, Prof. Dr.-Ing., 28357 Bremen, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	**2002 / 0 082 543**	**A1**
WO	**2012/ 150 012**	**A1**
KR10	**2010 0 035 952**	**A**
KR10	**2012 0 006 126**	**A**

(54) Bezeichnung: **Produktion von Mikrostrukturen in Mikrosystemen**

(57) Hauptanspruch: Künstlicher Haarzellensensor (10) mit
• einem Mikrokanal (22);
• einem mit dem Mikrokanal (22) in Verbindung stehenden Wachstumskanal (30);
• einem in dem Wachstumskanal (30) angeordneten und an einer Mikrosystemfläche (28) des Haarzellensensors (10) aus dem Wachstumskanal (30) nach oben hinaus ragenden metallischen Haarelement (14);
• einer integrierten Mikroproduktionseinrichtung (12), die eine Materialabscheideeinrichtung mit einer Kathode (16) und einer Anode (18) aufweist, wobei die Materialabscheideeinrichtung dafür eingerichtet ist, im Mikrokanal (22) weiteres Metall (20) zum Nachwachsen des Haarelements (14) von unten her galvanisch abzuscheiden;
• einer Ausstoß- oder Ausschiebeeinrichtung (24) zum Ausstoßen oder Ausschieben des nachwachsenden Haarelements (14) durch den Wachstumskanal (30) nach oben, wobei der Wachstumskanal (30) derart ausgebildet ist, dass das Haarelement (14) an einer Austrittsöffnung (26) der Mikrosystemfläche (28) aus dem Wachstumskanal (30) nach außen tritt,
• einem Kraftsensor zur Messung der auf das Haarelement (14) wirkenden Kraft, die ein Drehmoment auf das Haarelement (14) ausübt und dadurch an der Austrittsöffnung (26) eine Krümmung bewirkt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Mikrosystem.

[0002] Mikrosysteme sind üblicherweise Systeme mit der Größenordnung Millimeter, die üblicherweise Mikrostrukturen in der Größenordnung µm enthalten, die in einem System zusammenwirken, wobei mehrere unterschiedliche Bereiche der Physik wirksam werden können, zum Beispiel Elektronik und Optik, Elektronik und Mechanik, Fluidik und Biochemie.

[0003] Bei der Herstellung von Mikrosystemen kommen häufig MEMS(Microelectromechanical Systems)-Techniken zum Einsatz. Die Mikrostrukturen der Mikrosysteme können sehr empfindlich sein und bei der Weiterverarbeitung und/oder Montage leicht zerstört werden.

[0004] Der vorliegenden Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, die Möglichkeit einer Beschädigung bzw. Zerstörung einer Mikrostruktur bei der Weiterverarbeitung und/oder Montage zu reduzieren oder sogar zu beseitigen.

[0005] Diese Aufgabe wird durch ein Mikrosystem mit einer integrierten Mikroproduktionseinrichtung zur vorzugsweise gesteuerten Produktion einer Mikrostruktur gelöst. Beispielsweise kann die Produktion bzw. Erzeugung einer Mikrostruktur nach Bedarf (on demand) und/oder vor Ort (on site), insbesondere im Betrieb (in operation), erfolgen.

[0006] Gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Mikroproduktionseinrichtung zur automatisierten Produktion der Mikrostruktur mit einer vorab vorgegebenen Geometrie und/oder Funktion nach einer Aktivierung gestaltet ist. Die Aktivierung kann zum Beispiel durch Einschalten der Mikroproduktionseinrichtung vor oder nach dem Einbau bzw. vor oder im Betrieb des Mikrosystems erfolgen. Sie kann beispielsweise durch eine Person und/oder eine Fernsteuerung, aber auch durch Umgebungsbedingungen erfolgen.

[0007] Alternativ kann die Mikroproduktionseinrichtung zur automatisierten Produktion der Mikrostruktur mit einer erst während des Betriebs des Mikrosystems festgelegten oder festlegbaren Geometrie und/oder Funktion nach einer Aktivierung gestaltet sein. Die Art der Geometrie und/oder der Funktion kann bei dieser Ausführungsform also zum Beispiel erst während des Betriebs, zum Beispiel in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen, festgelegt werden. In gewissen Grenzen kann somit die Art der Mikrostruktur oder die spezielle Ausführungsform der Mikrostruktur erst während des Betriebs festgelegt werden. Dadurch lässt sich das Mikrosystem für verschiedene Aufgaben adaptieren.

[0008] Das Mikrosystem weist eine Transporteinrichtung, wie zum Beispiel eine Translationseinrichtung, zum Transportieren der Mikrostruktur auf.

[0009] Weiterhin kann das Mikrosystem eine sensorische, aktorische, fluidische, optische und/oder magnetische Funktion aufweisen.

[0010] Die Mikrostruktur ist ein künstliches Haarelement. Das resultierende Mikrosystem weist dann die Funktion eines Haarzellensensors auf (künstlicher Haarzellensensor (Artificial Haircell Sensor (AHCS)). Insbesondere lässt sich damit ein mechanischer Haarzellensensor mit einem regenerationsfähigen Fühlelement realisieren.

[0011] Insbesondere kann die Mikroproduktionseinrichtung eine vorzugsweise elektrochemische Materialabscheideeinrichtung, insbesondere eine Einrichtung zur galvanischen Abscheidung oder außenstromlosen Abscheidung, enthalten. Alternativ kann die Mikroproduktionseinrichtung eine Materialverfestigungseinrichtung, insbesondere eine Einrichtung zur Verfestigung von LCP(Liquid Crystal Polymer)-Material, enthalten.

[0012] Gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung ist die Materialabscheideeinrichtung oder die Materialverfestigungseinrichtung gestaltet, um das Haarelement gleichzeitig aus einer Mikrosystemfläche auszustoßen oder auszuschieben. Beispielsweise können bei den Materialabscheide- bzw. Materialverfestigungsprozess Vorschubkräfte entstehen, so dass die Erzeugung des Haarelements oder ganz allgemein der Mikrostruktur und das Vorbewegen (wie Ausstoßen bzw. Ausschieben), zum Beispiel aus einer Austrittsstelle, kombiniert sind.

[0013] Alternativ ist denkbar, dass das Mikrosystem eine Ausstoß- oder Ausschiebeeinrichtung, insbesondere einen Aktor, zum vorzugsweise teilweisen Ausstoßen oder Ausschieben des Haarelements aus einer Mikrosystemfläche enthält.

[0014] Insbesondere kann dabei ein Stempel vorgesehen sein, der durch einen piezoelektrischen, einen elektrostatischen oder einen thermischen Aktor nach dem Inchworm-Prinzip angetrieben wird.

[0015] Weiterhin kann vorgesehen sein, dass das Mikrosystem einen Kraftsensor zur Messung der Kraft auf die Wurzel des Haarelements aufweist.

[0016] Vorteilhafterweise ist der Kraftsensor ein kapazitiver Sensor, insbesondere zwischen dem Haarelement und einer Gegenelektrode, oder ein piezoresistiver Sensor.

[0017] Schließlich weist das Mikrosystem gemäß einer besonderen Ausführungsform eine Berührungssensor- und/oder Strömungssensorfunktion auf. Mit anderen Worten dient dann das künstliche Haarelement zur Feststellung und gegebenenfalls auch Quantifizierung einer Berührung und/oder Strömung.

[0018] Der Erfindung liegt die überraschende Erkenntnis zugrunde, dass durch das Vorsehen einer Mikroproduktionseinrichtung in einem Mikrosystem die Produktion bzw. Herstellung einer Mikrostruktur zeitlich verschoben werden kann, und zwar auf eine Zeit nach einer Weiterverarbeitung und/oder Montage. Dadurch kann man dann die Mikrostruktur in ein Halbzeug einbauen, das dann mechanisch beansprucht werden darf, da sich die empfindlichen Teile erst nach der Assemblierung entwickeln.

[0019] Ferner liefert die vorliegende Erfindung zumindest in einer besonderen Ausführungsform erstmalig ein Mikrosystem, das sich erst im Betrieb selbst aufbauen kann.

[0020] Die vorliegende Erfindung liefert aber nicht nur Mikrosysteme mit „wachsenden" Mikrostrukturen, sondern auch mit regenerationsfähigen Mikrostrukturen. Zudem kann durch die zeitliche Verlagerung der Herstellung der Mikrostruktur deren Geometrie und/oder Funktion unvollständig vordefiniert gelassen werden und erst im Betrieb vollständig festgelegt werden, zum Beispiel in Abhängigkeit von der dann zur erledigenden Aufgabe.

[0021] Nach einer Zerstörung der Mikrostruktur kann durch Regeneration derselben, beispielsweise bezogen auf einen Haarzellensensor „Nachwachsen" des Haarelements desselben, die Funktion des Mikrosystems wiederhergestellt werden.

[0022] Bei den Mikrostrukturen kann es sich beispielsweise um ein Haarelement, aber zum Beispiel auch um eine Oberflächenstruktur zur Strömungsbeeinflussung, zum Beispiel Mikrostrukturen auf einer umströmten Oberfläche, die den Widerstandsbeiwert der Strömung vermindern und das Anwachsen von Parasiten erschweren können (Haifischhauteffekt), Mikrostrukturen auf Oberflächen, die die Anlagerung von Schmutzpartikeln verhindern (Lotuseffekt), und diffraktive Elemente der Mikrooptik, die Licht fokussieren und steuern können, handeln. Bei den diffraktiven Elementen der Mikrooptik erfolgt eine gezielte Beeinflussung eines Lichtstrahls durch eine regelmäßige Anordnung von Mikrostrukturen. Man kann zum Beispiel ein Mikrosystem bauen, das eine optische Aufgabe erfüllt, die erst nach der Integration in ein Gesamtsystem genau definiert werden muss.

[0023] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den beigefügten Ansprüchen und der nachfolgenden Beschreibung, in der mehrere Beispiele anhand der schematischen Zeichnungen im Einzelnen erläutert werden. Dabei zeigt:

[0024] **Fig.** 1 eine Schnittansicht eines Mikrosystems gemäß einer ersten besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0025] **Fig.** 2 eine Schnittansicht gemäß einer zweiten besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0026] **Fig.** 3 eine Schnittansicht einer dritten, nicht beanspruchten Ausführungsform und

[0027] **Fig.** 4 eine Schnittansicht einer vierten, nicht beanspruchten Ausführungsform.

[0028] Die nachfolgende Beschreibung betrifft vier verschiedene Mikrosysteme. Es handelt sich dabei sämtlichst um Haarzelensensoren.

[0029] Haarzellensensoren konnten sich in der Praxis noch nicht durchsetzen, da sie einen großen Nachteil haben: Die empfindlichen Haarelemente (Härchen) können leicht abbrechen. Während natürliche Haar nachwachsen, sind die bekannten mikromechanischen Haarzellensensoren zerstört, wenn das Sensorhaar bricht oder abreißt. Mit der vorliegenden Erfindung ist es nun möglich, Sensorchips zu bauen, bei denen ein Sensorhaar nicht bei der Herstellung des Chips strukturiert wird, sondern später aus dem Chip herauswächst. Dazu kann im Chip eine Düse vorgesehen sein, in der das Material des Haares synthetisiert und verfestigt wird. Aus dieser Düse wird das Haar herausgedrückt und wächst somit aus dem Chip heraus. Dies kann beispielsweise sehr langsam kontinuierlich entstehen, oder das Wachstum wird beispielsweise einmal initiiert und kann dann bei Bedarf (wenn das Haar bricht) wiederholt werden.

[0030] Die vorliegende Erfindung liefert unter anderem ein Mikrosystem, aus dem während des Betriebs ein Haar herauswächst. Das Haar kann zum Beispiel für sensorische Aufgaben eingesetzt werden. Dazu können auf dem Haar oder an der Haarwurzel Sensorelemente (Transducers, also Elemente, die eine physikalische Größe in ein elektrisches Signal umwandeln) an gebracht sein. Diese können insbesondere mechanische Sensorelemente sein, die die Krümmung des Haares nahe der Haarwurzel messen, die durch eine auf das Haar extern aufgeprägte Verformung erfolgt. Solche Sensorstrukturen können zum Beispiel sein: Dehnmessstreifen (piezoresistive Elemente), kapazitäve Sensoren, piezoelektrische Sensoren, druckempfindliche Schichten (zum Beispiel Nanopartikel aus Kohlenstoff), optische Sensoren, thermische Sensoren sowie Sensoren, die den Tunneleffekt nutzen.

[0031] Das Haar kann zum Beispiel aus Metall, einem Halbleitermaterial oder aus einem Isolatormaterial, zum Beispiel aus Polymer oder Plastik, bestehen.

[0032] Das Material für das Wachstum des Haares wird vorzugsweise als Flüssigkeit zugeführt oder in einem Chip gespeichert. Die Zuführung/Speicherung in der Gasphase oder als Feststoff sind jedoch auch denkbar.

[0033] Für die Verfestigung einer Flüssigkeit sind unter anderem folgende Möglichkeiten denkbar:

– elektrochemische (galvanische) oder stromlose Abscheidung aus der Flüssigphase.
– Mischung von zwei Substanzen, die sich dann verfestigen, durch zwei mikrofluidische Kanäle. Strömung eines Materials (Harz) durch eine Düse, bei der durch einen kleinen mikrofluidischen Seitenkanal ein Verfestiger (Härter) beigemischt wird. Verfestigung durch Polyaddition, Polykondensation oder Polymerisation.
– Erzeugung von Methylmethacrylat,
– Erzeugung von Fibrin,
– durch ultraviolettes Licht induzierte Verfestigung,
– Abscheidung von Flüssigkristallen.

[0034] Das Ausstoßen bzw. Ausschieben des Haares kann unter anderem durch folgende Methoden bewirkt werden:

– Kleine Linearaktoren, die in dem Kanal, in dem das Haar verankert ist und aus dem es herausgeschoben wird, angebracht werden. Diese können als elektrostatische oder thermische Inchworm-Aktoren ausgeführt sein. Beim Inchworm-Aktor ist der Aktor mit dem Haar nicht fest verbunden. Er bewirkt in einem Zyklus nur einen sehr kleinen Weg (µm oder nm). Die Wege addieren sich jedoch durch viele Zyklen zu einer makroskopischen Bewegung.
– Ein Linearaktor kann von unten als Stempel in die Düse eindrücken und das Haar vorwärts treiben. Auf dem Stempel kann eine UV-Lichtquelle integriert sein oder der Stempel kann UV-transparent sein, so dass durch den Stempel UV-Licht in die Düse gelangen kann.
– Unterhalb der Düse kann ein Druck erzeugt werden, der eine Kraft auf das Haar nach außen bewirkt.
– Es können Schichten zum Einsatz kommen, die bei der Verfestigung Druck aufbauen, der das Haar aus der Düse nach außen bewegt. Dies kann insbesondere durch ein Material mit anisotroper Struktur, wie zum Beispiel Flüssigkristall, geschehen. Der Aufbau des Drucks kann durch eine gezielte Ausrichtung der Kristallite des Flüssigkristalls gefördert werden.

[0035] Im Folgenden sollen lediglich beispielhaft gezeigte Mikrosysteme gemäß besonderen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beschrieben werden:
Allen nachfolgend beschriebenen Ausführungsformen ist gemein, dass sie im Prinzip eine Einrichtung zur Produktion eines Haarelements (Haar) sowie eine Kraftsensorik und bedarfsweise auch eine separate Aktorik zum Ausstoßen bzw. Ausschieben des Haarelements aufweisen.

[0036] Das in **Fig.** 1 gezeigte Mikrosystem **10** weist eine integrierte Mikroproduktionseinrichtung **12** zur gesteuerten Produktion eines Mikrostruktur in Form eines Haarelements **14** auf. Die Mikroproduktionseinrichtung **12** weist eine Einrichtung zur galvanischen Materialabscheidung auf. Diese umfasst eine Kathode **16** und eine Anode **18**. Auf das metallische Haarelement **14**, zum Beispiel aus Nickel, wird mittels der Einrichtung zur galvanischen Abscheidung von unten galvanisch in einem Mikrokanal **22** ein weiteres Metall **20** abgeschieden. Der bei der galvanischen Abscheidung verwendete Elektrolyt kann durch den Abtrag einer Opferelektrode (nicht gezeigt) ergänzt werden.

[0037] Darüber hinaus weist das Mikrosystem eine Ausstoß- bzw. Ausschiebeeinrichtung in Form eines elektrostatischen Inchworm-Aktors **24** zum Stoßen bzw. Ausschieben des Haarelements **14** wie ein wachsendes oder nachwachsendes Haar aus einer Austrittsöffnung **26** in einer Mikrosystemfläche **28** auf. Besagter Inchworm-Aktor **24** umgibt einen Teil des Haarelements **14** in einem Wachstumskanal **30**, der mit der Austrittsöffnung **26** in Fluidverbindung steht.

[0038] Eine von außen wirkende Kraft erzeugt ein Drehmoment auf das Haarelement. Dieses Drehmoment wiederum bewirkt eine Krümmung an der Stelle, an der das Haarelement aus dem Kanal austritt. Die Krümmung der Haarzelle **14** kann beispielsweise mittels eines kapazitiven Sensors zwischen der Haarzelle **14** und einer Gegenelektrode **27** gemessen werden.

[0039] Bei der in **Fig.** 2 gezeigten Ausführungsform sind das Wachstum und die Aktorik wie bei der in **Fig.** 1 gezeigten Ausführungsform getrennt. Mit anderen Worten verfügt das in **Fig.** 2 gezeigte Mikrosystem **32** ebenfalls über eine Mikroproduktionseinrichtung **34** und eine zusätzliche bzw. separate Ausstoß- oder Ausschiebeeinrichtung in Form eines Stempels **36** der piezoelektrisch von unten gegen frisch aufgewachsenes Haarelementmaterial **38** gedrückt wird und das Haarelement **14** durch den Wachstumskanal **40** nach außen schiebt.

[0040] Die Mikroproduktionseinrichtung **34** ist gestaltet, um zwei Ausgangsstoffe **42** und **44**, die durch getrennte Mikrokanäle **46** bzw. **48** einer Wachstumszone **50** flüssig zugeführt werden, aushärten zu lassen. Bei den Ausgangsstoffen **42** und **44** kann es

sich um ein sogenanntes Zwei-Komponenten-System handeln. Dieses härtet dann chemisch aus. Alternativ könnte zum Beispiel ein Polymer verwendet werden, das zum Beispiel thermisch oder durch UV-Licht aus einer LED (nicht gezeigt) oder einem Lichtleiter (nicht gezeigt) ausgehärtet wird.

[0041] Die Sensorik kann zum Beispiel eine Federstruktur aufweisen, die durch das Ätzen einer Grube **47** neben dem Wachstumskanal **40** entsteht. Die Verformung der Federstruktur kann beispielsweise durch ein piezoresistives Material **49** in der Grube gemessen werden.

[0042] Die Ausführungsformen gemäß den **Fig.** 3 und **Fig.** 4 unterscheiden sich von den Ausführungsformen gemäß den **Fig.** 1 und **Fig.** 2 im Wesentlichen darin, dass bei diesen das Wachstum und die Aktorik kombiniert sind.

[0043] Bei dem Mikrosystem **52** gemäß der **Fig.** 3 ist keine separate Ausstoß- oder Ausschiebeeinrichtung vorgesehen, sondern sozusagen in der Mikroproduktionseinrichtung **54** enthalten. Letztere weist eine Einrichtung zur außenstromlosen Abscheidung auf. Die stromlose Abscheidung wird dabei durch katalytische Beschichtung **56** unterhalb des Haarelements **14** beschränkt. Der Vorschub bzw. das Ausstoßen/Ausschieben des Haarelements **14** aus der Austrittsöffnung **58** in dem Wachstumskanal **60** erfolgt durch den Stress, den das aufwachsende Metall **62** induziert.

[0044] Die Sensorik kann beispielsweise wieder einen kapazitiven Sensor mit einer Gegenelektrode **57** wie das Mikrosystem gemäß der **Fig.** 1 aufweisen.

[0045] Das Mikrosystem **64** von **Fig.** 4 weist eine Mikroproduktionseinrichtung **66** auf. Mittels letzterer wird ein flüssigkristallines Polymer **68** lokal verfestigt. Bei Anlegen eines elektrischen Feldes über eine Anode **72** und eine Kathode **70** führt die anisotrope Mikrostruktur des flüssigkristallinen Polymers zu einer gerichteten Kraft, wie durch die Pfeile **74** angedeutet, die das Haarelement **14** nach außen schiebt.

[0046] Die Sensorik kann beispielsweise einen piezoresistiven Sensor umfassen.

[0047] Die in der vorstehenden Beschreibung, in den Zeichnungen sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in den beliebigen Kombinationen für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen wesentlich sein.

Bezugszeichenliste

10	Mikrosystem
12	Mikroproduktionseinrichtung
14	Haarelement
16	Kathode
18	Anode
20	Metall
22	Mikrokanal
24	Inchworm-Aktor
26	Austrittsöffnung
27	Gegenelektrode
28	Mikrosystemfläche
30	Wachstumskanal
32	Mikrosystem
34	Mikroproduktionseinrichtung
36	Stempel
38	Haarelementmaterial
40	Wachstumskanal
42, 44	Ausgangsstoffe
46	Mikrokanal
47	Grube
48	Mikrokanal
49	piezoresistives Material
50	Wachstumszone
52	Mikrosystem
54	Mikroproduktionseinrichtung
56	Beschichtung
57	Gegenelektrode
58	Austrittsöffnung
60	Wachstumskanal
62	Metall
64	Mikrosystem
66	Mikroproduktionseinrichtung
68	Polymer
70	Kathode
72	Anode
74	Kraft

Patentansprüche

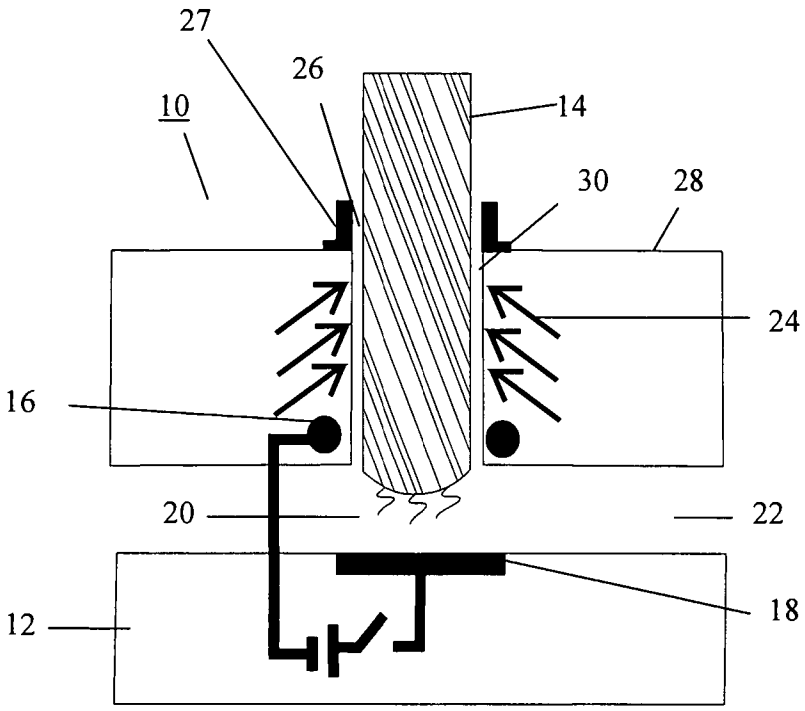
1. Künstlicher Haarzellensensor (**10**) mit
• einem Mikrokanal (**22**);
• einem mit dem Mikrokanal (**22**) in Verbindung stehenden Wachstumskanal (**30**);
• einem in dem Wachstumskanal (**30**) angeordneten und an einer Mikrosystemfläche (**28**) des Haarzellensensors (**10**) aus dem Wachstumskanal (**30**) nach oben hinaus ragenden metallischen Haarelement (**14**);
• einer integrierten Mikroproduktionseinrichtung (**12**), die eine Materialabscheideeinrichtung mit einer Kathode (**16**) und einer Anode (**18**) aufweist, wobei die Materialabscheideeinrichtung dafür eingerichtet ist, im Mikrokanal (**22**) weiteres Metall (**20**) zum Nachwachsen des Haarelements (**14**) von unten her galvanisch abzuscheiden;
• einer Ausstoß- oder Ausschiebeeinrichtung (**24**) zum Ausstoßen oder Ausschieben des nachwachsenden Haarelements (**14**) durch den Wachstumska-

nal (**30**) nach oben, wobei der Wachstumskanal (**30**) derart ausgebildet ist, dass das Haarelement (**14**) an einer Austrittsöffnung (**26**) der Mikrosystemfläche (**28**) aus dem Wachstumskanal (**30**) nach außen tritt,
• einem Kraftsensor zur Messung der auf das Haarelement (**14**) wirkenden Kraft, die ein Drehmoment auf das Haarelement (**14**) ausübt und dadurch an der Austrittsöffnung (**26**) eine Krümmung bewirkt.

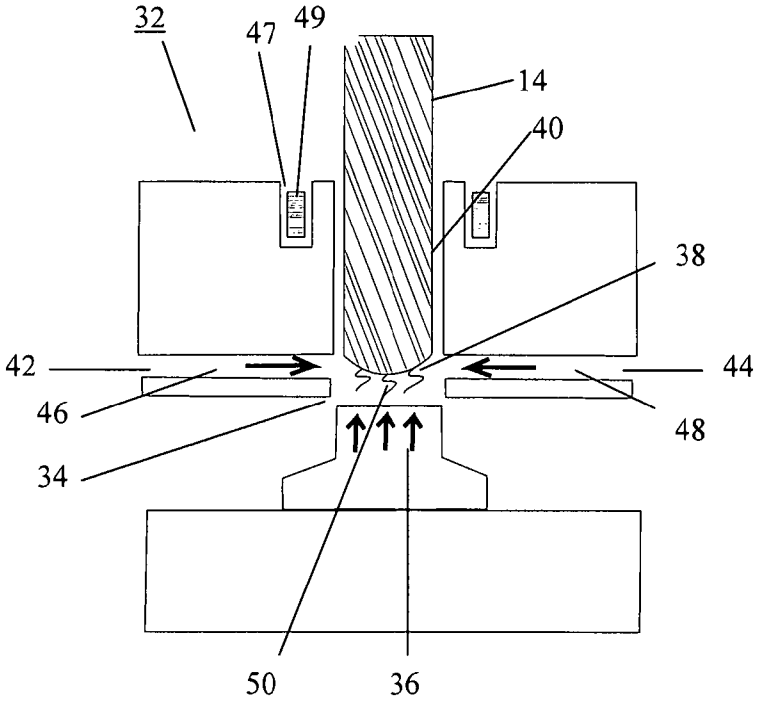
2. Künstlicher Haarzellensensor (**32**) mit
• zwei getrennten Mikrokanälen (**46**, **48**);
• einem mit den Mikrokanälen (**46**, **48**) in Verbindung stehenden Wachstumskanal (**40**);
• einem in dem Wachstumskanal (**40**) angeordneten und an einer Mikrosystemfläche des Haarzellensensors (**34**) aus dem Wachstumskanal (**40**) nach oben hinaus ragenden Haarelement (**14**);
• einer integrierten Mikroproduktionseinrichtung (**34**), die eine Materialverfestigungseinrichtung aufweist, wobei die Materialverfestigungseinrichtung dafür eingerichtet ist, zwei Ausgangsstoffe (**42**, **44**) getrennt durch die Mikrokanäle (**46**, **48**) einer Wachstumszone (**50**) unterhalb des Haarelements (**14**) flüssig zuzuführen, wobei die Ausgangsstoffe (**42**, **44**) ein Zwei-Komponenten-System bilden, das chemisch aushärtet, wodurch das Haarelement (**14**) von unten her nachwachst;
• einer Ausstoß- oder Ausschiebeeinrichtung (**36**) zum Ausstoßen oder Ausschieben des nachwachsenden Haarelements (**14**) durch den Wachstumskanal (**40**) nach oben, wobei der Wachstumskanal (**40**) derart ausgebildet ist, dass das Haarelement (**14**) an einer Austrittsöffnung der Mikrosystemfläche aus dem Wachstumskanal (**40**) nach außen tritt,
• einem Kraftsensor zur Messung der auf das Haarelement (**14**) wirkenden Kraft, die ein Drehmoment auf das Haarelement (**14**) ausübt und dadurch an der Austrittsöffnung eine Krümmung bewirkt.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

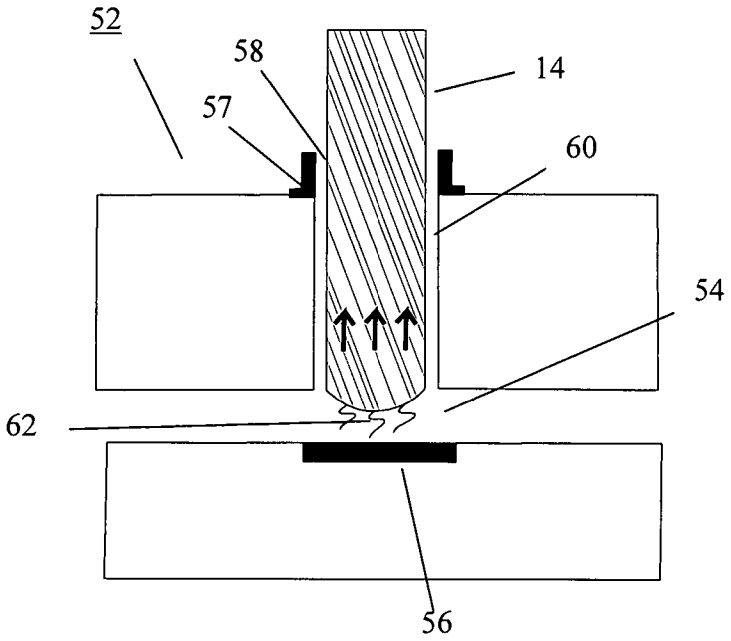
Anhängende Zeichnungen



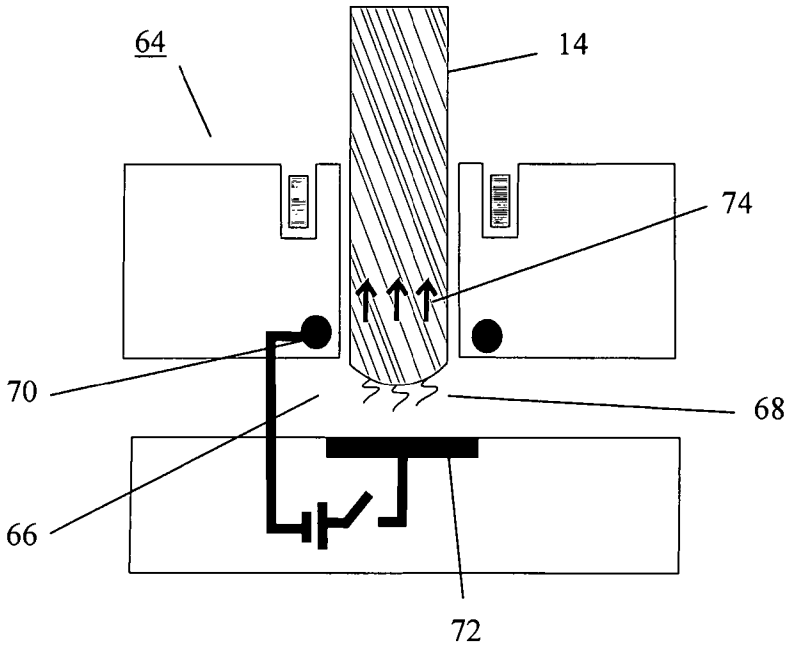
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4