

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
14. Februar 2008 (14.02.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/017090 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01P 15/105 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2007/000380

(22) Internationales Anmeldedatum:
6. August 2007 (06.08.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
A 1317/2006 7. August 2006 (07.08.2006) AT

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): Austrian Research Centers GmbH - ARC [AT/AT]; Donau-City-Strasse 1, A-1220 Wien (AT).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BRÜCKL, Hubert [AT/AT]; Ottensteinstrasse 121, A-2344 Maria Enzersdorf (AT). KAST, Michael [AT/AT]; Ausstellungsstrasse 29/17, A-1020 Wien (AT).

(74) Anwälte: WILDHACK, Helmut usw.; Landstrasser Hauptstrasse 50, A-1030 Wien (AT).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

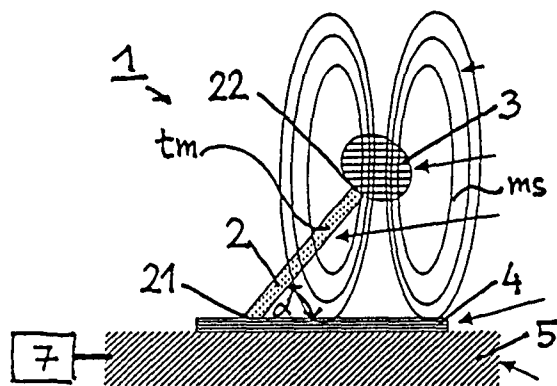
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(54) Title: MINIATURE ACCELERATION SENSOR

(54) Bezeichnung: MINIATUR-BESCHLEUNIGUNGSSENSOR



(57) Abstract: The invention relates to a miniature sensor for detecting acceleration and deceleration processes, which is characterized - in that it comprises at least one bar-like spring element which is formed by a nanowire (2), which is connected by one end (21) to the detector substrate (5) and projects from the latter and which preferably carries at its free end (22) a coating (3) emitting a permanent magnetic stray field (ms), or a nanoparticle (3) of this type, wherein the nanowire and magnetic stray field coating, or mass, together form the inertial mass, and - in that a magnetic field detection layer (4), e.g. composed of magnetoresistive material, is arranged at least in the region near the connected end (21) of the nanowire (2), - wherein the substrate is preferably provided with such a layer which preferably, for its part, as sensor component forms a constituent part of a magnetic field detection unit (7).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Miniatur-Sensor zur Erfassung von Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgängen, der dadurch gekennzeichnet ist, - dass er mindestens ein stabartiges Federelement umfasst, welches durch einen mit einem Ende (21) mit dem Detektorsubstrat (5) verbundenen und demselben entragenden Nanodraht (2), gebildet ist, welcher vorzugsweise an seinem freien Ende (22), eine ein permanentes Streumagnetfeld (ms) aussendende Beschichtung (3) oder ein derartiges Nanoteilchen (3) trägt, wobei der Nanodraht und Streumagnetfeldbeschichtung, bzw. -masse gemeinsam die träge Masse bilden, und - dass zumindest im Nahbereich des gebundenen Endes (21) des Nanodrahts (2) eine Magnetfelddetektionsschicht (4), z.B. aus einem magnetoresistiven Material, angeordnet ist, - wobei bevorzugter Weise das Substrat mit einer solchen Schicht versehen ist, welche bevorzugter Weise ihrerseits als Sensorkomponente selbst einen Bestandteil, einer Magnetfeld-Detektionseinheit (7) bildet.

WO 2008/017090 A2

Miniatur-Beschleunigungssensor

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen Beschleunigungssensor, der auf
5 externe Kräfte reagiert und dabei ein elektrisches Signal liefert. Der
Beschleunigungssensor selbst wird mit dem zu erfassenden, einer Beschleunigung oder
Verzögerung ausgesetztem System mitbewegt.

Ein Beschleunigungssensor ist ein Sensor-Fühler, der die Beschleunigung misst,
indem die auf eine Testmasse wirkende Trägheitskraft bestimmt wird. Somit kann z.B.
10 bestimmt werden, ob eine Geschwindigkeitszunahme oder -abnahme stattfindet und
auch, wie groß dieselbe ist. Zum Erfassen einer solchen externen Trägheitskraft werden
Sensoren eingesetzt, die in dem bewegten System integriert sind. Sie werden mit
demselben mitbewegt, so dass zum Erfassen der Bewegung üblicherweise keine äußeren
Fixpunkte herangezogen werden müssen.

15 Ein Kernstück eines jeden Beschleunigungssensors ist daher ein Element, das
aufgrund der externen Kraft eine seiner physikalischen Eigenschaften ändert. Weist der
Beschleunigungssensor beispielsweise ein Feder-Masse-System auf, so kann
beispielsweise eine Lage der über die Feder aufgehängten Masse in Bezug auf einen
festen Punkt des Sensors zur Bewegungsbestimmung herangezogen werden.

20 Bekannte technische Lösungen von Beschleunigungssensoren basieren auf
unterschiedlichsten physikalischen Effekten und Nachweismethoden. Bekannte
klassische Beschleunigungssensoren sind folgende:

Dehnungsmessstreifen: Es erfolgt die Bestimmung der Kraft auf die Testmasse,
indem die Verformung der Befestigung, z.B. eines Stabes, mittels Dehnungsmessstreifen
25 bestimmt wird. Dieses System ist vor allem für niedrige Frequenzen geeignet.

Magnetische Induktion: Bei der Bewegung der an einer Feder aufgehängten
Testmasse wird durch einen Magneten in einer Spule eine elektrische Spannung
induziert, ähnlich wie in einem dynamischen Mikrofon, also Tauchspulenmikrofon.

30 Miniaturisierte Sensoren sind präziser, empfindlicher, kleiner und leichter als die
soeben erläuterten Sensoren. Sie sind meist mit piezoelektrischen Sensoren oder als
Micro-Electro-Mechanical System (MEMS) aufgebaut:

Piezoelektrische Beschleunigungssensoren: Ein piezokeramisches
Sensorplättchen wandelt dynamische Druckschwankungen in elektrische Signale um, die
dann entsprechend weiterverarbeitet werden können. Die Druckschwankung wird durch
35 eine an der Piezokeramik befestigte, "seismische" Masse erzeugt und wirkt bei einer
Beschleunigung des Gesamtsystems auf die Piezokeramik. Dieses System wird z.B. bei
Radauswuchtungsmaschinen verwendet, wo jede Unwucht des Rades ein

entsprechendes Signal in der Piezokeramik erzeugt. Es erkennt innerhalb von Sekunden die Unwucht am Reifen.

Eine weit verbreitete, weil wirtschaftliche Sensorsorte beruht auf der MEMS-Technik. MEMS ist die Kombination aus mechanischen Elementen, Sensoren, Aktoren und elektronischen Schaltungen auf einem Substrat bzw. Chip. MEMS basieren auf der Halbleiter-Elektronik. Grundmaterial bzw. Substrat ist in der Regel Silizium, aber auch Galliumarsenid. Die Mikroelektronik beschränkt sich auf elektrische Komponenten, wie Transistoren (CPU) und Kondensatoren (RAM). Die Mikrosystemtechnik erweitert diese Palette um mechanische, optische, chemische und/oder biologische Komponenten. MEMS können in Siliziumtechnik integriert und daher batch-fabriert in großen Stückzahlen hergestellt und gepackt werden.

In den letzten Jahren haben miniaturisierter Beschleunigungssensoren auf MEMS-Basis zunehmend Bedeutung erlangt. Diese Sensoren sind Feder-Masse-Systeme, bei denen die "Federn" nur wenige μm breite Silizium-Stege sind und auch die Masse aus Silizium hergestellt ist. Durch die Auslenkung bei Beschleunigung kann zwischen dem gefedert aufgehängten Teil und einer festen Bezugselektrode eine Änderung der elektrischen Kapazität gemessen werden. Der gesamte Messbereich entspricht einer Kapazitätsänderung von nur ca. 1 pF, daher muss die Elektronik zur Auswertung dieser kleinen Kapazitätsänderung gleich auf denselben Halbleiterbaustein integriert werden.

Für die Herstellung dieser Sensoren werden die Masse und die kleinen Silizium-Federn bzw. Silizium-Beinchen mittels Fotolithografie aus dem Silizium herausgeätzt. Um eine freitragende Struktur zu erhalten, wird eine darunter liegende Schicht aus Siliziumdioxid ebenfalls durch Ätzen entfernt.

Diese Art von Beschleunigungssensoren hat den Vorteil relativ geringer Stückkosten durch Massenfertigung und hoher Zuverlässigkeit. Manche solche Sensoren können noch Beschleunigungen bis zum Tausendfachen des Messbereichs ohne Schaden überstehen. Auf Grund der geringen Größe zeichnen sie sich auch durch hohe Messgeschwindigkeit aus. Sie werden daher z.B. zur Auslösung von Airbags in Fahrzeugen eingesetzt.

Die Beschleunigung ist eine mechanische Größe, die in vielen Bereichen der Technik eine große Rolle spielt. Kleinsensoren haben Messbereiche von einigen "g" (Erdbeschleunigung) bis zu Dutzenden oder sogar hunderten g und sind vielfach auch sehr robust gegen Stöße. Die Genauigkeiten liegen meist im Prozent- oder Promille-Bereich.

Präzisere, aber größere Instrumente liefern heute Genauigkeiten von weit über 1:1 Million und erlauben z.B. eine Messung differenzieller Beschleunigungen in Erdsatelliten. In Bergbau und Technik wurde schon früh die Kontrolle von Aufzügen durch

Accelerometer durchgeführt, weil hier ein eindimensionales Meßsystem genügt. Auch für die Raketentechnik und die Analyse von Fahrzeug-Bewegungen oder die Autoelektronik ist dieselbe Art der Beschleunigungsmessung unentbehrlich.

Viele technische Anwendungen benötigen volle dreidimensionale Messungen, etwa im Maschinenbau, zur Steuerung von Robotern oder in der Raumfahrt. Hier ist Miniaturisierung eine wichtige Voraussetzung - neben Unempfindlichkeit gegen Temperatur, Vibrationen und andere Effekte. Zahlreiche Anwendungen kommen aber mit 2D-Sensoren aus, wenn es hauptsächlich um Bewegungen in einer Ebene geht. Präzisions-Accelerometer werden teilweise auch für Messungen im Erdschwerefeld eingesetzt - siehe Gravimetrie und Gradiometrie, sowie beim ESA-Satelliten GOCE.

Beschleunigungssensoren haben daher eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten, wovon hier nur einige Beispiele genannt seien:

Messung von linearen Beschleunigungen mittels Beschleunigungsmessern

Messung von Vibrationen an Gebäuden und Maschinen

15 Aktive Federungssysteme in Fahrzeugen

Alarmanlagen bei beweglichen Gütern oder als Berührungssensor

Schadensuntersuchungen beim Warentransport

Seismik und Erdbebenvorhersage

20 Neigungsmessung in statischen Systemen, welche insbesondere dann Anwendung finden, wenn andere Beschleunigungen im Vergleich zur Erdbeschleunigung vernachlässigbar sind,

Aktive Lautsprecher

Zusammen mit Gyroskopen zur Lageregelung oder Stabilisierung von Luftfahrzeugen, wie Hubschrauber, oder UAVs.

25 Im Bereich der Mobiltelefonie, also beim Handy erlaubt der Beschleunigungssensor eine Vielfalt von Steuermöglichkeiten.

Im Bereich Medizin und Pflege: Der Bewegungssensor erkennt, wenn eine Person regungslos verharrt – sofort ruft ein entsprechend ausgestattetes Alarmgerät medizinische Hilfe herbei.

30 Sicherung von Gegenständen: Der Sensor registriert, ob sich ein Objekt bewegt, das sich im Regelfall nicht bewegen sollte. Zum Beispiel der Wohnwagen auf dem Campingplatz. Auch in diesem Fall wird bei Bewegung der Alarm ausgelöst.

Schutz vor Stürzen: Der Sensor erkennt, ob ein Notebook zu Boden stürzt. Im Fall des Falles werden noch schnell die Lesköpfe der Festplatte in Parkposition gebracht, um

35 Datenverlust zu vermeiden.

Überwachung von Erschütterungen: Der Sensor eignet sich auch für den Transport wertvoller Kunstwerke, um feststellen zu können, welchen Erschütterungen dieselben

während ihrer Reise ausgesetzt waren.

Computermäuse, die überall funktionieren: Der Bewegungssensor kann Mausbewegungen auch ohne optische Abtastung des Untergrunds registrieren – sogar in alle drei Richtungen.

5 Bosch fertigt MEMS-Sensoren für den Einsatz im Automobil seit 1988 – bis heute über 400 Millionen Stück. Diese Sensoren müssen ein ganzes Autoleben lang unter unwirtschaftlichen Bedingungen, wie extrem schwankenden Temperaturen und Vibrationen zuverlässig funktionieren. Die Erfahrung aus der Entwicklung und Massenfertigung von Sensoren im kraftfahrzeugtechnischen Bereich unterstützt die Zuverlässigkeit und
10 Langlebigkeit der neuesten diesbezüglichen Sensor-Innovation. Diese Eigenschaften kommen auch den Sensoren zugute, die in den Geräten des Alltags, also bei Consumergeräten, eingesetzt werden. Der Beschleunigungssensor hält beispielsweise Beschleunigungsbelastungen bis zum 10.000fachen der Erdanziehungskraft stand.

15 Was Nachteile bei dem heutigen Stand der Technik entsprechenden Beschleunigungssensoren betrifft, so ist hierzu folgendes auszuführen:

Verglichen wird hier nur mit miniaturisierten Sensoren, da andere eine deutlich schlechtere Performance aufweisen. Nachteile von herkömmlichen miniaturisierten Beschleunigungssensoren sind folgende:

20 Piezo-Sensoren: Konstante Beschleunigungen, wie z.B. Erdbeschleunigung, können mit piezoelektrischen Beschleunigungssensoren nicht erfasst werden.

MEMS: Die MEMS-Technologie ist zwar zuverlässig und günstig, insbesondere in Folge der großen Stückzahlen, erfordert aber dennoch hohe Präzision und einen teuren Maschinenpark. MEMS haben oft eine getrennte Elektronik auf einem separaten Chip. Eine Integration von Elektronik und Nano-Beschleunigungssensor ist zwar möglich, aber
25 aufwendig.

Die Erfindung hat sich die Aufgabe gestellt, die technologisch aufwendigen MEMS-Strukturen durch kostengünstige und einfache Sensorstrukturen zu ersetzen. Es sind daher zum einen selbstorganisierende Nanodrähte als träge Masse und schwingendes System, zum anderen magnetische Teilchen und weiters magneto-resistive
30 Schichtsysteme als Detektoreinheiten in Erwägung gezogen worden.

Gegenstand der Erfindung ist somit ein neuer Miniatur-Sensor zur Erfassung und Ermittlung von Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgängen von Massen, Objekten od. dgl., wobei derselbe zumindest eine auf einem Federelement angeordnete, ein Feld aussendende träge Masse, zumindest einen auf Feldstärkeänderungen sensiblen
35 Detektor sowie eine Indikationseinheit umfasst und mit der Masse, dem Objekt od. dgl. mitbewegbar ist gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, welcher die im Kennzeichen dieses Anspruches genannten Merkmale aufweist.

Die vorliegende Erfindung beruht insbesondere auf der Kombination von Nanodrähten und MR-Detektoren für die Sensoraufgabe. Bei der vorliegenden Erfindung besteht die träge Masse aus magnetischem Material, die Feder aus einem Nanodraht. Diese Erfindung nutzt zur Bestimmung der Lage der trägen Masse die Änderung des Widerstandes in einem magneto-resistiven (MR)-Detektor, der auf magnetische Streufelder der trägen Masse reagiert.

Was den konkreten Stand der Technik auf dem Gebiet der Beschleunigungssensoren und den Unterschied zur vorliegenden Erfindung betrifft, so sei hierzu die US 6131457 A genannt, welche die klassische Anordnung eines Beschleunigungssensors gemäß der herkömmlichen MEMS-Technologie zum Gegenstand hat, wie sie schon oben als Stand der Technik erörtert worden ist.

Die ganz wesentlichen und unübersehbaren zwischen dieser gemäß der US-A eingesetzten Technologie und der Unterschiede zur vorliegenden Erfindung bestehen in Folgendem:

a) Gemäß der genannten US-A muss das dortige Federelement explizit eine dreidimensionale Bewegungsfreiheit haben. Hingegen hat das Federelement, also der Nanodraht bzw. das auf dessen freiem Ende sitzende Massenelement gemäß der Erfindung eine nur sphärische und somit keine radiale und somit nur eine zweidimensionale Bewegungsfreiheit, begründet durch die erfindungsgemäße neue Anordnung der Messelemente.

b) Während gemäß der US-A völlig klar und explizit mindestens vier voneinander getrennte Detektorelemente von Nöten sind, ist gemäß der Erfindung nur eine einzige Detektoreinheit in Form einer dünnen magneto-resistiven Schicht auf dem Substrat vorgesehen.

c) Der Weg, auf welchem die gemäß der US-A zum Einsatz kommende Detektoreinheit hergestellt ist, ist grundsätzlich anders, als dies bei der Erfindung der Fall ist. Es kommt gemäß der US-A die besonders aufwendige MEMS-Technologie zur Anwendung, bei welcher mindestens vier Detektoren auf einer separaten Ebene vorgesehen sein müssen, während auf der im Abstand zu derselben sich befindlichen anderen, praktisch über der ersten Ebene schwebenden und in Z-Richtung verbiegbaren Ebene mehrere Zungen od. dgl. in x- und y-Richtung von der jeweils beschleunigenden bzw. verzögerten Masse bewegt werden müssen, diese Bewegung der Zungen also in die x-, y- und in die z-Richtung, also in alle drei Richtungen des Raumes erfolgt.

Die genannten vier Zungen 2c gemäß der US-A entsprechen funktionsmäßig etwa dem Nanodraht bzw. Einkristall der vorliegenden Erfindung, während der dortige Stift 4 im Wesentlichen der Masse 3 des am Ende des Nanodrahtes gemäß der Erfindung befindlichen Masseteilchen entspricht. Bei der gemäß der US-A zur Anwendung

kommenden MEMS-Technologie sind, wie oben erwähnt, die Zungen auf eine im Wesentlichen schwebenden Ebene angeordnet.

Darüber hinaus ist zu betonen, dass bei der MEMS-Technologie keine, wie jedoch erfindungsgemäß angewandte Selbstorganisation von Einkristallen bzw. Nanodrähten, also kein Eigenwachstum derselben zur Anwendung kommt. Gerade diese Selbstorganisation erlaubt jedoch das völlig neuartige Konzept gemäß der Erfindung, woraus sich letztlich die unter a) und b) genannten wesentlichen Unterschiede zwischen dem durch die US 6131457 A gegebenen Stand der Technik und der vorliegenden Erfindung ergeben.

Keinesfalls zuletzt soll darauf hingewiesen sein, dass die Sensoren gemäß der hier in Rede stehenden US-A nur im Mikro-Maßstab produzierbar sind, während sich die Technologie der vorliegenden Erfindung im Nano-Bereich realisiert.

Weiters ist hier die WO 03/053851 A2 zu nennen, welche insbesondere gemäß dem dortigen Anspruch 1 und der dortigen Fig. 12 eine Anordnung zur Messung von Biegekräften mittels Nanodraht beschreibt, der jedoch zwingend aus einem piezoelektrischen Material bestehen muss. Das Messsignal ist dort eine Spannung, welche durch den Piezoeffekt des Nanodrahtes selbst verursacht ist.

Die ganz wesentlichen und unübersehbaren Unterschiede zur vorliegenden Erfindung bestehen in Folgendem:

Während gemäß dieser WO-A2 explizit piezoelektrische Nanodrähte, bestehend aus Übergangsmetalloxiden adressiert sind, müssen solche Materialien für die selbstgewachsenen Nanodrähte bzw. Einkristalle gemäß der Erfindung gezielt vermieden werden, denn die Erfindung ist auf Nanodrähte bzw. Einkristalle aus einem ausdrücklich elektroneutralen Material gerichtet.

Der piezoelektrische Effekt der gemäß der WO-A2 einzusetzenden piezoelektrischen Nanodrähte würde sich auf die Messmethode mit der Einrichtung gemäß der Erfindung derart störend auswirken, dass praktisch keine Ergebnisse zu erwarten sind.

d) Es wird also in der genannten WO-A2 explizit piezoelektrisch detektiert, gemäß der Erfindung erfolgt die Messung einer magnetischen Wechselwirkung.

e) Während in der genannten WO-A2, also explizit der Nanodraht selbst, als Detektoreinheit funktioniert, arbeitet das Gerät der gemäß der Erfindung mit einer separaten Detektoreinheit eines einzigen magnetresistenten Schichtsystems und der Nanodraht fungiert gemäß der Erfindung in diesem Sinne als bloß passives, die zu messende Beschleunigung bzw. Verzögerung vermittelndes Element.

Zu erwähnen ist weiters die WO 2005/038468 A1, welche eine grundsätzlich andere Variante eines Beschleunigungssensors beschreibt, welcher über die Detektion eines Immissionsstromes arbeitet.

Die schließlich auch noch zu nennende EP 1203749 A1 beschreibt eine
5 Vorrichtung zur Kraftmessung in einem Rasterkraft-Mikroskop bzw. eventuell auf einem Massenspektrometer. Der dort beschriebene Aufbau ist eigenständig absolut nicht in der Lage, eine Beschleunigung oder Kraft zu messen. Es ist dort ein integrierter Aufbau, wie er gemäß der Erfindung vorliegt, nicht vorgesehen. Als mögliche zusätzliche Detektoreinheiten sind dort optische Messung, Elektronenbestrahlung mit Strommessung
10 und akustische Oberflächenwellen genannt.

Die Geräte und die mit denselben ausgeübten Messverfahren gemäß den beiden vorgenannten Dokumenten, unterscheiden sich also in grundlegender Art von der vorliegenden Erfindung und haben auch eine andere Zielrichtung, wie eben z.B. als Sensorelemente für Rasterkraftmikroskopie im Nicht-Kontakt-Betriebsmodus.

15 Gemäß A n s p r u c h 2 ist vorgesehen, dass der Nanodraht aus dem Detektor-Substrat emporgewachsen ist. Selbstorganisation ist definiert als ein grundlegendes physikalisches Prinzip zur Strukturbildung. Es ist definiert als reversibler Prozess, in dem bereits existierende Teile (zum Beispiel Moleküle) sich von selbst zu einer komplexeren Struktur oder Muster zusammenlagern [10]. Ein typisches Beispiel ist die
20 Selbstorganisation von Nanodrähten aus entsprechenden Molekülen in der Gasphasenabscheidung bei Anwesenheit eines Katalyten oder katalytisch wirkenden Teilchens.

Der A n s p r u c h 3 zeigt eine bevorzugte Art der Bildung des Nanodrahtes unterhalb eines Wachstumskeimes auf, der letztlich selbst die Streufeld-Magnetmasse am
25 Ende des Einkristalls bildet.

Der A n s p r u c h 4 gibt bevorzugte Stellen des Nanodrahtes an, an welchen die magnetische Beschichtung bzw. das magnetische Nanoteilchen angeordnet ist, sowie weiters im Sinne der Erreichung möglichst hoher Signalstärken bevorzugte Materialien dafür.

30 Dem A n s p r u c h 5 ist ein für die Bildung der Magnetfeld-Detektionsschicht vorteilhafterweise vorgesehenes Material zu entnehmen.

Hinsichtlich günstiger Methoden für die Bildung des Nanodrahtes ist auf den A n s p r u c h 6 zu verweisen.

Was die Bindung des magnetischen Nanoteilchens an den Einkristall bzw.
35 Nanodraht betrifft, so gibt der A n s p r u c h 7 hierüber näher Auskunft.

Bevorzugte Techniken zur Aufbringung einer magnetischen Beschichtung auf den Nanodraht nennt der A n s p r u c h 8.

Der A n s p r u c h 9 gibt im Rahmen der Erfindung bevorzugte Materialien für den Nanodraht an.

Dem A n s p r u c h 10 ist eine vorteilhafte Anordnung der Magnetfeld-Detektionsschicht im Bezug auf die Anordnung des Nanodrahtes zu entnehmen.

5 Auch der A n s p r u c h 11 betrifft eine günstige Geometrie des neuen Beschleunigungssensors, und zwar die Ausbildung und Winkelstellung des Nanodrahtes in Relation zur Magnetfeld-Detektionsschicht.

10 Den A n s p r ü c h e n 12 und 13 ist jeweils eine besonders effektive Art der Ausbildung des Detektions-Substrates bzw. der auf dasselbe aufgetragenen Magnetfeld-Detektionsschicht sowie der Anordnung der "federnden" Nanodrähte mit den magnetischen Nanoteilchen zu entnehmen.

Erwünschterweise möglichst hohe Signalstärken und hohe Präzision, und zwar bei Beschleunigung oder Verzögerung in alle Raumrichtungen lassen sich mit einem Sensor gemäß A n s p r u c h 14 erzielen.

15 Anhand der Zeichnung wird die Erfindung näher erläutert:

Es zeigen die Fig. 1a bis 1c drei unterschiedliche, jedoch im wesentlichen gleichartige, signal-generierende Beschleunigungssensoren einfacher Bauart gemäß der Erfindung und veranschaulichen zudem in einfacher Weise das zugrunde liegende Sensorprinzip der Wechselwirkung von magnetischen Komponenten mit der
20 Detektorschicht via magnetischer Streufelder, die Fig. 2a bis 2e verschiedene Anordnungen von Einkristallen bzw. Nanodrähten mit magnetischen Nanoteilchen und Magnetfeld-Detektionsschicht relativ zueinander und die Fig. 3a bis 3c kompliziertere Ausführungsformen von für ein-, zwei-, und dreidimensionale Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge empfindliche Sensoren der neuen Art.

25 Die wesentlichen Komponenten der Erfindung und das ihr zu Grunde liegende Prinzip sind in den Figuren 1a bis 1d schematisch dargestellt. Ein Nanodraht 2 fungiert als biegbare Feder, die sich unter der Last der trägen Masse von Nanodraht 2 und andocktem magnetischem Nanoteilchen 3 biegen lässt. Dabei ist das magnetische Nanoteilchen 3 günstigerweise am oberen, freien Ende 22 des Nanodrahtes 2 befestigt,
30 kann aber auch an jeder anderen Position entlang des Nanodrahtes 2 befestigt sein. Der Nanodraht 2 und das magnetische Teilchen 3 bilden zusammen die träge Masse t_m . Die Änderung der Position der trägen Masse t_m wird über ein von ihm abgestrahltes magnetisches Streufeld m_f erfasst. Dieses Streufeld wird von magnetischen Materialien erzeugt, die für die Herstellung des Nanodrahtes 2 und/oder des Nanoteilchens 3 benutzt
35 werden. Die magnetischen Streufelder m_s werden von magnetoresistiven Detektoren bzw. von einem solchen Detektor 4 erfasst, die bzw. der sich in unmittelbarer Nähe der Nanodrähte 2 befinden bzw. befindet. Günstigerweise sind diese magnetoresistiven

Detektoren 4 mittels Dünnschichtverfahren auf dem Substrat 5 hergestellt.

Ändert sich die Lage der trägen Masse m , also des Verbundes von Nanodraht 2 plus Nanoteilchen 3, ändert sich auch die Stärke des Streufeldsignals im Detektor 4. Die Stärke der Änderung hängt von der relativen Bewegungsrichtung von Träger Masse m und Detektor 4 ab. Eine Abstandsänderung entlang der direkten Verbindungsgeraden erzeugt die größte Signaländerung und ändert sich nach einem Potenzgesetz mit einer Potenz zwischen 2 und 3. Daraus lassen sich optimierte Designregeln für den konkreten Aufbau des neuen Sensors 1 ableiten.

Die Fig. 1a zeigt, wie aus einem mit einem Objekt mitbewegten, mit der Magnetfeld-Detektionsschicht 4 beschichteten Detektor-Substrat 5 in einem spitzen Winkel α der mit einem Ende 21 an das Substrat 5 bzw. an die Detektionsschicht 4 gebundene und aus dem selben schräg nach oben gewachsene Einkristall bzw. Nanodraht 2 emporragt, der an seinem freien Ende 22 das permanente magnetische Streufeld m_s generierende Nanoteilchen 3 trägt.

Kommt es z.B. zu einer Beschleunigung des Objektes und somit des Substrates 5 und der Detektorschicht 4 nach links, so wird unter geringer Krümmung des Nanodrahtes 2 nach rechts und somit auch Bewegung des magnetischen Nanoteilchens 3 nach rechts unten das magnetische Streufeld m_s dieses Systems verschoben, und diese geringe, aber hoch reproduzierbare Bewegung bewirkt in der magneto-resistiven Beschichtung 4 eine Änderung von deren elektrischen Widerstand. Diese Widerstandsänderung wird von der Detektionseinheit 7 registriert und eventuell verstärkt und schließlich an eine Speicher-, Anzeige- und/oder Ausgabereinheit 8 weitergegeben.

Der besondere Vorteil der neuen Beschleunigungssensoren 1 besteht darin, dass sie in höchst miniaturisierter Form vorliegen und bevorzugt eben selbst mit ihrer magneto-resistiven Schicht 4 integraler Bestandteil einer Detektionselektronik, insbesondere eines Chips, sein können, was deren Nano-Bauweise ermöglicht.

In der Fig. 1b sind ein Beschleunigungssensor 1 mit schräg dem Substrat 5 entwachsendem und dann zur Senkrechten hin sich nach oben krümmendem Nanodraht 2 mit magnetischem Nanoteilchen 3 und seine Bewegung bei Beschleunigung oder Verzögerung durch Doppelpfeil dargestellt, von welchem bei Beschleunigung relativ kleine Signale zu erwarten sind, und gemäß Fig. 1c ist ein steil dem Substrat 5 entwachsender Nanodraht 2 vorgesehen, welcher jedoch zur magneto-resistiven Schicht 4 hin abwärts gekrümmt ist und bei Beschleunigung ein relativ größeres bzw. großes Signal generieren kann.

Die Fig. 1d zeigt einen schrägen Einkristall oder Nanodraht 2 ohne gesonderte Masse an seinem Ende, allerdings ist dort derselbe mit einer magnetischen Beschichtung 3' ausgestattet.

Bei sonst gleichbleibenden Bezugszeichenbedeutungen zeigen die Fig. 2a bis 2e Messprinzip und Position an Hand eines der Magnetfeld-Beschichtung 4 etwa "mittig" und im rechten Winkel entwachsenden Nanodrahtes 2, eines der genannten Beschichtung 4 an deren Rand rechtwinkelig entwachsenden Nanodrahts 2 und eines ebenfalls
5 rechtwinkelig emporragenden Nanodrahts 2, welcher unter Wahrung eines Abstandes a von der Magnetoresistiv-Schicht 4 umgeben ist, sowie weiters einen im spitzen Winkel α aus dem Substrat 5 emporragenden Nanodraht 2 in einem Abstand b neben der und schließlich in der Magnetfeld-Detektionsschicht 4.

Bei sonst gleichbleibenden Bezugszeichenbedeutungen zeigt die Fig. 3a ein etwa
10 mit Furchen 51 gestaltetes Substrat 5, wobei eine Flanke 52 der Furche 51 mit der Magnetfeld-Detektionsschicht 4 beschichtet ist, und aus der anderen Flanke 52, hier ohne Detektionsschicht, - hier senkrecht und etwa parallel zur Flanke 51 - der Nanodraht 2 mit dem Nanoteilchen 3 emporragt, wodurch ein hochempfindlicher, zumindest 1-dimensionalen Beschleunigungssensor 1 gegeben ist.

15 Beim Sensor 1 gemäß Fig. 3b ragen mehrere stehende Nanodrähte 2 in einer beispielsweise regelmäßigen Anordnung senkrecht aus dem Substrat 5 bzw. aus dessen Magnetfeld-Detektionsschicht 4 empor, womit ein sehr sensibler 2-dimensionaler Beschleunigungssensor geschaffen ist.

Bei dem Sensor 1 gemäß Fig. 3c, ist das Substrat 5 mit einer Mehrzahl von hier,
20 z.B. drei linear strukturiert angeordneten "Hügeln" 55 ausgebildet, vor deren höchsten Stellen 551 aus jeweils ein Nanodraht 2 senkrecht wegragt. Nun ist beim ersten Hügel 55 links kein weiterer Nanodraht vorgesehen, beim Hügel 55 in der Mitte sind beide Hügelflanken 552, 553 mit jeweils senkrecht von demselben aufragenden Nanodrähte 2 ausgebildet, und schließlich trägt der rechte Hügel 55 nur noch einer aus einer rechten
25 Flanke 553 von demselben aufragenden Nanodraht 2 mit dem Nanoteilchen 3.

Dieser in Fig. 3c gezeigte Sensor eignet sich insbesondere für eine sehr effektive Erfassung und Bestimmung von Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgängen in allen 3 Raum-Dimensionen.

Ergänzend zu den obigen Ausführungen noch folgende Bemerkungen:

30 Fig. 1 und 2 demonstrieren also die Wirkung von senkrecht und schräg stehenden Nanodrähten 2 unter der Annahme, dass der Detektor 4 parallel zur Oberfläche des Substrats 5 als Dünnschicht verläuft. Schräg stehende Nanodrähte 2 haben eine Oszillationskomponente senkrecht zum Detektor 4, und generieren damit eine deutliche Änderung der Streufeldkomponenten unter einer Oszillationsperiode. Die Fig. 2a bis 2e
35 zeigen eine Reihe von Positionierungsmöglichkeiten des Nanodrahtes 2 samt magnetischen Teilchen 3 relativ zum Detektor 4.

Das magnetische Teilchen 3 kann aus ferro- oder paramagnetischem Material

bestehen. Aufmagnetisierte ferromagnetische Nano-Teilchen 3 erzeugen eigenständig ein magnetisches Streufeld ms. Zu dessen Verstärkung kann ein externes konstantes und homogenes Magnetfeld hinzugezogen werden. Ein solches ist für paramagnetische oder superparamagnetische Teilchen sicher günstig bzw. notwendig. Für die Anbringung des magnetischen Nanoteilchens 3 sind gemäß der Erfindung drei bevorzugte Möglichkeiten zu nennen, wobei zu betonen ist, dass durchaus weitere Möglichkeiten bestehen:

Für das Wachstum des Nanodrahtes 2 findet ein Keimling aus ferro- oder paramagnetischem Material Verwendung, der letztlich an der Spitze des Nanodrahtes 2 sitzt und selbst ein magnetisches Streufeld ms erzeugen kann.

Magnetisches Material kann mittels herkömmlicher Lithographie und Beschichtungsprozesse an dem Nanodraht 2 nachträglich und gezielt angebracht werden. Der Nachteil hierbei besteht in den zusätzlichen Prozessschritten, die nötig werden.

Magnetische Teilchen können über geeignete Bindestellen an den Nanodraht oder den Keimling andockt werden. Dies kann zum Beispiel in Lösung passieren: Gelöste magnetische Nanoteilchen 3, die spezifische Bindestellen an der Außenhaut besitzen, binden bei Kontakt an die Oberflächen des Nanodrahtes 2 oder Keimlings. Eine typische Bindung des magnetischen Teilchens 3 wäre zum Beispiel über eine Thiol-Bindung zu einer Goldoberfläche des Keimlings.

Die Herstellung der magneto-resistiven Detektoren auf der Substratoberfläche erfolgt bevorzugt mittels der Methoden der Schichtherstellung und Lithographie. Dabei werden neuere magneto-resistive Effekte, wie z.B. der Riesenmagnetowiderstand GMR und der Tunnelmagnetowiderstand TMR bevorzugt, weil sie wesentlich höhere Signalamplituden liefern.

Je nach Positionierung und Orientierung von Nanodrähten 2 und magneto-resistiven Detektoren 4 ergeben sich unterschiedliche Dimensionalitäten des neuen Beschleunigungssensors 1. Es können durch geschickte Einstellung von Wachstumsbedingungen der Nanodrähte 2 und der vorgegebenen Substratopographien sowohl 1-dimensionale als auch 2- und 3-dimensional sensitive Beschleunigungssensoren 1 gefertigt werden.

Die gemäß der vorliegenden Erfindung vorgesehene Kombination von Nanodrähten 2 und magnetischer Detektion erlaubt einen einzigartigen Zugang zu diesen sehr erwünschten Sensorkonzepten. Beispiele für Ausführungen von 1-, 2- und 3-dimensionalen Sensoren 1 sind in den Figuren 3a bis 3c dargestellt.

Die Konstellation in Fig. 3a zeigt ein Beispiel einer möglichen Anordnung für einen 1-dimensionalen Sensor 1. Kräfte parallel zum Nanodraht 2 wirken nicht, da der Nanodraht 2 zu steif ist. Kräfte parallel zur Sensorschicht 4, also in die Papierebene, liefern keine Signaländerung, da die Streufeldwirkung auf den Sensor 4 unverändert bleibt. Allein

Bewegung und Kräfte senkrecht zur Sensorschicht 4 werden mit maximaler Signalamplitude detektiert.

Von der Detektorschicht 4 senkrecht wegragende Nanodrähte 2, wie in Fig. 3b gezeigt, können sich in 2 Dimensionen bewegen. Das bedeutet, dass nur Kräfte in einer Ebene bestimmbar sind. Ein solcher Sensor gemäß Fig. 3b ist isotrop zweidimensional.

Figur 3c zeigt eine der möglichen, und zwar eine sehr einfache Variante eines 3-dimensionalen Sensors 1. Hier führen alle Kräfte in allen drei Raumrichtungen zu einer Detektorreaktion. Dieser Sensor 1 ist unspezifisch für die jeweilige Richtung. Jede Beschleunigung in eine beliebige Richtung findet jedoch einen passenden Nanodraht 2, den sie vertikal zur Sensorschicht 4 bewegen und somit ein Signal auslösen kann.

Was die Vorteile der Erfindung betrifft, ist hierzu abschließend folgendes zu bemerken:

Kostenfaktor: Die Fertigung der neuen Beschleunigungssensoren beinhaltet einfache Prozessschritte, die im Vergleich zur Herstellung traditioneller derartiger Sensoren deutlich kostengünstiger sind. Es hat somit das neue Produkt einen entscheidenden Kostenvorteil.

Sensorvariabilität: Durch einfache Änderung der Geometrien der Nanodrähte können ohne Änderung der Herstellungsprozeduren die Eigenschaften der Sensoren genau an die jeweiligen Aufgaben angepasst und gezielt eingestellt werden. Das prinzipielle Layout bleibt unverändert. Insbesondere können Resonanzfrequenzen und Frequenzgänge voreingestellt werden, und auch miteinander kombiniert werden.

Kombination: Die erfindungsgemäßen Sensoren können einfach mit anderen elektronischen oder sensorischen Komponenten kombiniert werden.

Mobilität: Die Erfindung ist für einen breiten Einsatz geeignet. Die technische Ausführung ist besonders klein, leicht und braucht wenig Energie und ist damit insbesondere für den Einbau in batteriebetriebene Geräte prädestiniert.

Strahlungshärte: Die einzelnen Komponenten sind resistent gegen Teilchen- und elektromagnetische Strahlung.

Flexibilität: Die neuen Sensoren sind für eine Anwendung in anderen Einsatzbereichen als Drucksensoren und Rotationssensoren geeignet und erschließen somit neue Anwendungsfelder.

Literatur zu:

Magnetowiderstand:

- [1] S. A. Wolf *et al.*, Science 294, 1488 (2001)
- 5 [2] H. Brückl, M. Brzeska, D. Brinkmann, J. Schotter, G. Reiss, W. Schepper, P.B. Kamp, A. Becker, "Magnetoresistive logic and biochip", J. Magn. Magn. Mater. 282, pp. 219, 2004.
- [3] H. Brückl, M. Panhorst, J. Schotter, P.B. Kamp, A. Becker, „Magnetic particles as markers and carriers of biomolecules“, IEErfindung Proc.-Nanobiotechnol. 152, 41 (2005)
- 10 Nanodraht:
- [4] R.S. Wagner, W.C. Ellis, Appl.Phys.Lett. 4(5), 89 (1964)
- [5] I. Givargizov, J.Cryst.Growth 31, 20 (1975)
- [6] J. R. Health, F. K. LeGoues, Chem. Phys. Lett. 208, 263 (1993); T. J. Trentler, K. H. Hickmann, S. C. Goel, A. M. Viano, P. C. Gibbons, W. Erfindung Buhro, Science 270, 1791
- 15 (1995)
- [7] J. Westwater, D. P. Gosain, S. Tomiya, S. Usui, H. Ruda, J. Vac. Sci. Techn. B 15 554 (1997)
- [8] A. M. Morales, C. M. Lieber, Science 279, 208 (1998); D. P. Yu, C. S. Lee, I. Bello, X. S. Sun, Y. H. Tang, G. W. Zhou, Z. G. Bai, Z. Zhang, S. Q. Feng, Solid State Commun. 105, 403 (1998)
- 20 [9] X. T. Zhou, N. Wang, H. L. Lai, H. Y. Peng, I. Bello, N. B. Wong, C. S. Lee, Appl. Phys. Lett. 74, 3942 (1999)
- [10] G.M. Whitesides, J.P. Mathias, C.T. Seto, "Molecular self-assembly and nanochemistry - a chemical strategy for the synthesis of nanostructures", Science 254, 1312 (1991)

Patentansprüche:

1. Miniatur-Sensor zur Erfassung und Ermittlung von Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgängen von Massen, Objekten od. dgl., wobei derselbe zumindest eine auf einem Federelement angeordnete, ein Feld aussendende, träge Masse, zumindest
5 einen auf Feldstärkeänderungen sensiblen Detektor sowie eine Indikationseinheit umfasst und mit der Masse, dem Objekt od. dgl. mitbewegbar ist, dadurch gekennzeichnet,
- dass der Miniatur-Sensor (1) mindestens ein im Wesentlichen stabartiges, insbesondere
10 durch Selbstorganisation gebildetes Federelement umfasst, welches durch einen mit einem Ende (21) mit dem mit der Masse, dem Objekt od. dgl., mitbewegten Detektor-Substrat (5) verbundenen und demselben entragenden, Einkristall bzw. Nanodraht (2), aus einem elektroneutralen Material, gebildet ist, welcher zumindest in einem begrenzten Bereich entlang seiner Erstreckung (E), vorzugsweise an bzw. im Nahbereich von seinem
15 freien Ende (22), eine ein permanentes, konstantes Streu-Magnetfeld (ms) aussendende - nur entlang der Oberfläche einer Kugel, deren Mittelpunkt sich jeweils am Ausgangspunkt bzw. am gebundenen Ende (21) des Einkristalls bzw. Nanodrahtes (2) befindet, bewegbare - Beschichtung (3'), eine derartige Masse, ein derartiges Nanoteilchen (3) od. dgl. trägt, wobei Einkristall bzw. Nanodraht (2) und Streu-Magnetfeld-Beschichtung, bzw. -
20 Masse (3', 3) gemeinsam die träge Masse bilden, und
- dass zumindest im Nahbereich des gebundenen Endes (21) des Einkristalls bzw. Nanodrahtes (2) jeweils eine einzige durchgehende Magnetfeld-Detektionsschicht (4), insbesondere eine einzige derartige Schicht (4) aus einem magnetoresistiven Material, angeordnet ist,
25 - dass jedoch bevorzugter Weise, das mitbewegte Substrat (5) mit einer solchen Schicht (4) versehen ist, welche bevorzugter Weise ihrerseits als Sensor-Komponente selbst einen Bestandteil, Bauteil od. dgl. einer Miniatur-Magnetfeld-Detektionseinheit (7) bildet.
2. Miniatur-Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
30 dass der Einkristall bzw. Nanodraht (2) durch selbstorganisiertes Wachsen direkt aus dem Detektor-Substrat (5) gebildet ist.
3. Miniatur-Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,
35 dass das magnetische Nanoteilchen (3) selbst den Keim für die Bildung bzw. für das Wachstum des Einkristalls bzw. Nanodrahtes (2) bildet und mit dessen freiem Ende (22) vom Substrat (5) bzw. von dessen Magnetfeld-Detektionsschicht (4) hochgehoben ist.

4. Miniatur-Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die magnetische Beschichtung (3') am Nanodraht bzw. im Nahbereich von dessen
5 freiem Ende (22) bzw. das dort angeordnete Nanoteilchen (3) mit bzw. aus einem
paramagnetischen oder ferromagnetischen Material, vorzugsweise mit bzw. aus reinen
Ferromagneten, wie Fe, Co, Ni, oder Oxiden der genannten Elemente, zum Beispiel
 Fe_3O_4 (Magnetit), gebildet ist.
- 10 5. Miniatur-Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Magnetfeld-Detektionsschicht (5) durch Dünnschichtsysteme, insbesondere
durch Vielfachschichten, die einen Riesenmagnetowiderstand, RMR, wie z.B. Cu/NiFe-
System oder Tunnelmagnetowiderstand, TMR aufweisen, gebildet ist.
- 15 6. Miniatur-Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Einkristall bzw. Nanodraht (2) durch Emporwachsen auf dem Detektor-Substrat
(5) unterhalb eines dort angeordneten Keimteilchens, vorzugsweise Nanoteilchens (3) aus
20 einem magnetischen Material (3), in einer das Einkristall- bzw. Nanodrahtmaterial
enthaltenden Gas- oder Flüssigphase gebildet ist.
7. Miniatur-Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
25 dass das magnetische Nanoteilchen (3) durch chemische Bindung an den Einkristall bzw.
Nanodraht (2), insbesondere an dessen freies Ende (22), gebunden ist.
8. Miniatur-Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
30 dass die magnetische Beschichtung (3') des Einkristalls bzw. Nanodrahts (2) mittels eines
Aufdampf- oder Lithografieprozesses auf denselben aufgebracht ist.
9. Miniatur-Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
35 dass der Einkristall bzw. Nanodraht (2) mit bzw. aus Silizium oder Galliumarsenid oder
selbst aus einem magnetischen Material gebildet ist.

10. Miniatur-Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Magnetfeld-Detektionsschicht (4) auf dem Detektor-Substrat (5) ohne oder mit
Abstand (a) rund um den von demselben aufragenden Einkristall bzw. Nanodraht (2)
5 aufgebracht ist, oder aber dass derselbe am Rand der genannten Schicht (4) angeordnet
ist.
11. Miniatur-Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
dadurch gekennzeichnet,
10 dass der, gegebenenfalls gekrümmt ausgebildete, Einkristall bzw. Nanodraht (2) in einem
von 90° verschiedenen Winkel (α) zur Oberfläche des Detektor-Substrats (5) bzw. zu
dessen Magnetfeld-Detektionsschicht (4) angeordnet ist.
12. Miniatur-Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
15 dadurch gekennzeichnet,
dass das Detektor-Substrat (5) mit einer Mehrzahl von, insbesondere zueinander parallel
verlaufenden, Furchen, Tälern (51) od. dgl. ausgebildet ist, deren einer Flanke (52) der
Einkristall bzw. Nanodraht (2) entragt und deren andere Flanke (53) jeweils die
Magnetfeld-Detektionsschicht (4) trägt (Fig. 3a).
20
13. Miniatur-Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass er eine Mehrzahl von, gegebenenfalls in einer regelmäßigen Rasterordnung, dem
Detektor-Substrat (5) bzw. der Magnetfeld-Detektionsschicht (4) im, gegebenenfalls
25 rechten, Winkel (α) zu dessen bzw. deren Oberfläche zueinander parallel ausgerichtet
entragenden Einkristallen bzw. Nanodrähten (2) aufweist. (Fig. 3b)
14. Miniatur-Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 13,
dadurch gekennzeichnet,
30 dass das Detektor-Substrat (5) eine Mehrzahl von, bevorzugt in einem Raster
angeordneten, mit der Magnetfeld-Detektionsschicht (4) versehenen Erhebungen (55),
Hügeln, Noppen od. dgl. aufweist, von deren höchsten Punkten bzw. Gipfeln (551) und
von deren Flanken (552, 553) jeweils bevorzugt im Wesentlichen senkrecht zur dortigen
Oberfläche die Einkristalle bzw. Nanodrähte (2) mit der magnetischen Beschichtung (3')
35 bzw. mit den magnetischen Nanoteilchen (3) wegragen.

Fig 1a

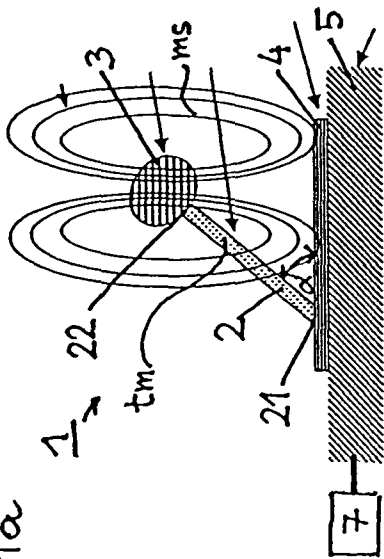


Fig. 1b

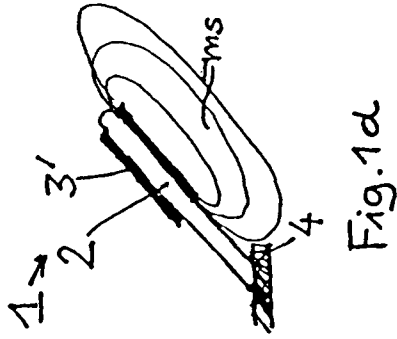
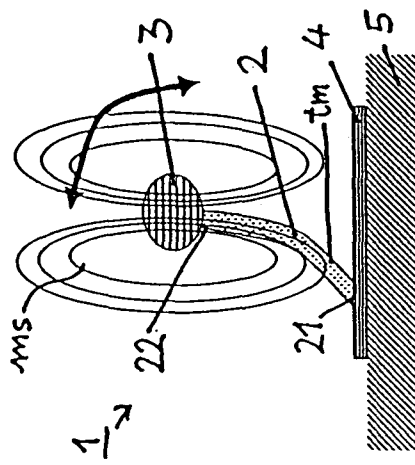


Fig. 1c

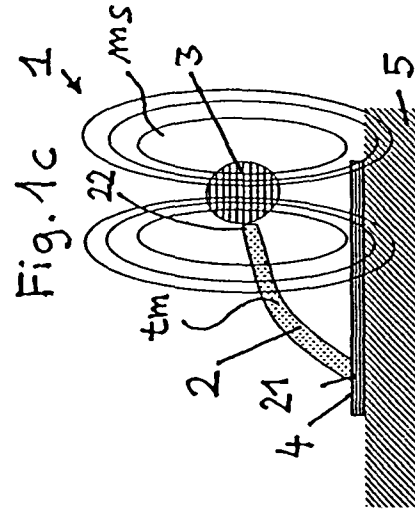
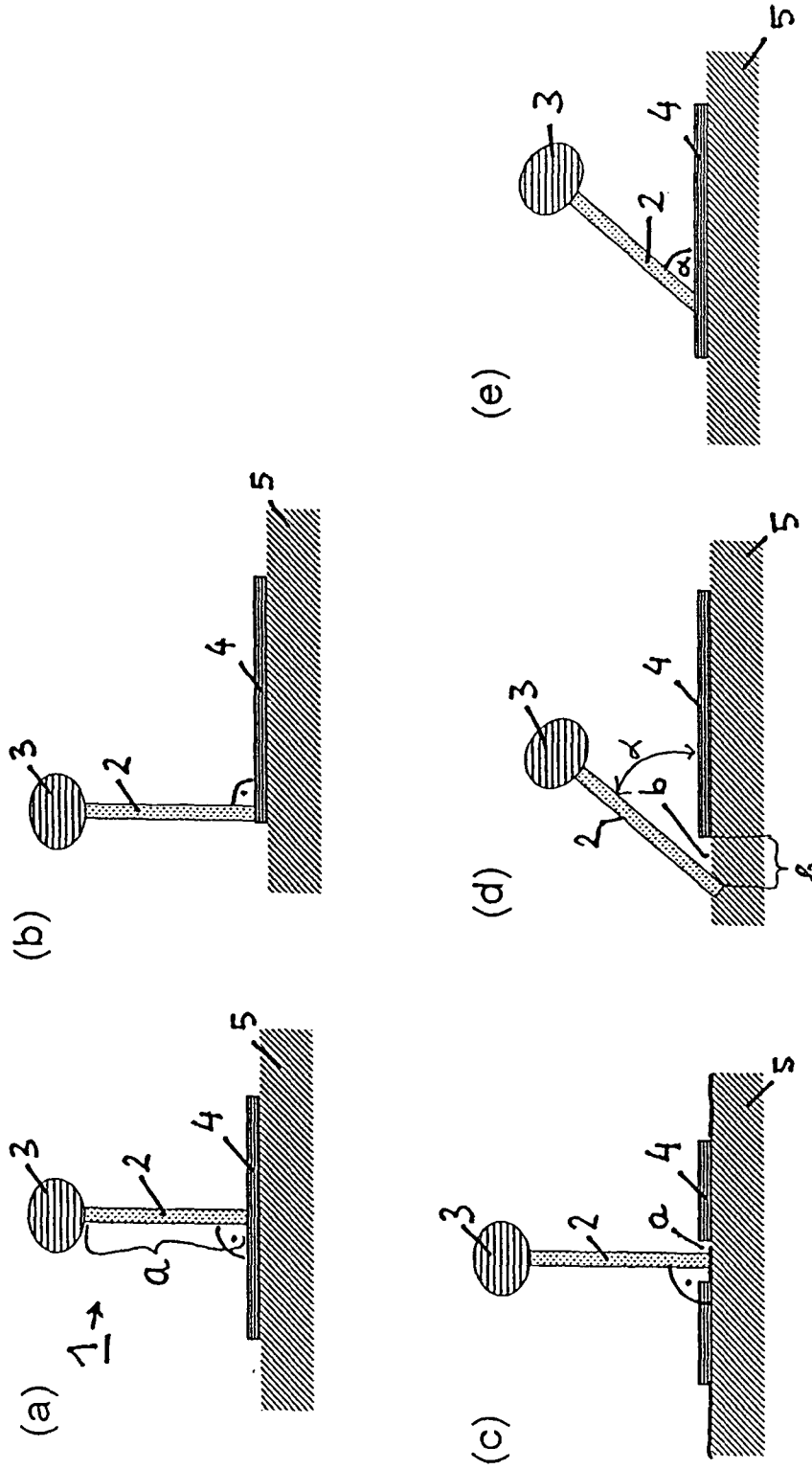


Fig 2



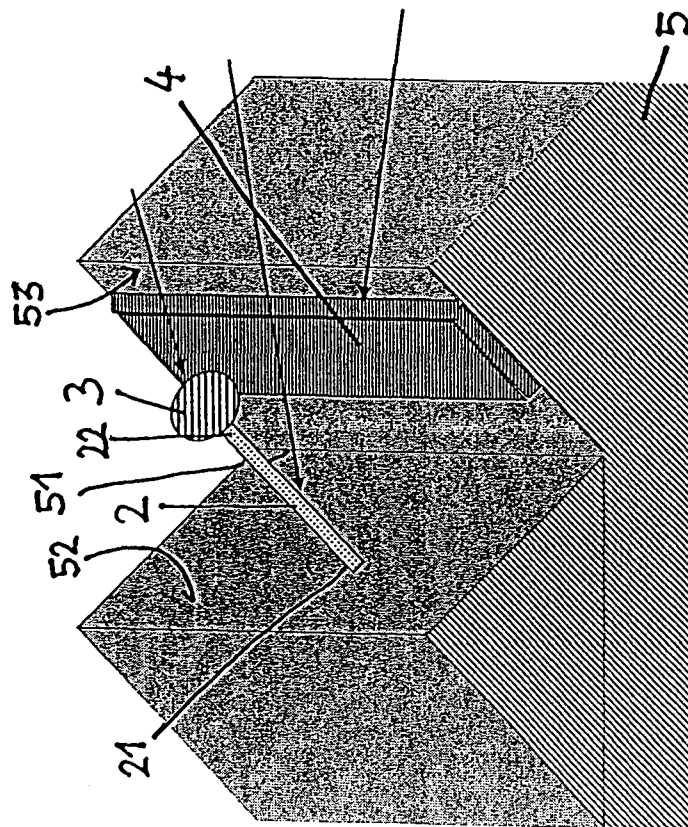


Fig 3a

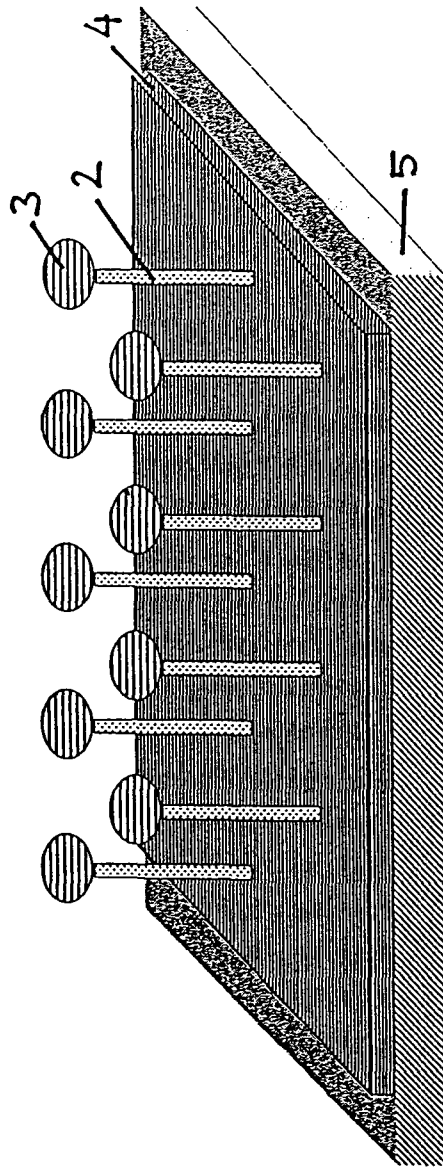


Fig. 3b

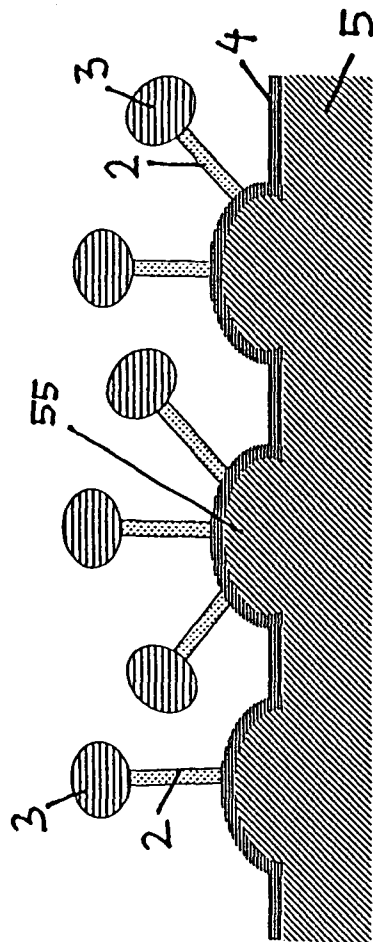


Fig 3c