



(10) **DE 10 2019 114 688 A1** 2020.12.03

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2019 114 688.7**

(22) Anmeldetag: **31.05.2019**

(43) Offenlegungstag: **03.12.2020**

(51) Int Cl.: **H01F 41/14** (2006.01)

H01F 7/02 (2006.01)

H01F 10/00 (2006.01)

G01B 7/02 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie,
dieses vertreten durch den Präsidenten der
Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 38116
Braunschweig, DE**

(72) Erfinder:

**Schumacher, Hans Werner, Dr., 38159 Vechelde,
DE**

(74) Vertreter:

**Gramm, Lins & Partner Patent- und
Rechtsanwälte PartGmbB, 38122 Braunschweig,
DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

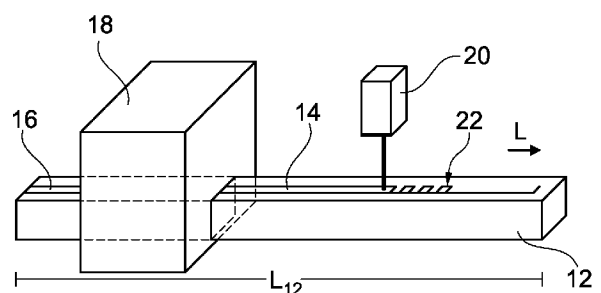
AT	407 196	B
WO	2016/ 067 949	A1
JP	H04- 24 511	A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Herstellen eines Magnetmaßstabs und Magnetmaßstab**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Magnetmaßstabs (10), mit den Schritten: (a) Aufbringen einer Magnetschicht (14) aus hartmagnetischem Material auf ein Substrat (12) und (b) Strukturieren der Magnetschicht (14), sodass eine Positionskodierungsstruktur (22) erhalten wird, (c) wobei das Strukturieren mittels eines Lasers (20) erfolgt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Magnetmaßstabs. Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung einen Magnetmaßstab.

[0002] Magnetmaßstäbe sind Teile von Magnet-Längenmesssystemen und bilden einen Längenmaßstab, bei dem die Längeninformation magnetisch kodiert ist. Mittels eines Auslesekopfs, der relativ zum Magnetmaßstab beweglich angeordnet ist, kann das lokale Magnetfeld des Magnetmaßstabs gemessen werden. Aus dem gemessenen Magnetfeld wird die Position des Auslesekopfs relativ zum Magnetmaßstab bestimmt.

[0003] Magnet-Längenmesssysteme und damit magnetische Maßstäbe werden zur Positions- und Winkelmessung in verschiedenen Technologiebereichen eingesetzt, beispielsweise in Werkzeugmaschinen. Eine Werkzeugmaschine mit einem erfindungsgemäßen Magnet-Längenmesssystem ist eine besondere Ausgestaltung der Erfindung.

[0004] Wünschenswert ist es, dass Magnetmaßstäbe eine möglichst geringe Messunsicherheit hinsichtlich der Positionsbestimmung haben. Wünschenswert ist zudem, dass Magnetmaßstäbe möglichst einfach herzustellen sind. Es ist zudem günstig, wenn Magnetmaßstäbe möglichst einfach in großen Längen herzustellen sind. Der Grund dafür ist, dass bei vielen Anwendungen, beispielsweise in Werkzeugmaschinen, eine hohe Positionsgenauigkeit bei langen Verfahrenswegen zu erreichen ist.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, Nachteile im Stand der Technik zu vermindern.

[0006] Die Erfindung löst das Problem durch ein Verfahren zum Herstellen eines Magnetmaßstabs mit den Schritten (a) Aufbringen einer Magnetschicht aus hartmagnetischem Material auf ein Substrat und (b) Strukturieren der Magnetschicht, sodass eine Positionskodierungsstruktur erhalten wird, wobei (c) das Strukturieren mittels eines Lasers erfolgt.

[0007] Gemäß einem zweiten Aspekt löst die Erfindung das Problem durch einen Magnetmaßstab mit (a) einem Substrat und (b) einer Positionskodierungsstruktur, die Magnetbereiche, die durch eine hartmagnetische Magnetschicht gebildet sind, und Nichtmagnetbereiche, in denen die hartmagnetische Magnetschicht zumindest teilweise entfernt ist, aufweist. Besonders bevorzugt ist die Kante des Magnetbereichs, die einem Nichtmagnetbereich zugewandt ist, eine Bruchkante. Diese Bruchkante ist vorzugsweise die Folge des Strukturierens mittels eines gepulsten Lasers. Durch die kurzen Laserpulse kommt es zu spontanem Verdampfen und Abplatzen des Materials, wo-

durch die Bruchkante entsteht. Die Bruchkante weist meist Abschnitte auf, die durch sukzessives Abplatzen von Teilen der späteren Bruchkante entstanden sind.

[0008] Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass erfindungsgemäße Magnetmaßstäbe schnell hergestellt werden können. Das Strukturieren mittels Lasers ermöglicht eine hohe Ortsauflösung bei gleichzeitig einer effizienten Herstellung. Es ist daher möglich, bei langen Magnetmaßstäben, beispielsweise solchen, die länger sind als 50 Zentimeter, insbesondere länger als 1 Meter, Positions-Messunsicherheiten zu erreichen, die bei Verfahren aus dem Stand der Technik nur durch Aneinandersetzen mehrerer einzelner Magnetmaßstäbe erreicht werden konnten.

[0009] Vorteilhaft ist zudem, dass ein erfindungsgemäßer Magnetmaßstab auf eine Vielzahl an Substraten aufgebracht werden kann. Beispielsweise ist es möglich und stellt eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung dar, dass das Substrat durch ein Maschinenelement einer Werkzeugmaschine gebildet ist.

[0010] Ein weiterer Vorteil ist, dass die per Laser erzeugte Struktur wohldefinierte Abmessungen hat, wodurch der so definierte Magnetmaßstab zur präziseren Positionsbestimmung genutzt werden kann. Bei der Herstellung von Magnetmaßstäben nach dem Stand der Technik wird einem unstrukturierten magnetischen Maßstab durch einen Magnetkopf ein magnetisches Polmuster aufgeprägt. Bei kleinen Strukturgrößen erfolgt das nur sehr undefiniert.

[0011] Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter dem Aufbringen ein Vorgang verstanden, mittels dem auf eine Oberfläche des Substrats die Magnetschicht so aufgebracht wird, dass diese fest mit Substrat verbunden bleibt. Das Aufbringen kann beispielsweise ein Aufsintern, Elektroplattieren oder Aufspüttern sein.

[0012] Unter dem Merkmal, dass die Magnetschicht strukturiert wird, wird insbesondere verstanden, dass die Magnetschicht lokal zumindest teilweise entfernt wird. In anderen Worten ist eine Dicke der Magnetschicht an den Stellen, an denen das Strukturieren durchgeführt wurde, kleiner als an den Stellen, an denen das Strukturieren nicht durchgeführt wurde. Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass das Strukturieren ein lokal vollständiges Entfernen der Magnetschicht ist. Es ist insbesondere auch möglich, dass das Strukturieren der Magnetschicht so durchgeführt wird, dass sich lediglich die Dicke der Magnetschicht reduziert, die Dicke aber nicht auf null abgesenkt wird.

[0013] Unter dem Merkmal, dass die Kante des Magnetbereichs, die einem Magnetbereich zugewandt

ist, eine Bruchkante ist, wird insbesondere verstanden, dass die Kante nicht durch Ätzprozess oder durch Bearbeitung mit einem spanenden Werkzeug entstanden ist. Lithographisch hergestellte Kanten sind sehr glatt und weisen insbesondere keine beim Brechen entstehenden Versetzungen auf. Durch spanende Fertigung hergestellte Kanten besitzen - anders als Bruchkanten - Bearbeitungsriefen. Zwar sind Bruchkanten im Vergleich zu lithographisch hergestellten Kanten geometrisch weniger gut definiert, verlaufen aber über vergleichsweise große Abschnitte entlang von Kristallgrenzen. Dadurch kommt es zu einem sehr starken Magnetfeldgradienten an der Bruchkante, weswegen geringe Messunsicherheiten erreichbar sind. Lithographisch hergestellte Kanten führen zwar in der Regel zu noch stärkeren Magnetfeldgradienten, sind jedoch ungleich aufwändiger in der Herstellung. Es ist daher günstig, wenn die Kante eine Bruchkante ist.

[0014] Das Substrat ist vorzugsweise inelastisch. Besonders günstig ist es, wenn das Substrat aus einem Substratmaterial aufgebaut ist, dessen Elastizitätsmodul zumindest 90 GPa beträgt. Beispielsweise handelt es sich bei dem Substratmaterial um ein Metall, insbesondere Stahl, Kunststoff, Glas, Keramik oder um eine Glaskeramik.

[0015] Es ist möglich, dass das Substrat flexibel ist. Beispielsweise kann das Substrat durch ein Metallband, insbesondere ein Stahlband, gebildet sein. In diesem Fall lässt sich der magnetische Maßstab leicht auf einen Trägeruntergrund aufbringen, beispielsweise aufkleben. Ist das Substrat flexibel, wird die Magnetschicht vorzugsweise so gewählt, dass ein Biegen des Substrats, ohne dass es zu einer plastischen Verformung des Substrats kommt, nicht dazu führt, dass die Magnetschicht abplatzt.

[0016] Vorzugsweise erfolgt das Strukturieren mittels einer gepulsten Lasers. Verwendet werden können beispielsweise Langpuls-laser, die Pulsdauern zwischen einer Mikrosekunde und 500 Millisekunden haben. Beispielsweise kann der Langpuls-laser ein Faserlaser sein. Vorzugsweise wird ein Langpuls-laser verwendet, dessen Pulsspitzenleistung zumindest 1 kW, insbesondere zumindest 3 kW, beträgt.

[0017] Alternativ oder zusätzlich kann ein Kurzpuls-laser eingesetzt werden, dessen Pulsdauer zwischen 1 Nanosekunde und 1 Mikrosekunde liegt. Beispielsweise kann ein Edgewave-Doppelpuls-laser mit einer mittleren Leistung von zumindest 30 Watt eingesetzt werden. Günstig ist es bei der Verwendung eines Kurzpuls-lasers, wenn eine Pulsdauer zwischen 2 und 10 Nanosekunden liegt. Um eine hohe Produktivität zu erreichen, liegt eine Pulsfrequenz bei zumindest 20 kHz, wobei Pulsraten unterhalb von 1 MHz vorteilhaft sind.

[0018] Besonders günstig ist es, wenn ein Ultrakurzpuls-laser verwendet wird, dessen Pulsdauer unterhalb einer Nanosekunde liegt. Besonders günstig ist es, wenn eine Pulsdauer höchstens 20 ps beträgt. Um eine hohe Produktivität zu erreichen, liegt die Repetitionsrate vorzugsweise bei zumindest 1 MHz, insbesondere zumindest 10 MHz. In der Regel liegen die Repetitionsraten unterhalb von 500 MHz.

[0019] Bei Pulsdauern von unter 20 ps, insbesondere unter 10 ps, wird das Material vollständig verdampft und es erfolgt nahezu kein Wärmeeintrag in die benachbarte Magnetschicht und/oder das Substrat. Es ist daher möglich, dass Strukturieren der Magnetschicht so durchzuführen, dass sich in der verbleibenden Magnetschicht keine Schmelzschichten bilden. Das ist vorteilhaft, um die magnetischen Eigenschaften der Magnetschicht in möglichst großem Umfang zu erhalten. So kann eine geringe Positions-messunsicherheit erreicht werden.

[0020] Günstig ist es, wenn eine Magnetschicht mit einer Schichtdicke von höchstens 400 µm, insbesondere höchstens 200 µm, aufgebracht wird. Eine Magnetschicht dieser Dicke erlaubt ein hinreichend starkes magnetisches Feld und ist dennoch einfach zu strukturieren. Vorzugsweise beträgt die Schichtdicke zumindest 1 µm.

[0021] Günstig ist es, wenn die Magnetschicht aus Kobalt-Samarium, insbesondere SmCo₅, Sm₂Co₁₇, Sm(Co,Cu,Fe,Zr), Neodym-Eisen-Bor, AlNiCo-Legierungen, Hartferriten auf Basis Barium oder Strontium, PtCo-Legierungen, CuNiFe oder CuNiCo-Legierungen, FeCoCr-Legierungen, martensitische Stählen oder MnAlC-Legierungen aufgebaut ist.

[0022] Vorzugsweise hat die Magnetschicht ein magnetisches Streufeld von zumindest 1 Millitesla, insbesondere zumindest 10 Millitesla. Günstig ist es, wenn die die Magnetschicht ein magnetisches Streufeld von maximal 1 Tesla hat. Das Streufeld ist das am Übergang zwischen der magnetischen Schicht und der Umgebung an der Oberfläche auftretende magnetische Feld. Dessen Amplitude nimmt mit Abstand von der Oberfläche meist exponentiell ab.

[0023] Günstig ist es, wenn die Magnetschicht linienförmig ist. Insbesondere ist eine Breite der Magnetschicht vorzugsweise geringer als 2 cm, insbesondere geringer als 1 cm. Eine Länge der Magnetschicht ist vorzugsweise zumindest zehnmal so groß wie eine Breite der Magnetschicht.

[0024] Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass sich die Magnetschicht entlang einer Geraden erstreckt. In diesem Fall wird ein Linear-Magnetmaßstab erhalten. Es ist auch möglich, dass sich die Magnetschicht entlang einer gebogenen Linie erstreckt, beispielsweise entlang eines Kreisbo-

gens oder Kreisbogenabschnitts. Der Magnetmaßstab kann damit insbesondere auch ein Rotationsmaßstab sein. Ein Aspektverhältnis, also das Verhältnis von Länge zu Breite, der Magnetschicht beträgt vorzugsweise zumindest 20.

[0025] Günstig ist es, wenn die Positionskodierungsstruktur eine Länge von zumindest 50 cm, insbesondere zumindest 100 cm, hat. Aus dem Stand der Technik bekannte Maßstäbe sind nicht gleichzeitig lang, präzise und einfach herstellbar. Durch die erfindungsgemäße Lösung werden Magnetmaßstäbe erhalten werden, für die alle drei Forderungen gleichzeitig erfüllt werden können.

[0026] Günstig ist es, wenn die Magnetbereiche nach dem Strukturieren magnetisiert werden. So werden hohe Remanenzfeldstärken erreicht.

[0027] Vorzugsweise beträgt eine Strukturbreite der Positionskodierungsstruktur höchstens 15 µm, vorzugsweise höchstens 10 µm. Mit modernen Lasersystemen sind Strukturbreiten bis unter 5 µm Linienbreite erreichbar. Vorzugsweise ist die Strukturbreite größer als 0,5 µm.

[0028] Unter der Strukturbreite wird insbesondere die lichte Weite zwischen zwei Kanten der Positionskodierungsstruktur verstanden. Der Gradient des Magnetfelds an der Kante kann zum Bestimmen der Positionen herangezogen werden. Je größer die Anzahl der Kanten in einem vorgegebenen Längenabschnitt ist, desto genauer kann daher die Position bestimmt werden.

[0029] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform, umfasst die Positionskodierungsstruktur einen ersten Bereich mit einer ersten Strukturbreite von höchstens 15 µm und vorzugsweise zumindest 0,5 µm und einen zweiten Bereich mit einer zweiten Strukturbreite von zumindest 50 µm und vorzugsweise höchstens 500 µm. So sind eine Fein- und eine Grobpositionierung möglich.

[0030] Besonders günstig ist es, wenn für zumindest 70% der Magnetbereiche gilt, dass im Magnetbereich nur eine magnetische Polarität vorliegt. Diese magnetische Polarität ist entweder Nordpol oder Südpol. Gemeint ist die magnetische Polarität an der Oberfläche der Magnetschicht. In anderen Worten werden im Magnetbereich die Bereiche gleicher magnetischer Polarität vorzugsweise durch die Kante des Magnetbereichs begrenzt und nicht durch eine Grenze zwischen zwei Weißschen Bezirken. Es kommt dadurch zu starken Gradienten des Magnetfelds, was in der Regel zu einer geringen Positions-Messunsicherheit führt. Besonders günstig ist es, wenn die genannten Merkmale nicht nur für zumindest 70% der Magnetbereiche gelten, sondern für zumindest 90% der Magnetbereiche.

[0031] Die Prozentangabe bezieht sich auf die Fläche desjenigen Bereichs des Magnetmaßstabs, der zur Positionsmessung verwendet wird. Selbstverständlich ist es möglich, dass jenseits dieses Bereichs ein Bereich der Magnetschicht existiert, in der die magnetischen Bereiche nicht durch Bruchkanten begrenzt wird, sondern durch die Grenzen Weißscher Bezirke. Es ist zudem möglich, dass der Magnetmaßstab einen ersten Abschnitt aufweist, in den Magnetbereichen zu zumindest 70% nur eine magnetische Polarität vorliegt, und dass ein zweiter Bereich existiert, in dem dies nicht gilt, beispielsweise weil die Magnetschicht nicht strukturiert ist. Dieser zweite Bereich kann dann verwendet werden, wenn an die Positionsgenauigkeit keine erhöhten Anforderungen gestellt werden. Die Prozentangabe bezieht sich dann auf den ersten Bereich. Die oben angegebene bevorzugte Länge der Positionskodierungsstruktur bezieht sich in diesem Fall ebenfalls auf diesen ersten Bereich.

[0032] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform gilt für zumindest 70% der Magnetbereiche, dass eine Magnetfeldstärke in den Nichtmagnetbereichen höchstens ein Zehntel der magnetischen Feldstärke in den Magnetbereichen beträgt. Die magnetische Feldstärke in den Magnetbereichen wird dabei positiv gerechnet. In den Bereichen mit entgegengesetzter Polarität wird die magnetische Feldstärke als negativ betrachtet.

[0033] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt:

Fig. 1a schematisch das Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 1b einen erfindungsgemäßen Magnetmaßstab,

Fig. 1c ein Rastermuster, in dem die Magnetbereiche und die Nichtmagnetbereiche angeordnet sind, und

Fig. 2 ein erfindungsgemäßes Magnet-Längenmesssystem in einer erfindungsgemäßen Werkzeugmaschine.

[0034] **Fig. 1a** zeigt schematisch ein Verfahren zum Herstellen eines magnetischen Maßstabs **10** (vgl. **Fig. 1b**), bei dem ein Substrat **12** zunächst auf eine Magnetschicht **14** aufgebracht wird. Die Magnetschicht **14** entsteht aus einer Sintermaterialschicht **16** durch Sintern mittels einer Vorrichtung **18**, hier in Form eines Ofens. Die Sintermaterialschicht **16** umfasst beispielsweise eine Mischung aus einem hartmagnetischen Material, insbesondere Neodym-Eisen-Bor-Pulver und einem unter wärme Einwirken aushärtenden Harz.

[0035] Eine weitere Möglichkeit zum Aufbringen der Magnetschicht **14** ist das Aufspütern. Das kann ebenfalls in einer Vorrichtung **18** erfolgen, die kleiner ist als das Substrat **12** und in diesem Fall eine Sputtervorrichtung ist. Alternativ kann die Magnetschicht **14** in einer Sputtervorrichtung aufgesputtert werden, die größer ist als das Substrat **12**.

[0036] Das Substrat **12** hat eine Substrat-Länge L_{12} . Im vorliegenden Fall hat der Ofen **18** eine aktive Breite, die kleiner ist als die Substrat-Länge L_{12} . Dieses Beispiel soll illustrieren, dass sehr lange Substrate **12** mit der Magnetschicht **14** versehen werden können. Es ist aber auch möglich, dass die Magnetschicht **14** in einem Ofen gesintert wird, der das Substrat **12** vollständig aufnimmt.

[0037] Die Magnetschicht **14** wird mittels eines Lasers **20** strukturiert, sodass eine Positionskodierungsstruktur **22** erhalten wird. Die Positionskodierungsstruktur **22** kann die Position direkt kodieren. Hierunter wird insbesondere verstanden, dass das lokale Ermitteln des Magnetfelds der Positionskodierungsstruktur **22** ausreicht um die absolute Position zu berechnen. Es ist gemäß einer alternativen Ausführungsform jedoch ausreichend, dass die Positionskodierungsstruktur **22** eine relative Positionierung erlaubt. Das heißt, dass eine Positionsänderung eines Auslesekopfes **24** (vgl. **Fig. 2**) mit hoher Genauigkeit bestimmt werden kann, wenngleich die absolute Position des Auslesekopfs **24** nicht unmittelbar aus der Positionskodierungsstruktur **22** ermittelbar ist.

[0038] Der Laser **20** ist ein Ultrakurzpulslaser, der Lichtpulse mit einer Pulsdauer τ von $\tau = 8$ ps abgibt. Eine Repetitionsfrequenz f liegt bei $f = 400$ kHz. Trifft ein vom Laser **20** abgegebener Laserstrahl **26** auf die Magnetschicht **14**, so verdampft das Material lokal vollständig. Auf diese Weise wird die Positionskodierungsstruktur **22** erzeugt.

[0039] In einem nachfolgenden Schritt wird die Magnetschicht **14** mittels eines Magneten magnetisiert.

[0040] **Fig. 1b** zeigt eine schematische Ansicht der Positionskodierungsstruktur **22**. Es ist zu erkennen, dass die strukturierte Magnetschicht **14** eine Schichtdicke d hat. Im vorliegenden Fall beträgt die Schichtdicke $d = 200$ μm . Die Positionskodierungsstruktur **22** besitzt Magnetbereiche **28.i** ($i = 1, 2, \dots$), in denen die Magnetschicht **14** unverändert ist.

[0041] In Nichtmagnetbereichen **30.j** ($j = 1, 2, \dots$) ist die Magnetschicht **14** zumindest teilweise, im vorliegenden Fall vollständig, entfernt. Eine Kante **32.k** eines Magnetbereichs **28.i**, die einem Nichtmagnetbereich **30.i** zugewandt ist, ist eine Bruchkante. Der Grund hierfür ist, dass die Nichtmagnetbereiche **30.j** durch Ablation der Magnetschicht **14** entstanden sind.

[0042] **Fig. 1c** zeigt ein Rastermuster, in dem die Magnetbereiche **28.i** und die Nichtmagnetbereiche **30.j** angeordnet sind. Eine Strukturbreite S entspricht dem kleinsten Abstand zwischen zwei Magnetbereichen. Sind die Magnetbereiche **28.i** und die Nichtmagnetbereiche **30.i** entlang eines Rasters **34** angeordnet, wie es in **Fig. 1c** gezeigt ist, so entspricht die Strukturbreite S der Zellengröße der Rastereinheiten des Rasters **34** in einer Längserstreckungsrichtung L .

[0043] **Fig. 1b** zeigt, dass in allen Magnetbereichen **28.i** stets eine magnetische Polarität vorliegt. Im vorliegenden Fall weist stets der Nordpol N nach oben. Alternativ kann auch der Südpol nach oben weisen. Maßgeblich ist, dass innerhalb eines Magnetbereichs **28.i** lediglich eine magnetische Polarität vorliegt. Links ist der Fall eingezeichnet, dass neben der Positionskodierungsstruktur **22** eine weitere Positionskodierungsstruktur **22'** vorhanden sein kann, bei der in einem Magnetbereich **28.5** oder **28.6** die beiden Polaritäten Nordpol und Südpol an der Oberfläche vorliegen können. An derartigen Magnetbereichen **28** ist die Messunsicherheit bei der Positionsbestimmung höher, sie sind aber leichter herzustellen. Es ist daher möglich, dass derartige Positionskodierungsstrukturen **22'** am Rande der eigentlichen Positionskodierungsstrukturen **22** vorliegen, beispielsweise in Bereichen, wo die Anforderungen an die Positioniergenauigkeit nicht so hoch sind.

[0044] **Fig. 2** zeigt eine schematische Ansicht eines erfindungsgemäßen Magnet-Längenmesssystems **36** mit dem Magnetmaßstab **10** und dem Auslesekopf **24**. Das Magnet-Längenmesssystem **36** umfasst zudem eine Auswerteeinheit **38**, die mit dem Auslesekopf **24** verbunden ist. Der Auslesekopf **24** umfasst zumindest einen Magnetsensor **40.m** (im vorliegenden Fall gilt $m = 1, 2, 3$. Es ist aber auch möglich, dass $m = 1$ oder $m = 2$ oder $m=4$ oder größer gilt).

[0045] Alle Magnetsensoren **40.m** messen ein lokales Magnetfeld B . Aus den jeweiligen Messdaten wird von der Auswerteeinheit **38** die jeweilige Position x entlang einer x -Achse ermittelt, die sich entlang der Längserstreckungsrichtung L erstreckt.

[0046] Eine Magnetschicht-Länge L_{14} beträgt im vorliegenden Fall $L_{14} = 1$ Meter.

[0047] Das Magnet-Längenmesssystem **36** ist im vorliegenden Fall Teil einer erfindungsgemäßen Werkzeugmaschine **42**, die einen Schlitten **44** hat, an dem ein Werkzeug **46**, beispielsweise eine Wendschneidplatte oder ein Fräser befestigt sind. Eine Position P des Werkzeugs **46** wird in x -Richtung mittels des Magnet-Längenmesssystems **36** ermittelt.

[0048] **Fig. 1c** zeigt, dass die Magnetschicht **14** eine Magnetschicht-Breite B_{14} hat, die deutlich kleiner ist

als die Magnetschicht-Länge L_{14} . Das Aspektverhältnis $A = L_{14}/B_{14}$ liegt im vorliegenden Fall bei über 100.

Bezugszeichenliste

10	Magnetmaßstab
12	Substrat
14	Magnetschicht
16	Sintermaterialschiicht
18	Ofen
20	Laser
22	Positionskodierungsstruktur
24	Auslesekopf
26	Laserstrahl
28	Magnetbereich
30	Nichtmagnetbereich
32	Kante
34	Raster
36	Magnet-Längenmesssystem
38	Auswerteeinheit
40	Magnetsensor
42	Werkzeugmaschine
44	Schlitten
46	Werkzeug
B_{14}	Magnetschicht-Breite
L_{14}	Magnetschicht-Länge
f	Repetitionsverlaufs-frequenz
d	Schichtdicke
i, j, k, m	Laufindex
S	Strukturbreite
L	Längserstreckungsrichtung
B	Magnetfeld
P	Position
A	Aspektverhältnis

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Magnetmaßstabs (10), mit den Schritten:

- (a) Aufbringen einer Magnetschicht (14) aus hartmagnetischem Material auf ein Substrat (12) und
- (b) Strukturieren der Magnetschicht (14), sodass eine Positionskodierungsstruktur (22) erhalten wird,
- (c) wobei das Strukturieren mittels eines Lasers (20) erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- (a) das Strukturieren mittels eines gepulsten Lasers (20) erfolgt und eine Pulsdauer (τ) höchstens 20 Pikosekunden beträgt und/oder
- (b) eine Magnetschicht (14) mit einer Schichtdicke (d) von höchstens 400 μm , insbesondere höchstens 200 μm , aufgebracht wird.

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich die Magnetschicht (14) linienförmig ist.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Positionskodierungsstruktur (22) eine Länge von zumindest 50 cm hat.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Magnetbereiche (28) nach dem Strukturieren magnetisiert werden.

6. Magnetmaßstab (10) mit

- (a) einem Substrat (12) und
- (b) einer Positionskodierungsstruktur (22), die
 - (i) Magnetbereiche (28), die durch eine hartmagnetische Magnetschicht (14) gebildet sind, und
 - (ii) Nichtmagnetbereiche (30), in denen die hartmagnetische Magnetschicht (14) zumindest teilweise entfernt ist, aufweist,
- (c) wobei eine Kante (32) des Magnetbereichs (28), die einem Nichtmagnetbereich (30) zugewandt ist, eine Bruchkante ist.

7. Magnetmaßstab (10) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- (a) eine Strukturbreite (S) der Positionskodierungsstruktur (22) höchstens 15 μm beträgt und/oder
- (b) ein Messbereich zumindest 50 Zentimeter beträgt.

8. Magnetmaßstab (10) nach einem der Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass für zumindest 70% der Magnetbereiche (28) gilt, dass im Magnetbereich (28) nur eine magnetische Polarität vorliegt.

9. Magnetmaßstab (10) nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass für zumindest 70% der Magnetbereiche (28) gilt, dass eine magnetische Feldstärke in den Nichtmagnetbereichen (30) höchstens ein Zehntel der magnetischen Feldstärke in den Magnetbereichen (28) beträgt.

10. Magnet-Längenmesssystem (36) mit

- (a) einem Magnetmaßstab (10) nach einem der Ansprüche 6 bis 9, und
- (b) einem Auslesekopf (24) zum Messen eines lokalen Magnetfelds (B), sodass Messdaten erhalten werden, und

(c) einer Auswerteeinheit (38) zum Berechnen der Position (P) des Auslesekopfs (24) relativ zum Magnetmaßstab (10).

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

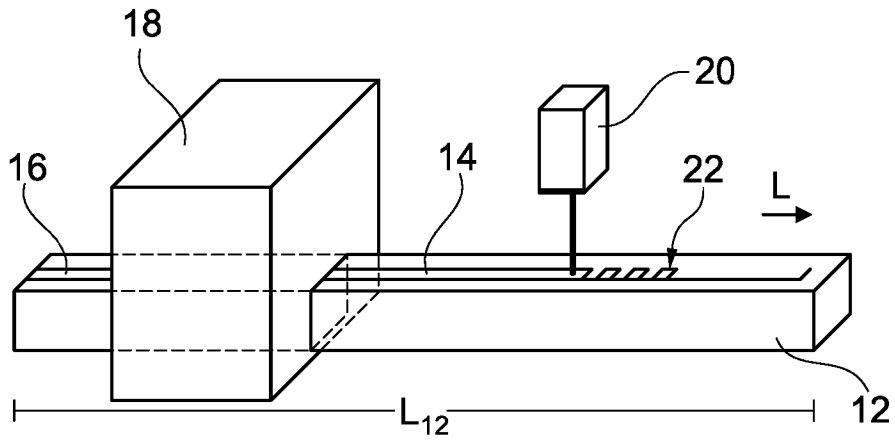


Fig. 1a

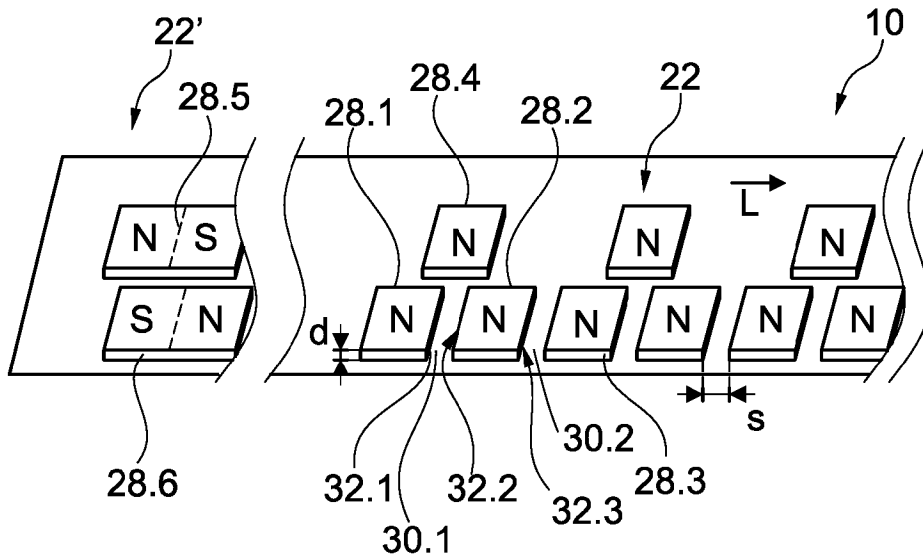


Fig. 1b

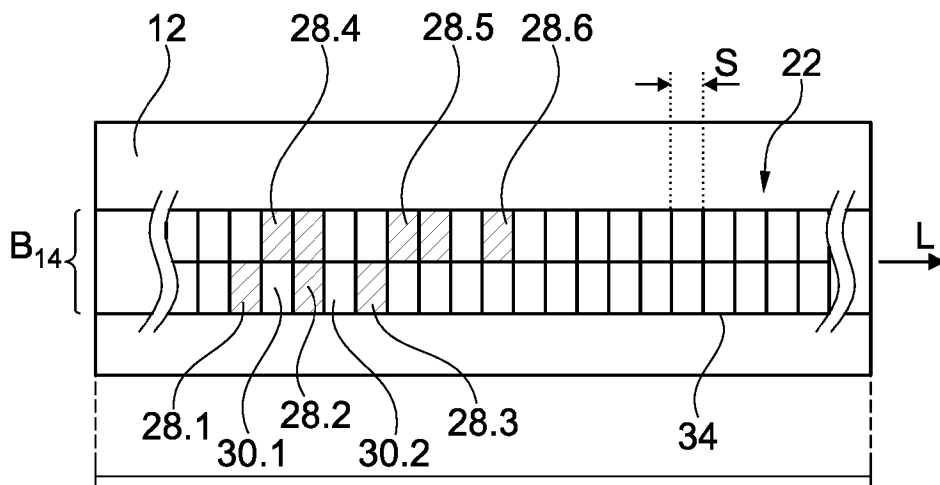


Fig. 1c

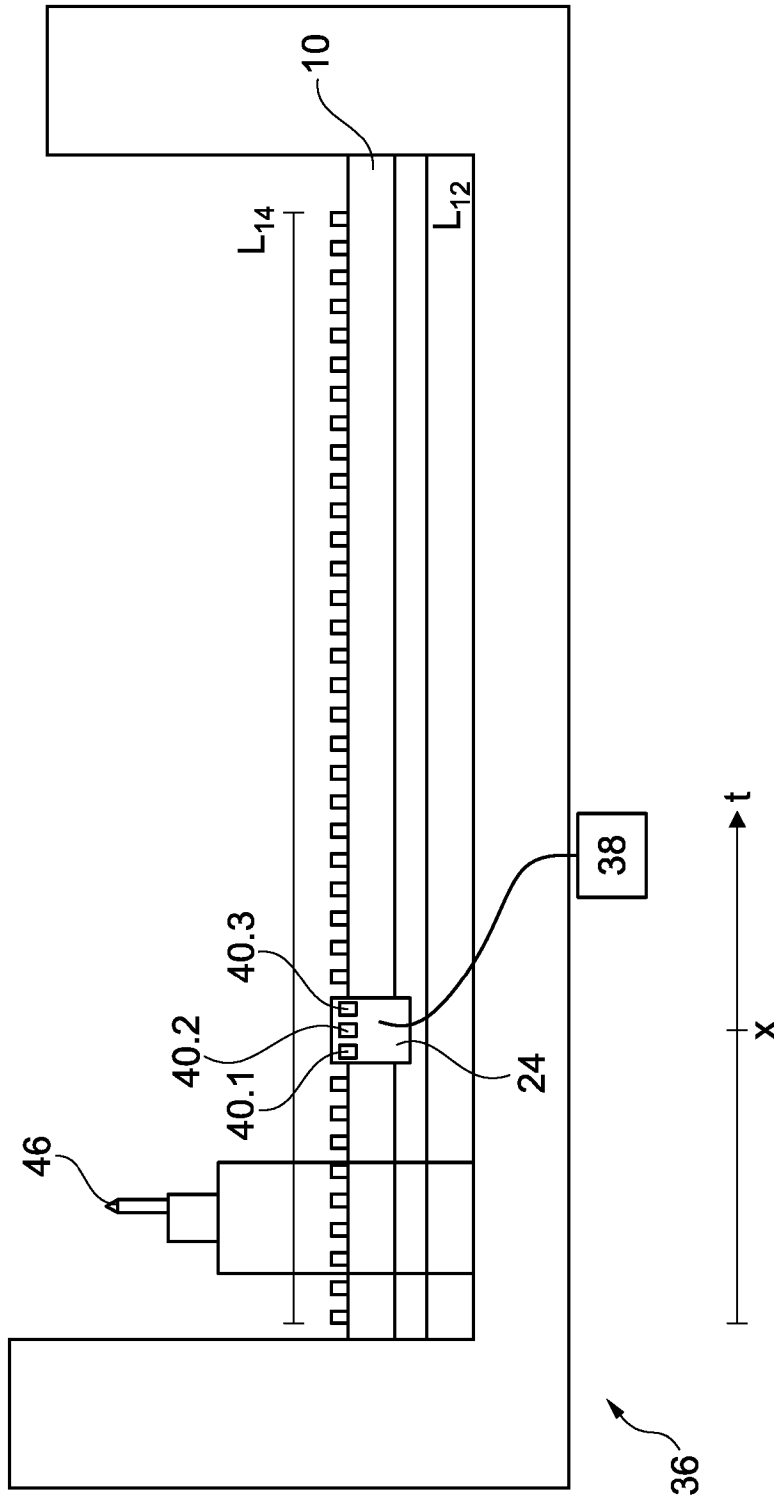


Fig. 2