



(11)

EP 1 866 940 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
03.08.2016 Patentblatt 2016/31

(51) Int Cl.:
H01F 41/34 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06723734.7**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2006/002756

(22) Anmeldetag: **25.03.2006**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2006/105877 (12.10.2006 Gazette 2006/41)

(54) **FERRO- ODER FERRIMAGNETISCHE SCHICHT, VERFAHREN ZU IHRER HERSTELLUNG UND IHRE VERWENDUNG**

FERROMAGNETIC OR FERRIMAGNETIC LAYER, METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF, AND USE THEREOF

COUCHE FERROMAGNETIQUE OU FERRIMAGNETIQUE, LEUR PROCEDE DE PRODUCTION ET LEUR UTILISATION

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **06.04.2005 DE 102005015745**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
19.12.2007 Patentblatt 2007/51

(73) Patentinhaber: **Karlsruher Institut für Technologie 76131 Karlsruhe (DE)**

(72) Erfinder:
• **BEKKER, Viacheslav 76227 Karlsruhe (DE)**
• **LEISTE, Harald 76356 Weingarten (DE)**
• **SEEMANN, Klaus 76448 Durmersheim (DE)**
• **ZILS, Stefan 76275 Ettlingen (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
FR-A- 2 773 632

- **K. FUJIMOTO ET AL.: "Bloch line propagation with Co-Pt bit patterns in stripe domains confined by grooves" IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Bd. 28, Nr. 6, November 1992 (1992-11), Seiten 3350-3354, XP002388701**
- **D. KLEIN ET AL: "Bloch line memory: dams for stripe domain confinement" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Bd. 57, Nr. 1, 15. April 1985 (1985-04-15), Seiten 4071-4072, XP002388700**
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 2003, Nr. 12, 5. Dezember 2003 (2003-12-05) & JP 2004 015038 A (RES INST ELECTRIC MAGNETIC ALLOYS), 15. Januar 2004 (2004-01-15)**
- **S. METHEFESSEL ET AL.: "Domain walls in thin Ni-Fe films" IBM JOURNAL OF RESEARCH AND DEVELOPMENT, Bd. 4, Nr. 2, April 1960 (1960-04), Seiten 96-106, XP002388702**

EP 1 866 940 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine dünne ferro- oder ferrimagnetische Schicht, Verfahren zu ihrer Herstellung und ihre Verwendung.

[0002] Passive oder aktive elektronische Bauelemente können ferro- oder ferrimagnetische Dünnschicht-Komponenten besitzen, die eine wesentliche Funktion des Bauelements bewirken. Zur Gewährleistung der Funktion dieser ferro- oder ferrimagnetischen Komponente ist es in vielen Fällen vorteilhaft, eine spezifische definierte magnetische Domänenstruktur bereitzustellen. Die sich in dünnen Schichten durch spontane Magnetisierung einstellende Domänenstruktur hängt in erster Linie von der Minimierung des Streufeldes ab. Daher ist in vielen Fällen, insbesondere dann, wenn die Materialeigenschaften über die Schicht nicht konstant sind, die Domänenstruktur nicht einstellbar.

[0003] Die Einstellbarkeit der Domänenstruktur sowie ihre räumliche und zeitliche Stabilisierung ist andererseits eine grundlegende Voraussetzung für magnetoelektronische oder spintronische Bauelemente insbesondere im Bereich der Hochfrequenztechnik, der Sensorik, der Speichermedien und der Elektronik.

[0004] Aus der EP 1 168 383 A1 und der US 6,529,110 B2 ist bekannt, magnetische Mikrostrukturen in einzelne Bereiche aufzuteilen. Hierzu wird ein magnetischer, sich innerhalb einer Spule befindlicher länglicher magnetischer Dünnschichtkern in mehrere quadratische oder rechteckige Bereiche aufgeteilt, wobei die Aufteilung des Dünnschichtkerns senkrecht zur Spulenachse erfolgt. Nachteilig hieran ist, dass eine vollständig getrennte Strukturierung zu relativ instabilen Domänenstrukturen führt, deren Ausbildung von der äußeren Geometrie abhängig ist und nicht direkt eingestellt werden kann.

[0005] K. FUJIMOTO ET AL. IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Bd. 28, Nr. 6, (1992), Seiten 3350-3354 und D. KLEIN ET AL., JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Bd. 57, Nr. 1, (1985), Seiten 4071-4072 zeigen Domäneneinschluss in Schichten mit senkrechte Magnetisierung mittels Ätzen von Nuten in dieser Schichten.

[0006] Ausgehend davon ist es die Aufgabe der Erfindung, eine ferro- oder ferrimagnetische Schicht, Verfahren zu ihrer Herstellung und ihre Verwendung anzugeben, die die vorher genannten Nachteile und Einschränkungen nicht aufweisen. Insbesondere soll eine ferro- oder ferrimagnetische Schicht angegeben werden, in der die Domänenstruktur weitgehend einstellbar ist.

[0007] Gelöst wird die Aufgabe durch die Merkmale des Patentanspruchs 1, durch das Verfahren des Patentanspruchs 7 und durch die Verwendungen des Patentanspruchs 10. Die Unteransprüche beschreiben jeweils vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0008] Die der Erfindung zu Grunde liegende Idee besteht darin, durch einen oder mehrere längliche Schlitze, die in eine ferro- oder ferrimagnetische Dünnschicht eingebracht sind, einen Einfluss auf die Einstellung der Do-

mänenstruktur auszuüben. Diese einstellbare Domänenstruktur ist der Schlüssel für die magnetisierungsabhängige Funktion eines Bauelements, das eine erfindungsgemäße Schicht umfasst. Eine derart mit Schlitzen versehene Schicht ermöglicht aufgrund der weitgehenden Verhinderung von Domänenwandbewegungen einen linearen Verlauf der Magnetisierung.

[0009] Domänen, die eine Magnetisierungsrichtung aufweisen, die ungleich der erforderlichen Richtung liegen, sowie Domänenwände stellen Bereiche großer Verluste z.B. durch Wanderungsbewegungen im elektrischen Wechselfeld dar. Eine Schicht ohne Schlitze bildet eine Domänenstruktur mit ausgedehnten Domänenwänden und großen Domänenbereichen mit ineffektiv liegender Magnetisierungsrichtung aus. Durch erfindungsgemäße Schlitze wird der Bereich der ausgerichteten Magnetisierung signifikant vergrößert und das Domänenwandvolumen verringert sowie die Domänenwandbewegung reduziert. Die gezielte Ausrichtung der Magnetisierung von Domänen wird so ermöglicht.

[0010] Eine erfindungsgemäße Schicht aus einem ferro- oder ferrimagnetischen Material ist direkt auf ein Substrat oder über eine oder mehrere zusätzliche elektrisch isolierende, halbleitende oder leitende nicht ferro- oder ferrimagnetische oder andere ferro- oder ferrimagnetische Zwischenschichten auf ein Substrat aufgebracht. Die Dicke der Schicht liegt bevorzugt zwischen 10 nm und 10 μm .

[0011] Eine erfindungsgemäße Schicht umfasst weiterhin einen oder mehrere Schlitze, die länglich ausgebildet sind und daher eine definierte Längsachse aufweisen. Die Tiefe des Schlitzes bzw. der Schlitze entspricht der jeweiligen Dicke der Schicht und ihre Breite ist jeweils größer als die Austauschlänge des ferro- oder ferrimagnetischen Materials, die üblicherweise im Bereich zwischen 10 nm bis 100 nm liegt. Kein Schlitz ist so angebracht, dass er eine Seite (Rand) der Schicht berührt und damit die Schicht ggf. in mehrere Teile zerteilen würde. Vorzugsweise werden keine strom- oder spannungsführenden Leiterbahnen durch den Schlitz geführt.

[0012] Die Schlitze besitzen vorzugsweise eine Länge, die der Geometrie der Schicht wie z.B. bei Rechtecken, Quadraten, Bändern, Dreiecken oder Ringen angepasst ist. In einer bevorzugten Ausgestaltung spannen die Seiten der Schicht ein Rechteck auf und die Längsachse des mindestens einen Schlitzes liegt im Wesentlichen parallel zu zwei gegenüberliegenden Seiten des Rechtecks. Die Länge jedes Schlitzes beträgt in diesem Falle bevorzugt zwischen dem 0,1- und dem 0,85-fachen, besonders bevorzugt zwischen dem 0,2- und dem 0,75-fachen einer Seite der Schicht, die im Wesentlichen parallel zur Längsachse des betreffenden Schlitzes verläuft.

[0013] Der Abstand zweier benachbarter Schlitze in einer vorgegebenen Geometrie ist abhängig von Material und Dicke der Schicht und besitzt eine Grenze nach oben durch die Ausbildung von zusätzlichen Domänen zwischen diesen beiden Schlitzen und nach unten durch die

Vergrößerung des durch zusätzliche Schlitzte eingenommenen inaktiven Volumens. Vorzugsweise wird demnach ein Abstand gewählt, der als Optimum zwischen der Verringerung der Quermagnetisierung durch mehr Schlitzte bei gleichzeitigem Verlust an Oberfläche auf der Schicht durch mehr Schlitzte gegeben ist.

[0014] Die Herstellung einer erfindungsgemäßen ferro- oder ferrimagnetischen Schicht erfolgt mittels eines Dünnschichtverfahrens.

Die so aufgebrachte Schicht wird durch Mikrostrukturtechniken in Bereiche strukturiert und es werden hiermit ein oder mehrere Schlitzte eingebracht. Hierfür kommen gängige Verfahren wie z.B. Ionenstrahlätzen, Plasmastrahlätzen, reaktives Ionenätzen, nasschemisches Ätzen oder mechanischer Abtrag in Frage. Die so erzeugten Strukturen können eine beliebige, insbesondere eine quadratische, rechteckige, runde, elliptische oder ringförmige Geometrie aufweisen.

[0015] Die gewünschte Domänenstruktur stellt sich bei Verwendung geeigneter Schlitzgeometrien entweder spontan, also ohne zusätzliche Wärmebehandlung ein. In einer besonderen Ausgestaltung wird eine induzierte Anisotropie durch eine anschließende Wärmebehandlung der Schicht mit oder ohne externes Magnetfeld verstärkt eingepreßt. Im Allgemeinen kann jedoch in erfindungsgemäß geschlitzten Bereichen der Schicht auf die Wärmebehandlung der Schicht sowie auf das externe Magnetfeld während der Wärmebehandlung zum Einprägen einer uniaxialen Anisotropie verzichtet werden.

[0016] Die vorliegende Erfindung ermöglicht damit die gezielte Einstellung von magnetischen Domänen in ferro- oder ferrimagnetischen Schichten mit beliebigen äußeren Geometrien, wobei ein hoher Anteil an gezielt ausgerichteten Bereichen innerhalb der Schicht erzeugt wird. Auch die Ausrichtung der Domänen in beliebigen geometrischen Dünnschichtstrukturen ist möglich. Damit wird eine gezielte Einstellbarkeit der Permeabilität und des Magnetisierungsverhaltens von magnetischen Schichtstrukturen über die Domänenstruktur möglich.

[0017] Erfindungsgemäße Schichten eignen sich für die Verwendung in magnetoelektronischen und spintronischen Bauelementen, insbesondere für die Bereiche Hochfrequenztechnik, Sensorik, Speichermedien und Elektronik.

[0018] Die Erfindung wird im Folgenden an Hand von Ausführungsbeispielen mit Hilfe der Abbildungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 Schematische Darstellung der Magnetisierung einer ferro- oder ferrimagnetischen Schicht

- a) nach spontaner Magnetisierung
- b) und anschließender Wärmebehandlung im externen Magnetfeld jeweils ohne erfindungsgemäßen Schlitz;
- c) nach spontaner Magnetisierung mit erfindungsgemäßen Schlitz.

Fig. 2 a)-c) Schematische Darstellung des Einflusses der Länge eines Schlitzes auf die Magnetisierung in der Schicht;

d)-f) Schematische Darstellung des Einflusses der Länge eines Schlitzes bei gleichzeitig Zunahme der Anzahl von Schlitzten auf die Magnetisierung in der Schicht.

Fig. 3 Schematische Darstellung verschiedener Geometrien der Anordnung von erfindungsgemäßen Schlitzten:

- a) uniaxiale Anordnung;
- b) trianguläre Anordnung,
- c) ringförmige Anordnung.

Fig. 4 Schematische Darstellung des Beispiels einer Anordnung von verschiedenen erfindungsgemäßen Schlitzten.

[0019] Mittels reaktivem Magnetronspputtern wird eine ebene dünne Schicht **10** aus dem ferromagnetische Material FeCoTaN auf ein Substrat mit quadratischen lateralen Abmessungen von $20\ \mu\text{m} \times 20\ \mu\text{m}$ aufgebracht. Die Dicke der Schicht **10** beträgt 100 nm und ist damit 200-fach geringer als die Kantenlänge. In einer derartigen Schicht **10** bildet sich spontan eine Domänenstruktur aus, die schematisch in **Fig. 1a)** mit den Domänen **11**, **12**, **13**, **14** dargestellt ist. Dabei sind die Beträge der Magnetisierungen der Domänen gleich groß.

[0020] Es ist erforderlich, dass die Richtung der Magnetisierung in der Schicht vorliegt. Im Falle von uniaxialer Anisotropie sollen sich in jeweils benachbarten Bereichen der Schicht zwei entgegengesetzte Richtungen der Magnetisierung ausbilden, während der Anteil der hierzu senkrecht stehenden Magnetisierungen möglichst gering sein soll. Diese Anforderungen lassen sich erfüllen, indem der Volumenanteil der günstig orientierten Bereiche **11**, **13** vergrößert und damit gleichzeitig der Volumenanteil der hierzu senkrecht stehenden und damit ungünstig orientierten Bereiche **12**, **14** entsprechend verringert wird.

[0021] Durch eine aus dem Stand der Technik bekannte Wärmebehandlung der Schicht **10'** in einem externen Magnetfeld ergibt sich, wie in **Fig. 1b)** dargestellt, nach dem Abschalten des externen Feldes eine Vergrößerung der Domänen **11**, **13** zu den Domänen **11'**, **13'** bis zu einem gewissen Maß. Eine weitere Vergrößerung der Domänen **11'**, **13'** ist mit bekannten Maßnahmen nicht möglich.

[0022] Ist in der ferromagnetischen Schicht **10''** jedoch ein Schlitz **20** eingebracht, dessen Ausrichtung parallel zur Orientierung der Magnetisierung in den Domänen **11**, **13** verläuft, lassen sich, wie aus **Fig. 1c)** hervorgeht, die Domänen **11**, **13** über das aus dem Stand der Technik bekannte Maß hinaus zu den Domänen **11''**, **13''** vergrößern. Hierdurch ist der Volumenanteil der Domänen **11''**, **13''** mit der gewünschten Richtung der Magnetisierung

im Vergleich zu den Domänen **11**, **13** signifikant höher, während der Volumenanteil der hierzu senkrecht stehenden und damit ungünstig ausgerichteten Domänen **12**, **14** im Vergleich mit den Domänen **12'**, **14'** signifikant niedriger ist.

[0023] In **Fig. 2 a)** bis **c)** ist der Einfluss der zunehmenden Länge jeweils eines einzelnen Schlitzes **20**, **20'**, **20''** auf die Magnetisierung in der ferromagnetischen Schicht dargestellt. Hieraus ist ersichtlich, dass sich der Volumenanteil der parallel zur Längsachse des jeweils einen Schlitzes **20**, **20'**, **20''** angeordneten und damit günstig orientierten Bereiche zunehmend vergrößert und sich damit gleichzeitig der Volumenanteil der senkrecht zur Längsachse des jeweils einen Schlitzes **20**, **20'**, **20''** angeordneten und damit ungünstig orientierten Bereiche entsprechend verringert. Derselbe Effekt wird beobachtet, wenn, wie in **Fig. 2 d)** bis **f)** dargestellt, gleichzeitig die Anzahl der jeweils parallel zueinander orientierten Schlitzte von **20**, **21** über **20'**, **21'**, **22'** zu **20''**, **21''**, **22''**, **23''** zunimmt.

[0024] In **Fig. 3** sind verschiedene Geometrien mit erfindungsgemäß angeordneten Schlitzten schematisch dargestellt. **Fig. 3a)** zeigt eine uniaxiale Anordnung mit sieben parallel zueinander orientierten Schlitzten **20** bis **26**, **Fig. 3b)** eine triangulare Anordnung mit einem in drei Richtungen gefächerten Schlitz **30**, die jeweils einen Winkel von ca. 120° zueinander einnehmen, während in **Fig. 3c)** eine ringförmige Anordnung mit einer Vielzahl von Schlitzten **20**, **21** usw. dargestellt ist, deren Längsachsen jeweils radial auf den Mittelpunkt **40** eines durch die Seiten des Ringes definierten Kreises angeordnet sind.

[0025] **Fig. 4** zeigt schematisch ein Beispiel einer Anordnung von verschiedenen erfindungsgemäßen Schlitzten. Eine derartige Anordnung zeigt die Einstellbarkeit von magnetischen Domänen in beliebigen Geometrien.

Patentansprüche

1. Schicht aus einem ferro- oder ferrimagnetischen Material, die auf einem Substrat aufgebracht ist, wobei sie mindestens einen länglichen Schlitz zur Einstellung der Domänenstruktur im ferro- oder ferrimagnetischen Material umfasst,
 - dessen Tiefe der Dicke der Schicht entspricht,
 - dessen Breite größer als die Austauschlänge des Materials ist und
 - der so angebracht ist, dass er keine Seite der Schicht berührt,
 wobei die bevorzugte Richtung der Magnetisierung in der Schicht liegt.
2. Schicht nach Anspruch 1, wobei keine strom- oder spannungsführenden Leiterbahnen durch den mindestens einen Schlitz geführt werden.

3. Schicht nach Anspruch 2, wobei die Seiten der Schicht ein Rechteck aufspannen und die Längsachse des mindestens einen Schlitzes parallel zu zwei Seiten des Rechtecks liegt.

4. Schicht nach Anspruch 3, wobei die Länge des mindestens einen Schlitzes zwischen dem 0,1- und dem 0,85-fachen der Länge einer Seite der Schicht beträgt, die parallel zur Längsachse des Schlitzes liegt.

5. Schicht nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei ihre Dicke zwischen 10 nm und 10 µm beträgt.

6. Schicht nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei sich zwischen der Schicht und dem Substrat mindestens eine weitere Schicht befindet.

7. Verfahren zur Herstellung einer Schicht nach einem der Ansprüche 1 bis 6 mittels eines Dünnschichtverfahrens und Einbringen des mindestens einen Schlitzes mittels Ionenstrahlätzen, Plasmastrahlätzen, reaktivem Ionenätzen, nasschemischem Ätzen oder mechanischem Abtrag.

8. Verfahren nach Anspruch 7 mit zusätzlicher Wärmebehandlung.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8 unter zusätzlicher Einwirkung eines externen Magnetfelds.

10. Verwendung einer Schicht nach einem der Ansprüche 1 bis 6 in magnetoelektronischen oder spintronischen Bauelementen.

Claims

1. Layer of a ferromagnetic or ferrimagnetic material that is applied to a substrate, wherein the layer comprises at least one elongate slot for adjusting the domain structure in the ferromagnetic or ferrimagnetic material,
 - of which the depth matches the thickness of the layer,
 - of which the width is greater than the exchange length of the material, and
 - which is applied in such a way that it does not touch any side of the layer, wherein the preferred direction of the magnetization lies in the layer.
2. Layer according to claim 1, wherein no conductor paths conducting current or voltage are passed through the at least one slot.
3. Layer according to claim 2, wherein the sides of the layer comprise a rectangle and the longitudinal axis of the at least one slot lies parallel to two sides of

the rectangle.

4. Layer according to claim 3, wherein the length of the at least one slot amounts to between 0.1 and 0.85 times the length of one side of the layer, which lies parallel to the longitudinal axis of the slot.
5. Layer according to any one of claims 1 to 4, wherein its thickness amounts to between 10 nm and 10 μ m.
6. Layer according to any one of claims 1 to 5, wherein at least one further layer is located between the layer and the substrate.
7. Method for the production of a layer according to any one of claims 1 to 6 by means of a thin layer process, and the application of the at least one slot by means of ion beam etching, plasma beam etching, reactive ion etching, wet chemical etching, or mechanical removal.
8. Method according to claim 7, with additional heat treatment.
9. Method according to claim 7 or 8, with the additional effect of an external magnetic field.
10. Use of a layer according to any one of claims 1 to 6 in magnetoelectronic or spintronic components.

che qui s'étend parallèlement à l'axe longitudinal de la fente.

5. Couche conforme à l'une des revendications 1 à 4, dont l'épaisseur est comprise entre 10 nm et 10 μ m.
6. Couche conforme à l'une des revendications 1 à 5, dans laquelle au moins une autre couche est située entre la couche et le substrat.
7. Procédé d'obtention d'une couche conforme à l'une des revendications 1 à 6, par la mise en oeuvre d'un procédé en couche mince et réalisation d'une fente par gravure par faisceau ionique, gravure par faisceau plasma, gravure ionique réactive, gravure chimique par voie humide ou extraction mécanique.
8. Procédé conforme à la revendication 7, comprenant un traitement thermique complémentaire.
9. Procédé conforme à la revendication 7 ou 8, mis en oeuvre sous l'action supplémentaire d'un champ magnétique externe.
10. Utilisation d'une couche conforme à l'une des revendications 1 à 6, dans des composants magnéto-électroniques ou spintroniques.

Revendications

1. Couche en un matériau ferro ou ferrimagnétique qui est appliquée sur un substrat, cette couche comprenant au moins une fente longitudinale destinée à permettre de régler la structure des domaines dans le matériau ferro ou ferrimagnétique, dont la profondeur correspond à l'épaisseur de la couche, dont la largeur est supérieure à la longueur d'échange du matériau et qui est réalisée de sorte qu'elle ne soit pas en contact avec un côté de la couche, l'orientation préférentielle de l'aimantation étant située dans la couche.
2. Couche conforme à la revendication 1, dans laquelle aucun chemin conducteur de courant ou de tension ne passe au travers de la fente.
3. Couche conforme à la revendication 2, dans laquelle les côtés de la couche définissent un rectangle et l'axe longitudinal de la fente s'étend parallèlement à deux côtés de ce rectangle.
4. Couche conforme à la revendication 3, dans laquelle la longueur de la fente est comprise entre 0,1 et 0,85 fois la longueur d'un côté de la cou-

Fig. 1

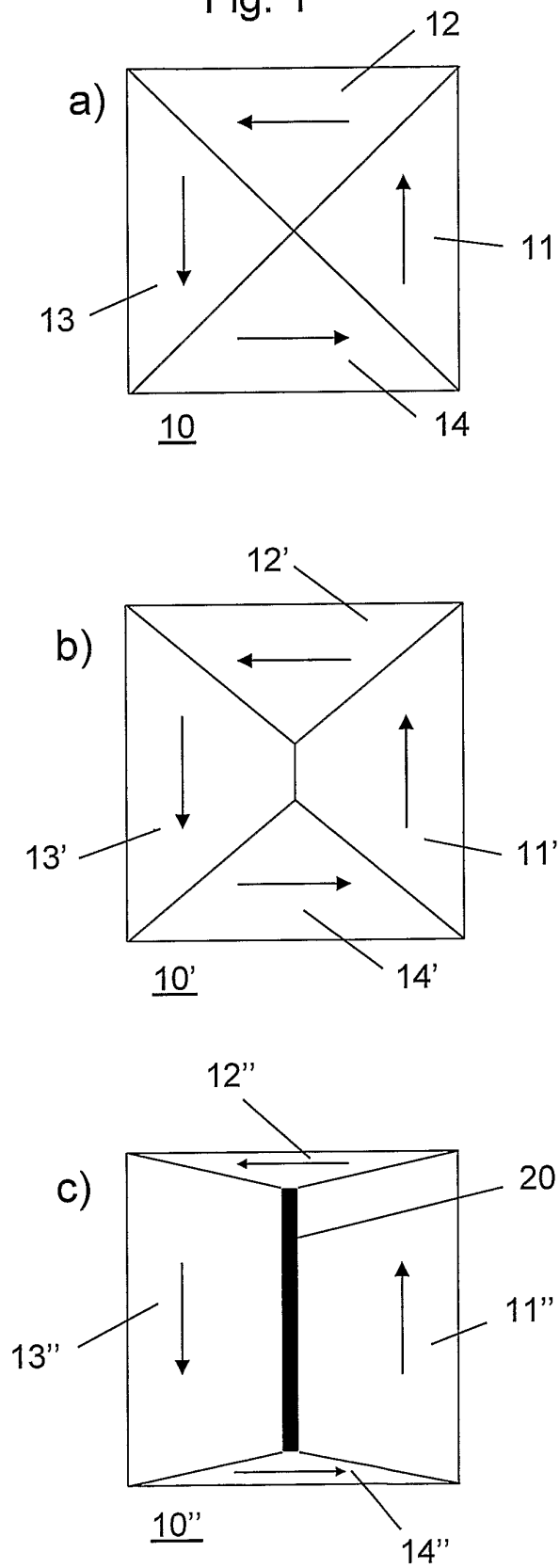


Fig. 2

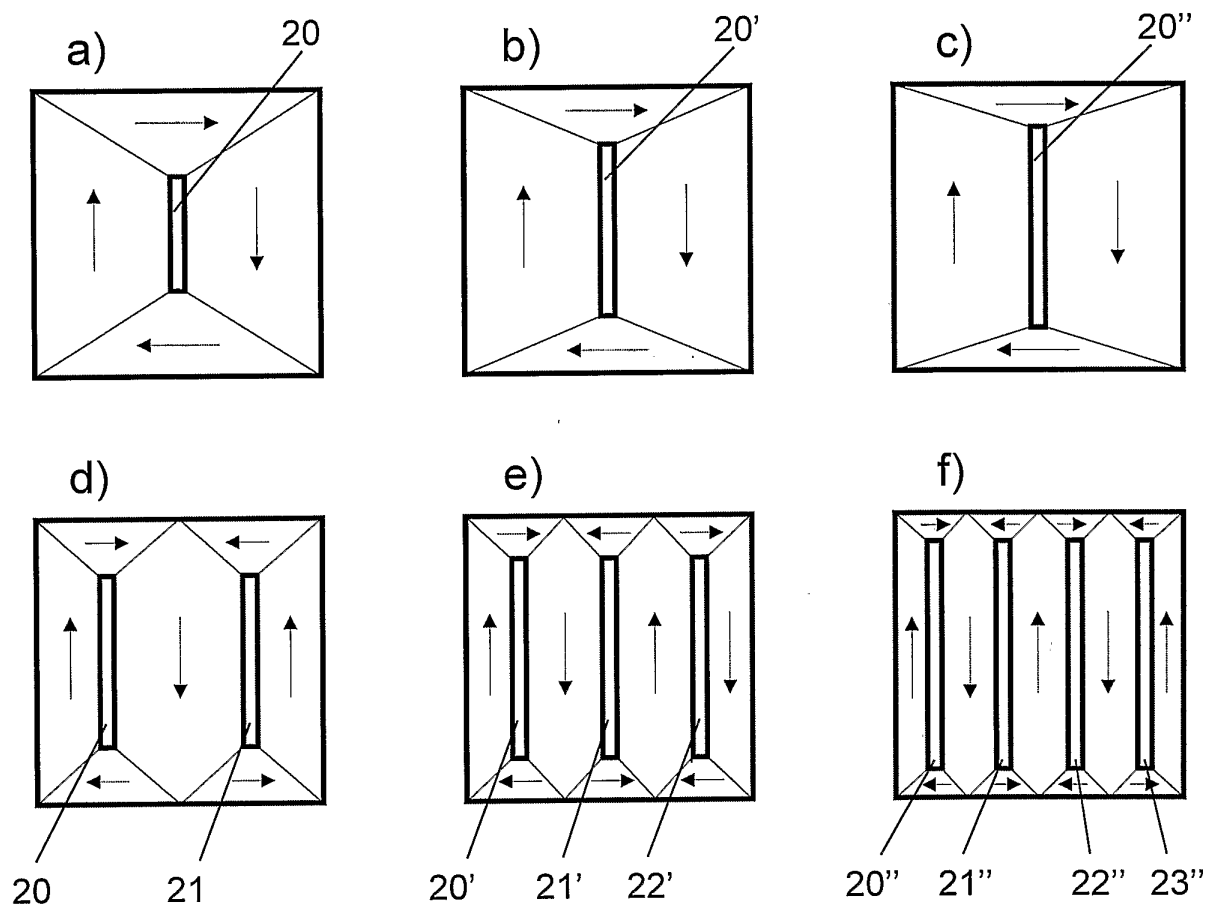


Fig. 3

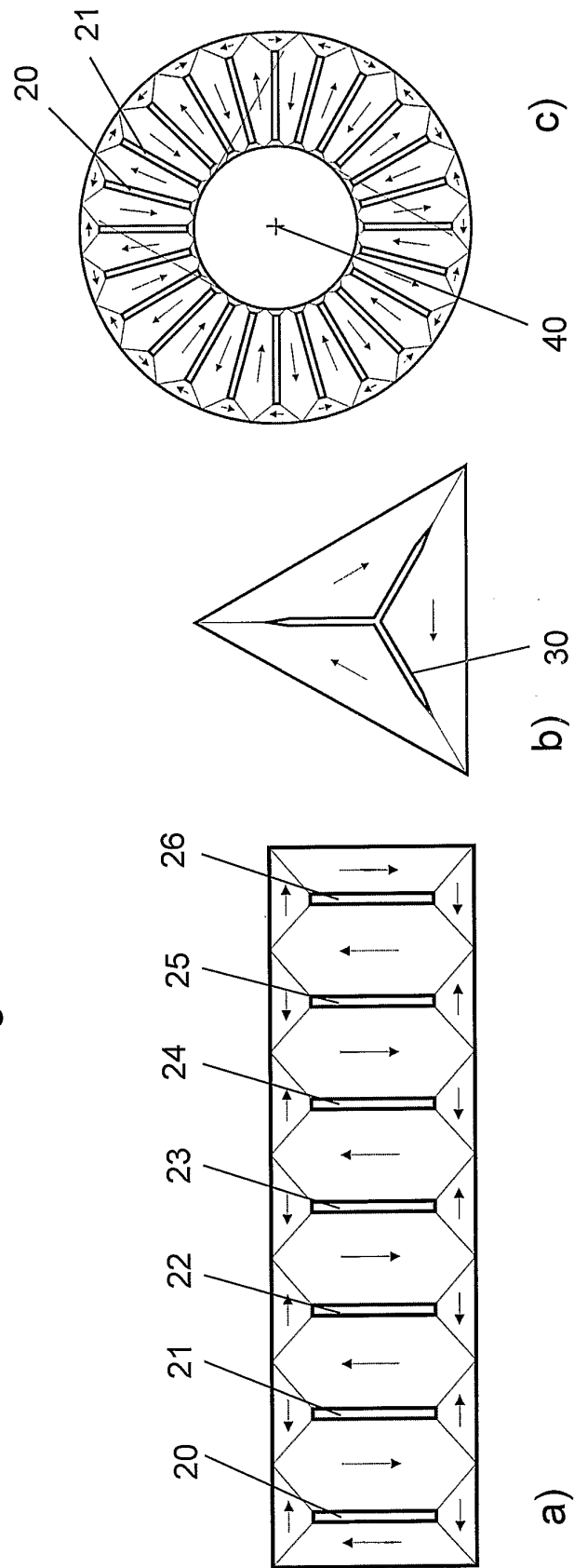
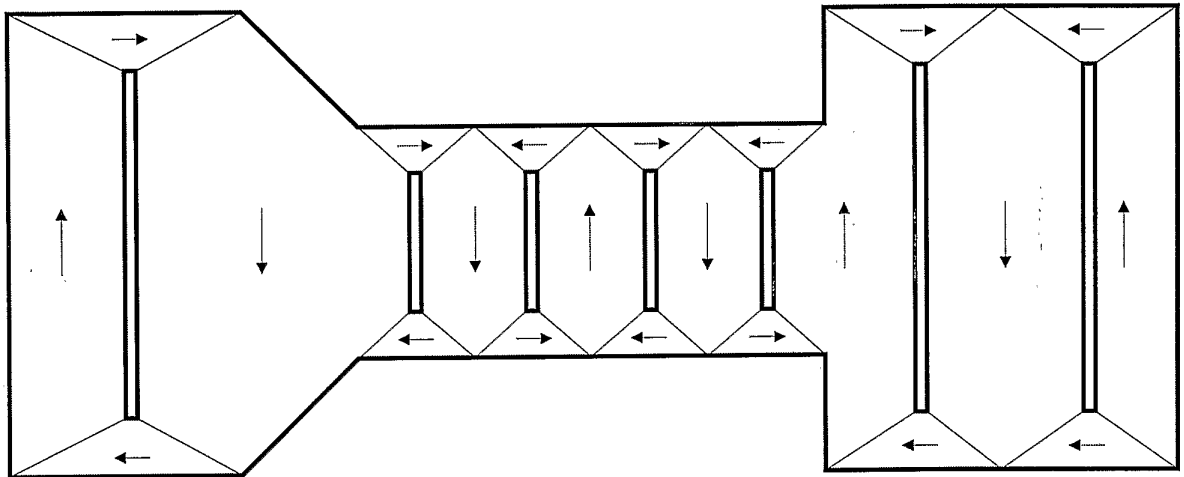


Fig. 4



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1168383 A1 **[0004]**
- US 6529110 B2 **[0004]**

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **K. FUJIMOTO et al.** *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, 1992, vol. 28 (6), 3350-3354 **[0005]**
- **D. KLEIN et al.** *JOURNAL OF APPLIED PHYSICS*, 1985, vol. 57 (1), 4071-4072 **[0005]**