

(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
24. Dezember 2020 (24.12.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/253908 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01R 33/028 (2006.01) *H01L 41/12* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2020/100483

(22) Internationales Anmeldedatum:
09. Juni 2020 (09.06.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2019 116 779.5
21. Juni 2019 (21.06.2019) DE

(71) Anmelder: **CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL** [DE/DE]; Christian-Albrechts-Platz 4, 24118 Kiel (DE).

(72) **Erfinder:** QUANDT, Eckhardt; Steenkamp 9, 24226 Heikendorf (DE). KNÖCHEL, Reinhard; Wacholderweg 23, 25336 Elmshorn (DE). HAYES, Patrick; Kätnersredder 114, 24232 Schönkirchen (DE). TOXVAERD, Sebastian; Holbergsparken 1, 6000 Kolding (DK).

(74) **Anwalt:** HEESCHEN, Sven; Stadtweg 7-9, 21684 Stade (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,

(54) **Title:** MEASURING DEVICE FOR WEAK AND SLOWLY CHANGING MAGNETIC FIELDS, IN PARTICULAR FOR BIOMAGNETIC FIELDS

(54) **Bezeichnung:** MESSVORRICHTUNG FÜR SCHWACHE, LANGSAM VERÄNDERLICHE MAGNETFELDER, INSBESONDERE FÜR BIOMAGNETISCHE FELDER

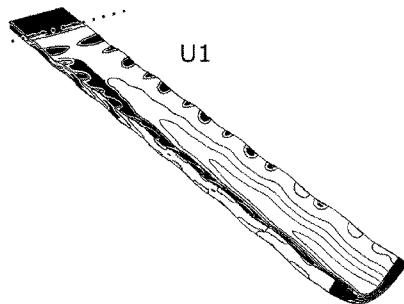


Abb. 1 a)

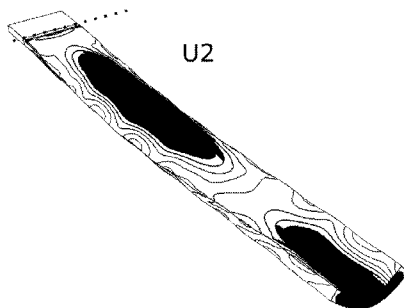


Abb. 1 b)

(57) **Abstract:** The invention relates to a magnetic field measuring device having mechanically vibratable rectangular substrate strips which are clamped on one side, wherein at least one flat face of the substrate strip is coated with a magnetostrictive material system. The magnetic field measuring device additionally has drive means, which are designed to periodically exert a force component oriented perpendicularly to the flat faces of the substrate strip onto at least one part of a flat face of the substrate strip with a specified excitation frequency, and a detection device for detecting an electric signal generated by the vibration of the substrate strip, wherein a. the substrate strip is made of a material with an elastic modulus of more than 5 GPa, b. the excitation frequency is configured on the basis of the dimensions of the substrate strip such that the substrate strip forms a U mode mechanical resonance in an oscillating manner, and c. the detection device has an induction coil which contactlessly surrounds the substrate strip and has a coil axis aligned along the substrate strip.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Magnetfeldmessvorrichtung aufweisend einen einseitig eingespannten, mechanisch schwingungsfähigen, rechteckigen Substratstreifen, wobei wenigstens eine Flachseite des Substratstreifens mit einem magnetostriktiven Materialsystem beschichtet ist, weiterhin aufweisend Antriebsmittel ausgebildet zur zeitlich periodischen Ausübung einer senkrecht zu den Flachseiten des Substratstreifens gerichteten Kraftkomponente auf wenigstens einen Teil einer Flachseite des Substratstreifens mit einer vorbestimmten Anregungsfrequenz und aufweisend eine Detektionseinrichtung zur Erfassung eines durch die Schwingung des Substratstreifens erzeugten elektrischen Signals, wobei a. der Substratstreifen aus einem Material mit Elastizitätsmodul größer als 5 GPa gebildet ist und b. die Anregungsfrequenz in Abhängigkeit der Abmessungen des Substratstreifens so



WO 2020/253908 A1

SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

MESSVORRICHTUNG FÜR SCHWACHE, LANGSAM VERÄNDERLICHE MAGNETFELDER, INSBESONDERE FÜR BIOMAGNETISCHE FELDER

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Messung eines Magnetfeldes aufweisend einen einseitig eingespannten, mechanisch schwingungsfähigen, magnetischen oder magnetisch beschichteten Ausleger, weiterhin aufweisend Antriebsmittel ausgebildet zur zeitlich
5 periodischen Anregung einer Schwingung des Auslegers mit einer vorbestimmten Anregungsfrequenz und aufweisend eine Detektionseinrichtung zur Erfassung eines durch die Schwingung des Auslegers erzeugten elektrischen Signals.

Gattungsgemäße Vorrichtungen zur Magnetfeldmessung sind beispielsweise aus den
10 Druckschriften GB 2319621 A, US 2009/015250 A1, US 2018/299514 A1 bekannt. Der Grundgedanke ist in allen Fällen, die Einwirkung eines zu messenden externen Magnetfeldes – i. F. Messmagnetfeld genannt – auf die mechanischen Eigenschaften des magnetischen oder magnetisch beschichteten Auslegers in eine elektrische Größe umzuwandeln und als solche zu erfassen. Für die Detektion sehr schwacher Magnetfelder ist es dabei üblich, den Ausleger in
15 einer mechanischen Resonanzmode anzuregen, so dass es zu einer physikalischen Verstärkung der Messgröße bereits bei ihrer Erzeugung – also noch vor der technischen Realisierung der Messwerterfassung – kommt. In den genannten Druckschriften werden etwa die zeitliche Änderung des magnetischen Flusses in einer Spule, die Ablenkung eines am freien Ende des schwingenden Auslegers reflektierten Lichtstrahls oder die in einer piezoelektrischen
20 Schicht auf dem verformten Ausleger generierte Piezospaltung als resonanzüberhöhte Messgrößen detektiert und ggf. noch in elektrische Signale umgewandelt und – i. d. R. digitalisiert – kontinuierlich erfasst.

Die Auswertung der gemessenen Signale erlaubt das Rückschließen auf den Resonanzzustand des schwingenden Auslegers zu beliebigen Zeitpunkten und gestattet dadurch das Auffinden
25 von Änderungen der mechanischen Eigenschaften des Auslegers. Diese werden wiederum auf die Anwesenheit einer räumlichen Messmagnetfeldkomponente zurückgeführt. Die Präsenz eines Messmagnetfeldes moduliert das elektrische Signal des Auslegers in Amplitude und/oder Frequenz, und die Modulation kann mit bekannten Verfahren der Signalverarbeitung separiert werden. Mittels geeigneter Kalibrierung lassen sich daraus Amplitude und Frequenz des
30 Messmagnetfeldes mit hoher Sensitivität quantitativ bestimmen.

Es ist grundsätzlich bemerkenswert, dass sich kleine, kompakte Messvorrichtungen mit mechanisch oszillierenden Auslegern in MEMS-Bauweise mit mechanischen Resonanzfrequenzen im hohen Kilohertz-Bereich herstellen lassen, die auch geeignet sind, langsam veränderliche Messmagnetfelder mit Frequenzen der Größenordnung 100 Millihertz

zuverlässig zu detektieren. Dies eröffnet die Möglichkeit der Massenfertigung preiswerter, miniaturisierter Magnetfeldsensoren, die in der Lage sind, sehr schwache niederfrequente Magnetfelder zu detektieren, wie sie etwa in lebenden Organismen erzeugt werden.

Biomagnetische Sensor-Arrays sind ein Fernziel gegenwärtiger Forschung und Entwicklung.

5 Neben der absehbaren Erweiterung der medizinischen Diagnostik durch die auf Magnetfeldmessung basierende präzise Modellierung von bioelektrischen Strömen in Herz- oder Nervenzellen eröffnet sich auch ein weites Feld für innovative Mensch-Maschine-Interaktionen, die letzten Endes z.B. auf die „Gedankensteuerung“ von Werkzeugen aller Art abzielen können.

10 Gegenwärtig werden verschiedene Sensorkonzeptionen untersucht und erprobt. Zu den vielversprechenden Kandidaten zählt dabei der magnetoelektrische Bimorph, der als einseitig oder beidseitig eingespannter Biegebalken aus einem magnetoelektrischen (ME) Komposit gebildet werden kann. Das ME-Komposit setzt sich dabei aus einer piezoelektrischen und einer magnetostriktiven Materialphase zusammen, die miteinander stoffschlüssig verbunden sind.

15 Unter der Voraussetzung geeigneter Polung bzw. Magnetisierung der Materialphasen ruft ein Messmagnetfeld eine Längenänderung in der magnetostriktiven Phase hervor, die sich auf die piezoelektrische Phase überträgt und dort eine Piezospaltung erzeugt. Der Bimorph verbiegt sich dabei, und die Piezospaltung liefert ein direktes Maß für die Auslenkung.

Das Komposit kann freitragend ausgestaltet sein, etwa indem die magnetostriktive

20 Materialphase als Dickschicht auf der – zuvor gepolten – piezoelektrischen Materialphase als Substrat abgeschieden wird.

Beispielsweise lassen sich durch Abscheidung komplexe und vorteilhafte magnetostriktive Schichtsysteme unter Einprägung eines Exchange Bias (EB) Feldes erzeugen, wie sie in der Druckschrift US 2014/125332 A1 beschrieben sind. Die freitragenden ME-Biegebalken

25 entstehen dort durch Vereinzelung eines beschichteten Wafers in Streifen, wobei die Kenntnis der Richtung des EB-Feldes es erlaubt, die Ausrichtung der langen Streifenachse so zu wählen, dass die Streifen den maximalen piezomagnetischen Koeffizienten besitzen.

Überhaupt sind die ME-Biegebalken üblich als Streifen ausgebildet, d.h. es handelt sich um

30 Quader aufweisend eine Dicke T („thickness“), eine Breite W („width“ = Streifenbreite, auch oft als „Länge der kurzen Achse“ bezeichnet) und eine Länge L (der langen Achse), die ungefähr das Verhältnis $T : W : L = 1 : 10 : 100$ besitzen. Die Länge L beträgt typisch mehrere Millimeter, manchmal einige Zentimeter. Der Begriff Streifen wird in dieser Beschreibung für einen Quader verwendet, dessen Seitenlängen sich jeweils um etwa eine oder zwei Größenordnungen voneinander unterscheiden. Vor diesem Hintergrund ist der Streifen ein flaches, rechteckiges

Objekt, das zwei Flachseiten aufweist, die beide von der kurzen und der langen Achse des Streifens aufgespannt werden.

Der ME-Biegebalkensensor kann ebenfalls aus einem Substratstreifen aus einem dielektrischen Material gebildet sein, auf dem die piezoelektrische und die magnetostruktive Materialphase als dünne Funktionsschichten abgeschieden werden. In der Druckschrift US 2015/247904 A1 ist beschrieben, dass die Funktionsschichten auf beiden Seiten des Substratstreifens aufgebracht sind, d.h. das Substratmaterial, z.B. mehrere 100 Mikrometer dickes Silizium, ist zwischen einer piezoelektrischen Schicht aus Bleizirkonattitanat (PZT) oder Aluminiumnitrid (AlN) und einer magnetostruktiven Schicht aus einem magnetostruktiven Metglas oder aus dem oben genannten magnetostruktiven Schichtsystem angeordnet. Die Funktionsschichten sind dabei nur wenige Mikrometer dick, und ihre mechanische Kopplung ist durch das dicke Substrat hindurch gewährleistet.

Ein ME-Biegebalken-Sensor in Streifenform wird zur empfindlichen Messung schwacher Magnetfelder zur Schwingung in Resonanzmoden angeregt, die sich numerisch mit Finite-Elemente-Methoden (FEM) berechnen und veranschaulichen lassen. Für einseitig eingespannte Streifen, die entlang ihrer Dickenachse, also hier senkrecht zu den besagten Funktionsschichten auf einem Substratstreifen, durch mechanische Krafteinwirkung angeregt werden, sind die Biegemoden und die Torsionsmoden die häufigsten und wahrscheinlichsten.

Die Massenelemente der Streifen bewegen sich in der resonanten Schwingung vorwiegend entlang der Richtung der anregenden Kraft, wobei Biegemoden dadurch charakterisiert sind, dass die Massenelemente an jedem Punkt der langen Achse des Streifens entlang der kurzen Achse in Phase schwingen. Höhere Biegemoden weisen Knotenlinien entlang der kurzen Achse des Streifens auf, in denen die Massenelemente nicht ausgelenkt werden.

Torsionsmoden zeigen demgegenüber eine Knotenlinie in der Mitte des Streifens entlang der langen Achse, und die Massenelemente des Streifens bewegen sich entlang der kurzen Achse zu beiden Seiten dieser Knotenlinie gegenphasig. Der eingespannte Streifen vollführt also eine Art „Schüttelbewegung“.

Es existiert in der numerischen Simulation auch noch eine sehr ungewöhnliche Resonanzmodenart, die die Erfinder hier mit dem Namen U-Moden belegen. Sie sind in den Abbildungen 1 a) und 1 b) graphisch dargestellt, und zwar als Mode U1 ohne Knotenlinie und als Mode U2 mit einer Knotenlinie entlang der kurzen Achse des Streifens, der in den Abbildungen am Ende mit dem schwarzen Balken als fixiert modelliert ist. Die U-Moden zeigen Verbiegungen des Streifens vorrangig entlang der kurzen Achse, d.h. jeder Schnitt durch den Streifen senkrecht zur langen Achse weist die mehr oder weniger ausgeprägte Form eines symmetrischen Bogens geöffnet nach oben oder unten auf, also eine U-Form.

Nach Kenntnis der Erfinder wurden die U-Moden bislang nicht mit der Messung von Magnetfeldern durch Sensoren mit Resonanzschwingern in Verbindung gebracht.

Auf die Erfinder geht die Druckschrift von Hayes et al., „Electrically modulated magnetoelectric AlN/FeCoSiB film composites for DC magnetic field sensing“, 2018 J. Phys. D: Appl. Phys. 51
5 354002, zurück, in der ein Substratstreifen aus Silizium mit der Dicke 350 Mikrometer auf je
einer Seite mit je 2 Mikrometer dicken Funktionsschichten aus $(\text{Fe}_{90}\text{Co}_{10})_{78}\text{Si}_{12}\text{B}_{10}$ als Vertreter
der magnetostriktiven FeCoSiB-Metgläser und gesputtertem Aluminiumnitrid (AlN) zwischen
zwei metallischen Elektrodenschichten als piezoelektrischer Materialphase, respektive,
beschrieben und untersucht wird. Die Länge des Streifens beträgt 25 Millimeter, seine Breite
10 beträgt 2,45 Millimeter, und die Dicke beträgt ca. 0,354 Millimeter. Der Streifen wird an einem
seiner Enden auf einen Haltekörper geklebt, so dass eine Länge von 23 Millimeter übersteht
und frei schwingen kann. Die Anregung erfolgt durch einen Frequenzgenerator über eine
elektrische Spannung, die an die Piezoschicht angelegt wird, die sich über die ganze
Streifenlänge erstreckt.

15 Der schwingende Streifen ist von einer Induktionsspule kontaktlos umgeben, deren Spulenachse
entlang des Substratstreifens, d.h. entlang seiner langen Achse, ausgerichtet ist, wie
schematisch skizziert in Abb. 2. Die Bewegung des Schwingers geht mit der fortlaufenden
Verformung der FeCoSiB-Schicht einher und erzeugt so eine zeitliche Änderung des
magnetischen Flusses im Innern der Induktionsspule. Die hierdurch induzierte Spannung wird
20 als Ausgangssignal U_{ind} der Spule erfasst.

In Abb. 3 ist in einer neuen Abbildung die Stärke des Ausgangssignals als Funktion der
Anregungsfrequenz über das Frequenzband 0 – 1,5 MHz dargestellt. Es zeigen sich zwei
deutlich hervortretende Peaks bei 515,7 kHz und 520,7 kHz, wie bereits in der Arbeit von Hayes
et al. berichtet wurde. Man beachte die logarithmische Skala für U_{ind} .

25 Hayes et al. untersuchen die mechanische Deformation des Streifens bei den gefundenen
Frequenzen mittels optischer Vibrometrie und fassen ihren Befund in der dortigen Abb. 6
zusammen. Sie folgern daraus, dass die vorliegende Resonanzschwingung in beiden Fällen
eine Kombination aus bekannten Biegemoden und Torsionsmoden aufweist.

Es ist nun die Aufgabe der Erfindung, eine verbesserte Magnetfeldmessvorrichtung nach dem
30 Prinzip der magnetfeldsensitiven, resonanten Schwingung eines Auslegers vorzuschlagen.

Die Aufgabe wird gelöst durch eine Magnetfeldmessvorrichtung aufweisend einen einseitig
eingespannten, mechanisch schwingungsfähigen, rechteckigen Substratstreifen, wobei
wenigstens eine Flachseite des Substratstreifens mit einem magnetostriktiven Materialsystem
beschichtet ist, weiterhin aufweisend Antriebsmittel ausgebildet zur zeitlich periodischen
35 Ausübung einer senkrecht zu den Flachseiten des Substratstreifens gerichteten

Kraftkomponente auf wenigstens einen Teil einer Flachseite des Substratstreifens mit einer vorbestimmten Anregungsfrequenz und aufweisend eine Detektionseinrichtung zur Erfassung eines durch die Schwingung des Substratstreifens erzeugten elektrischen Signals, wobei

- a. der Substratstreifen aus einem Material mit einem Elastizitätsmodul größer als 5 GPa gebildet ist und
- b. die Anregungsfrequenz in Abhängigkeit der Abmessungen des Substratstreifens so eingerichtet ist, dass der Substratstreifen in mechanischer Resonanz schwingend eine U-Mode ausbildet und
- c. die Detektionseinrichtung eine den Substratstreifen kontaktlos umgebende Induktionsspule mit entlang des Substratstreifens ausgerichteter Spulenachse aufweist.

Die Unteransprüche geben vorteilhafte Ausgestaltungen.

Als Vorbemerkung sei gesagt, dass die Merkmale a. und c. an sich üblich und dem Fachmann geläufig sind, in Kombination mit Merkmal b. aber hier auch als notwendig angesehen werden. Merkmal b. wiederum ist leicht ausführbar und ein neuer Schlüsselschritt zur Konstruktion verbesserter Magnetfeldmessvorrichtungen.

Dies wird im Folgenden näher erläutert anhand der Abbildungen. Dabei zeigt:

- Abb. 1 graphische Darstellungen numerisch simulierter U-Moden bei der resonanten Streifenschwingungen, nämlich a) Mode U1 ohne Knotenlinie und b) Mode U2 mit einer Knotenlinie entlang der kurzen Achse;
- Abb. 2 eine Skizze des Messaufbaus von Hayes et al. (Stand der Technik);
- Abb. 3 induzierte Spannungsmesswerte am Ausgang der Induktionsspule im Aufbau nach Abb. 2 über das Frequenzband 0 – 1,5 MHz;
- Abb. 4 Messdaten der Amplituden und Phasen der resonanten Oszillation des Streifens aus Hayes et al. gemessen mit hochgenauer Laservibrometrie;
- Abb. 5 Frequenzen des Auftretens der U-Moden U1 und U2 bei der resonanten Oszillation des Streifens in Abhängigkeit von a) der Dicke des Streifens (berechnet) und b) der Breite des Streifens (berechnet);
- Abb. 6 Effekt einer kapazitiven Trimmung der elektrischen Resonanzfrequenz der Induktionsspule;
- Abb. 7 Plot der gemessenen Amplituden und Phasen der Mode U2 entlang der langen Streifenachse.

Es ist zunächst festzustellen, dass Hayes et al. sich in ihrer Arbeit bezüglich der mechanischen Deformation des Sensorstreifens geirrt haben, wie in der Zwischenzeit durchgeführte weitere

Laservibrometer-Messungen belegen. Die neuen Messdaten sind in der Abb. 4 als Graustufen-Plots dargestellt und können mit der Abb. 6 aus der Arbeit von Hayes et al. verglichen werden. Der Pfeil nach links weist auf die Einspannseite der Streifen. Die neueren Messungen wurden von einer auf Oberflächenvibrometrie spezialisierten Arbeitsgruppe mit deren optimiertem
5 Equipment durchgeführt. Es wurde dabei ein baugleicher Sensorstreifen bei den von Hayes et al. gefundenen Frequenzen 515,7 kHz und 520,7 kHz untersucht.

Hayes et al. haben ihre ursprünglichen – fehlerhaften – Messwerte nicht im Grundsatz angezweifelt, weil sie sich im Einklang mit den vorbekannten üblichen Biege- und Torsionsresonanzmoden interpretieren ließen. Die in Abb. 3 dieser Beschreibung dargestellte
10 herausragende Responsivität des Sensorstreifens für die beiden besagten Frequenzen wurde zunächst als berichtenswerter, aber in seiner Ursache nicht genau begründbarer, Sonderfall betrachtet. Wie sich herausgestellt hat, weist die Arbeit von Hayes et al. damit in die falsche Richtung.

Die Messdaten der Abb. 4 gaben zunächst Anlass, das Schwingungsverhalten eines
15 Substratstreifens aus Silizium bei einseitiger Einspannung und Krafteintrag senkrecht zu den Flachseiten auf der gesamten Fläche einer Flachseite numerisch zu modellieren. Dafür wurde eine vorbestehende Software basierend auf der Finite-Elemente-Methode (FEM) benutzt und an die Problemstellung angepasst. Der Sensorstreifen von Hayes et al. besteht fast nur aus dem Substratstreifen, d.h. den Funktionsdünnschichten wird kein nennenswerter Effekt auf die
20 mechanischen Moden zuerkannt.

Das wesentliche Modellierungsergebnis ist in der Abb. 1 dieser Beschreibung dargestellt. Die Erfinder entdeckten die Mode U1 bei 515,7 kHz und die Mode U2 bei 520,7 kHz, nunmehr in Einklang stehend mit den Messungen der Abb. 4. Die Moden U1 und U2 sind die einzigen sogenannten U-Moden, die sich im untersuchten Frequenzband 0 – 1,5 MHz auffinden lassen.
25 Die U-Moden zeichnen sich leicht erkennbar dadurch aus, dass sie eine maximale Verbiegung des Substratstreifens entlang seiner kurzen Achse mit sich bringen, was ganz erhebliche Kräfte erfordert. Tatsächlich wurde im Experiment gefunden, dass man die Amplitude der Anregung soweit erhöhen kann, dass der Substratstreifen entlang seiner langen Achse durchbricht. Es sind diese ausgeprägten Wölbungen des Substratstreifens, die sich auch auf die
30 magnetostriktive Funktionsschicht übertragen und so die überragende Resonanzverstärkung des Sensors bewirken.

Die Grundidee der vorliegenden Erfindung ist daher, die Ausbildung von U-Moden auf Substratstreifen in Magnetfeldmessvorrichtungen mit magnetostriktiven bzw. magnetostriktiv beschichteten Resonanzschwingern zu befördern und hiernach auszunutzen.

Das geeignete Mittel der Wahl, um für verschiedene Magnetfeldmessvorrichtungen U-Moden zu finden und zu realisieren, ist erneut die FEM-Modellierung. Anhand ihrer Eigenschaft des Auftretens extremer Krümmungen entlang der kurzen Streifenachse lassen sich die berechneten Resonanzmoden leicht in U-Moden und andere trennen, und man findet, dass sich die Moden U1 und U2 in einer breiten geometrischen Variation von Substratstreifen gezielt anregen lassen.

Die Abbildungen 5 a) und 5 b) stellen die ersten berechneten Ergebnisse als Punkte dar, die sich gut erkennbar leicht interpolieren lassen. In den Simulationen wird zunächst von einem Siliziumstreifen in der Geometrie von Hayes et al. ausgegangen und dann eine der Dimensionierungen variiert. Abb. 5 a) zeigt auf, dass ein Silizium-Substratstreifen der Dicke T aus dem Intervall 0,25 – 0,45 Millimeter zu den Moden U1 und U2 angeregt werden kann, wenn die Anregungsfrequenz dazu passend auf einen Wert aus dem Intervall von ca. 380 kHz bis ca. 640 kHz eingerichtet wird. In Abb. 5 b) wiederum wird die Breite W des Substratstreifens im Intervall 2,2 – 3,0 Millimeter variiert, und die Anregungsfrequenz für die U-Moden nimmt mit zunehmender Streifenbreite von etwa 600 kHz auf ca. 335 kHz ab.

Nicht gezeigt ist die Änderung der Anregungsfrequenz mit der Streifenlänge L , weil diese sich in der Modellierung als sehr gering erweist. Es sei daran erinnert, dass die Krafteinleitung durch das Piezoelektrikum auf die gesamte Fläche einer Flachseite des Streifens stattfindet. Dass die Länge des einseitig eingespannten, ansonsten frei schwingenden Streifens nur eine untergeordnete Rolle spielt, ist dadurch einerseits nachvollziehbar und andererseits auch für die praktische Befestigung an einem Haltekörper hilfreich, da es dann z.B. auf die Genauigkeit der Länge der Verklebung eher wenig ankommt.

Die bisherigen Erläuterungen sollen verdeutlichen, dass die U-Moden zwar ein Sonderfall von Resonanzmoden schwingender Substratstreifen sind, aber keineswegs nur beschränkt für ein vorbestimmtes Materialsystem oder eine vorbestimmte Streifengeometrie auftreten. Sie sind vielmehr weithin verfügbar und können gezielt aufgesucht und realisiert werden. Dabei liegen die Anregungsfrequenzen der U-Moden jedoch weit oberhalb jener Frequenzen, für die die Biegeschwinger üblich konzipiert werden. Beispielsweise zeigt der Sensorstreifen von Hayes et al. seine ersten resonanten Biegemoden bereits bei 1 kHz und 5 kHz.

Die FEM-Modellrechnungen weisen darauf hin, dass sich die U-Moden nicht für Substratstreifen einstellen, die sich zu leicht deformieren lassen. Bei einer Simulation der Resonanzmoden eines Substratstreifens aus einem Kunststoff mit Elastizitätsmodul 5 GPa konnten keine U-Moden modelliert werden. Es wird vermutet, dass sich Polymere generell eher nicht als Substratmaterial eignen, um U-Moden hervorzurufen. Die größten Elastizitätsmoduln für Polymere liegen bei 20 GPa, so dass das Substratmaterial bevorzugt einen höheren Wert als 20 GPa aufweisen sollte. Besonders bevorzugt ist der Substratstreifen aus einer Keramik,

einem Halbleiter oder aus einem Glas gebildet, insbesondere aus Materialien mit einem Elastizitätsmodul größer als 75 GPa. In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung ist der Substratstreifen aus einem monokristallinen Halbleiter, ganz besonders bevorzugt aus Silizium, gebildet.

5 In Experimenten wurde weiterhin überprüft, ob die ganzflächige Bedeckung des Substratstreifens mit einer piezoelektrischen Funktionsschicht als ein Antriebsmittel zur Erregung der resonanten Streifenschwingung eine Notwendigkeit zur Erzeugung von U-Moden ist. Dies ist aber nicht der Fall, vielmehr reicht die Einleitung einer Kraftkomponente senkrecht zu den Flachseiten bereits auf einer Teilfläche einer Flachseite zur Erzeugung von U-Moden
10 aus.

Zur Beurteilung wurde die Präsenz der prominenten Peaks bei 515,7 kHz und 520,7 kHz in Abb. 3 herangezogen, während die Bedeckung mit der Piezoschicht auf etwa 30 % der Fläche des Substratstreifens zurückgenommen wurde. Dabei wurde die Beschichtung auf der Einspannseite unmittelbar ab der mechanischen Klemmung aufgebracht. Dies wird als die
15 „ungünstigste“ Wahl der Teilfläche des Streifens angesehen, die den Piezoantrieb tragen soll. Insofern erscheint eine Anregung auf 30 % der Streifenfläche als grundsätzlich immer ausreichend.

Die Erkenntnis, dass eine Schwingungserregung über eine Teilfläche des Streifens zur Ausbildung der U-Moden ausreicht, ist für die Praxis bedeutsam, weil in vielen Fällen die
20 Schwingungsenergie von der Einspannseite her in den Streifen eingetragen werden soll. Dafür sind Antriebsvorrichtungen wie Piezotransducer oder elektrostatische Mikroantriebe am Haltekörper angeordnet, die von elektrischen Frequenzgeneratoren angesteuert werden. Man hat somit eine größere Freiheit bei der Auswahl und Anordnung der Antriebsmittel und ist insbesondere nicht darauf angewiesen, einen klassischen ME-Bimorph als Streifenschwinger
25 zu verwenden.

Gleichwohl wird es als bevorzugte Ausgestaltung betrachtet, dass die Antriebsmittel einen elektrischen Frequenzgenerator und wenigstens einen Piezotransducer umfassen, wobei der wenigstens eine Piezotransducer auf der Flachseite des Substratstreifens angeordnet ist, welche der mit dem magnetostruktiven Materialsystem beschichteten Flachseite gegenüberliegt.
30 Vorzugsweise ist dabei der wenigstens eine Piezotransducer als Dünnschicht ausgeführt, besonders bevorzugt als gesputtertes Aluminiumnitrid zwischen zwei Metallschichten. Auf diese Weise steht der Piezotransducer der Verbiegung des Substratstreifens in den U-Moden nicht sperrend entgegen, sondern kann die Verbiegungen offenbar mitmachen unter Beibehaltung eines guten mechanischen Kontakts zum Substratmaterial. In der Ausgestaltung als
35 Dünnschicht ist es möglich und vorteilhaft, dass der wenigstens eine Piezotransducer die Flachseite vollständig bedeckt.

Für den Zweck der Magnetfeldmessung wird die Detektion der durch die U-Moden erzeugten Magnetflussänderungen in der magnetostriktiven Materialphase mittels Induktionsspulen als notwendig erachtet. Dabei ist es allerdings nicht zwingend, dass die Induktionsspule jederzeit die gesamte Länge des schwingenden Streifens umgibt. Insbesondere kann es von Vorteil sein, eine kürzere Spule vorzusehen, die im Bereich eines vorbekannten Amplitudenbauches der Moden U1 oder U2 angeordnet ist oder dahin bewegt wird.

Überdies besteht die Möglichkeit, die Induktionsspulen mittels einfacher apparativer Änderungen besonders responsiv für die hier angestrebten U-Moden auszugestalten.

Jede reale Spule weist neben ihrer Induktivität auch ohmsche und kapazitive Schaltkreisanteile auf, die in einem Ersatzschaltbild zu berücksichtigen sind. Insbesondere ist auch eine offene Spule ohne Last oder mit einem hochohmigen Eingangswiderstand eines Operationsverstärkers am Ausgang ein elektrischer Schwingkreis mit Eigenfrequenz. Die mechanische Frequenz des Streifenschwingers und die elektrische Eigenfrequenz der Spule liegen hier relativ nah beieinander. Dies kann vorteilhaft ausgenutzt werden.

In Abb. 6 ist die induzierte Spulenspannung über das Frequenzband 300 – 900 kHz dargestellt. Die gepunktete Linie zeigt die beiden Peaks der Moden U1 und U2 und ein breites Maximum CR, das von der elektrischen Eigenfrequenz der Spule bei etwa 580 kHz herrührt (DTC – „detuned coil“). Schaltet man der Spule eine zusätzliche, veränderliche Kapazität parallel, so kann man dadurch die Eigenfrequenz herabsetzen, vorzugsweise soweit, dass die Induktionsspule als elektrischer Schwingkreis eine Resonanzfrequenz aufweist nahe einer mechanischen Resonanzfrequenz des Substratstreifens, bei der eine U-Mode ausgebildet wird.

Der elektrische Spulenresonator ist in der Regel von geringer Güte und weist eine große Halbwertsbreite des Resonanzpeaks auf (vgl. Abb. 6., CR). Die mechanische Resonanzfrequenz des Streifenschwingers sollte bevorzugt innerhalb der Halbwertsbreite der elektrischen Spulenresonanz liegen. Entsprechend weit soll die Eigenfrequenz der Spule mittels Trimmung an die Frequenzen der U-Moden herangeführt werden.

Auf diese Weise erhält man die Daten der durchgezogenen Linie (TC – „tuned coil“) in Abb. 6 als induzierte Spannung. Man beachte auch hier die logarithmische Skala: die Messwerte werden um etwa eine Größenordnung erhöht. Da das unvermeidliche Rauschen der nachgeschalteten Messelektronik von dieser zusätzlichen Maßnahme zur Resonanzüberhöhung nicht erfasst wird, steigt der Signal-Rausch-Abstand entsprechend erheblich an.

Es ist somit eine bevorzugte Ausgestaltung der Magnetfeldmessvorrichtung, dass sie einen der Induktionsspule parallel geschalteten Trimmkondensator aufweist. Es ist zu betonen, dass eine Trimmung der parallel geschalteten Kapazität voraussetzt, dass die Resonanzfrequenzen der

mechanischen Anregung und der elektrischen Spulenschwingung schon vor der Trimmung vergleichbar groß sind, was speziell für die U-Moden hier der Fall ist.

In Abb. 7 sind die mit einem verschiebbaren kurzen Spulenring gemessene Phase (P_{ind}) und Amplitude (U_{ind}) der Mode U2 bei 520,7 kHz entlang der langen Streifenachse geplottet (Einspannseite ist links). Die Längenskala ist messbedingt verschoben, zur besseren Orientierung ist das freie Streifenende durch die vertikale Linie mit Notierung F markiert. Der kurze Spulenring erzeugt lokalisierte Messwerte aus der Umgebung des Streifensegments, das sich gerade im Zentrum der Spule befindet. Er eignet sich sehr gut zum Auffinden von Knotenlinien, die senkrecht zur langen Achse verlaufen. Eine solche liegt bei der Marke von etwa 17,5 mm vor, wo die Amplitude minimal wird und die Phase um 180° springt. Die genaue Lage der Knotenlinie von U2 kann für jeden Sensoraufbau einmalig ermittelt werden.

Wenn eine gewöhnliche Induktionsspule den Streifenschwinger über seine gesamte Länge hinweg umgibt, dann wird die gegenphasige Bewegung des magnetischen Materials zu beiden Seiten der Knotenlinie bewirken, dass Spannungen entgegengesetzter Polarität gleichzeitig induziert werden. Im Ergebnis wird das elektrische Ausgangssignal der Induktionsspule durch diese innere Aufhebung abgeschwächt. Um dies zu vermeiden, kann man die Induktionsspule in koaxiale, nicht überlappende Teilspulen aufteilen. Die Teilspulen können separate, jeweils lokalisierte Induktionsspannungen messen, die z.B. separat erfasst und hiernach dem Betrage nach addiert werden können.

Um allerdings den technischen Messaufwand und die Rauschquellen gering zu halten, ist es eine bevorzugte Ausgestaltung der Magnetfeldmessvorrichtung, dass der Substratstreifen in mechanischer Resonanz schwingend eine U-Mode mit wenigstens einer Knotenlinie ausbildet und die Induktionsspule aus wenigstens zwei koaxialen, nicht überlappenden, in Serie geschalteten Teilspulen gebildet ist, wobei je zwei benachbarte Teilspulen gegenläufigen Wicklungssinn aufweisen und auf verschiedenen Seiten der wenigstens einen Knotenlinie angeordnet sind. Auf diese Weise addieren sich die induzierten Spannungen in der Serienschaltung direkt und können maximal verstärkt erfasst werden.

A N S P R Ü C H E

1. Magnetfeldmessvorrichtung aufweisend einen einseitig eingespannten, mechanisch schwingungsfähigen, rechteckigen Substratstreifen, wobei wenigstens eine Flachseite des Substratstreifens mit einem magnetostriktiven Materialsystem beschichtet ist, weiterhin aufweisend Antriebsmittel ausgebildet zur zeitlich periodischen Ausübung einer senkrecht zu den Flachseiten des Substratstreifens gerichteten Kraftkomponente auf wenigstens einen Teil einer Flachseite des Substratstreifens mit einer vorbestimmten Anregungsfrequenz und aufweisend eine Detektionseinrichtung zur Erfassung eines durch die Schwingung des Substratstreifens erzeugten elektrischen Signals,
wobei
- a. der Substratstreifen aus einem Material mit Elastizitätsmodul größer als 5 GPa gebildet ist und
- b. die Anregungsfrequenz in Abhängigkeit der Abmessungen des Substratstreifens so eingerichtet ist, dass der Substratstreifen in mechanischer Resonanz schwingend eine U-Mode ausbildet und
- c. die Detektionseinrichtung eine den Substratstreifen kontaktlos umgebende Induktionsspule mit entlang des Substratstreifens ausgerichteter Spulenachse aufweist.
2. Magnetfeldmessvorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Substratstreifen aus einem Material mit Elastizitätsmodul größer als 20 GPa, bevorzugt größer als 75 GPa, gebildet ist.
3. Magnetfeldmessvorrichtung nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Substratstreifen aus einer Keramik, einem Halbleiter oder aus einem Glas gebildet ist.
4. Magnetfeldmessvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Substratstreifen aus einem monokristallinen Halbleiter, vorzugsweise aus Silizium, gebildet ist.

5. Magnetfeldmessvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Antriebsmittel einen elektrischen Frequenzgenerator und wenigstens einen
Piezotransducer umfassen, wobei der wenigstens eine Piezotransducer auf der Flachseite
5 des Substratstreifens angeordnet ist, welche der mit dem magnetostriktiven
Materialsystem beschichteten Flachseite gegenüberliegt.
6. Magnetfeldmessvorrichtung nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
der wenigstens eine Piezotransducer als Dünnschicht ausgeführt ist, vorzugsweise als
10 gesputtertes Aluminiumnitrid zwischen zwei Metallschichten.
7. Magnetfeldmessvorrichtung nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
der wenigstens eine Piezotransducer die Flachseite vollständig bedeckt.
8. Magnetfeldmessvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche,
15 **dadurch gekennzeichnet, dass**
die Induktionsspule als elektrischer Schwingkreis eine Resonanzfrequenz aufweist und
die mechanische Resonanzfrequenz des Substratstreifens, bei der eine U-Mode
ausgebildet wird, innerhalb der Halbwertsbreite der Spulenresonanz liegt.
9. Magnetfeldmessvorrichtung nach Anspruch 8,
20 **dadurch gekennzeichnet, dass**
die Magnetfeldmessvorrichtung einen der Induktionsspule parallel geschalteten
Trimmkondensator aufweist.
10. Magnetfeldmessvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche,
25 **dadurch gekennzeichnet, dass**
der Substratstreifen in mechanischer Resonanz schwingend eine U-Mode mit wenigstens
einer Knotenlinie ausbildet und die Induktionsspule aus wenigstens zwei coaxialen, nicht
überlappenden, in Serie geschalteten Teilspulen gebildet ist, wobei je zwei benachbarte
Teilspulen gegenläufigen Wicklungssinn aufweisen und auf verschiedenen Seiten der
wenigstens einen Knotenlinie angeordnet sind.

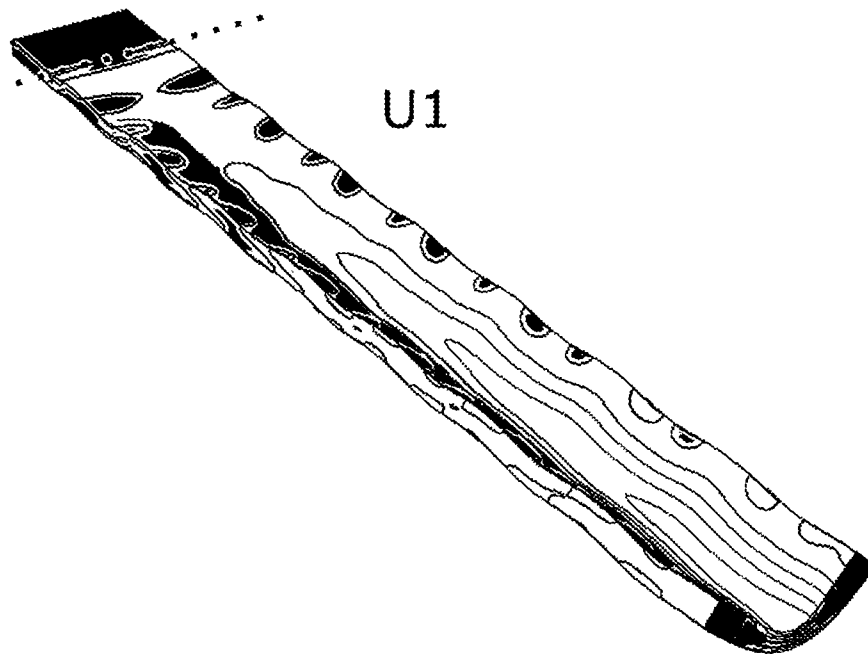


Abb. 1 a)

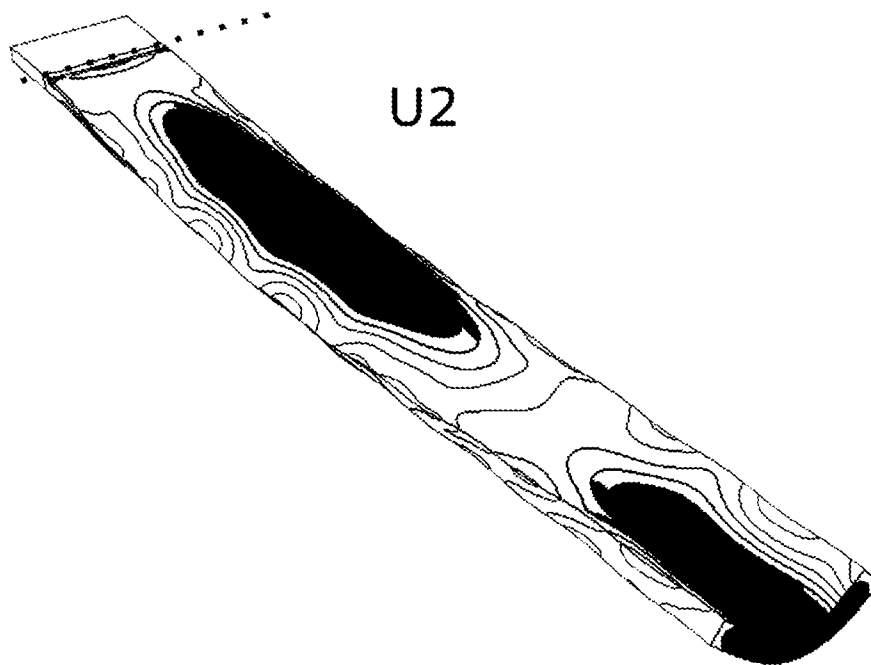


Abb. 1 b)

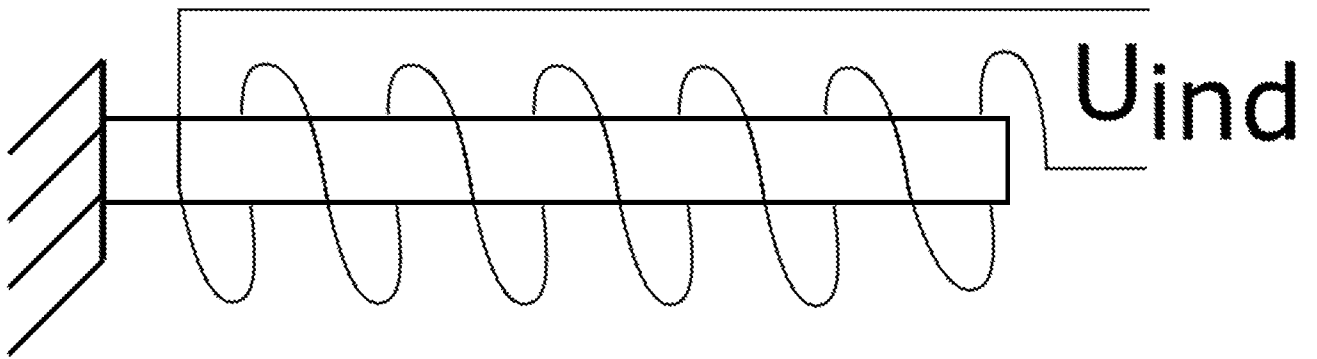


Abb. 2 (Stand der Technik)

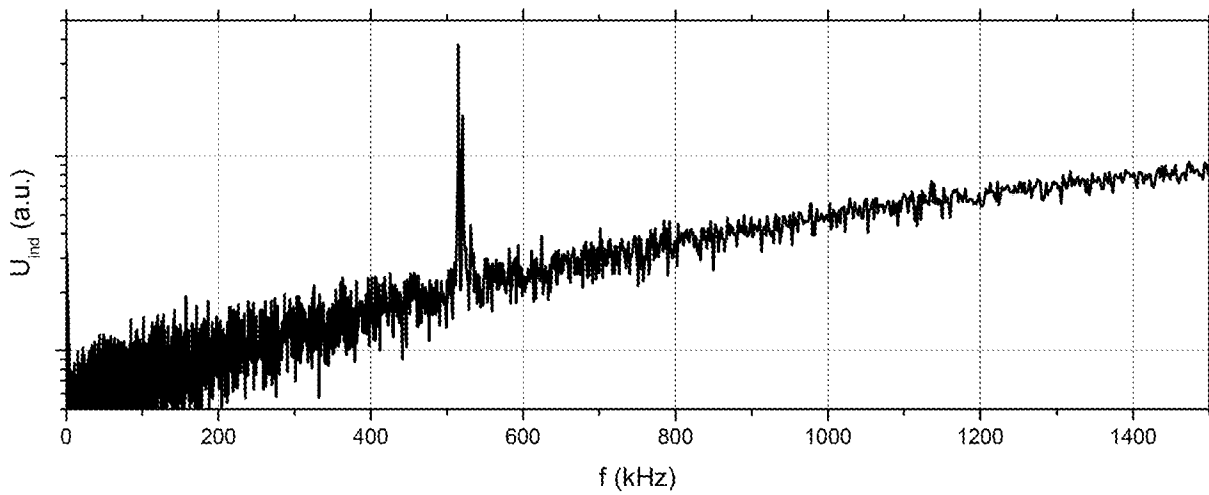


Abb. 3

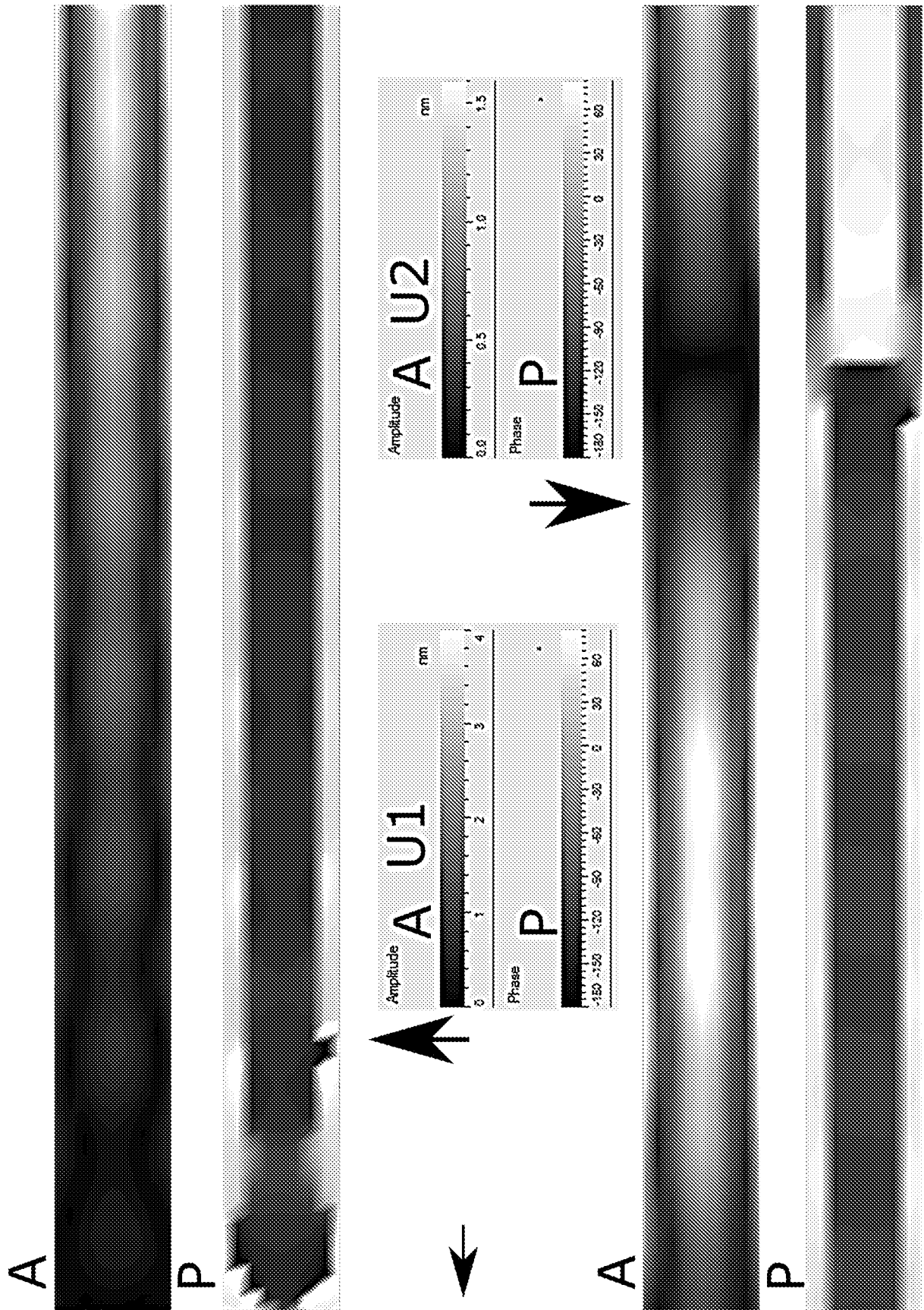


Abb. 4

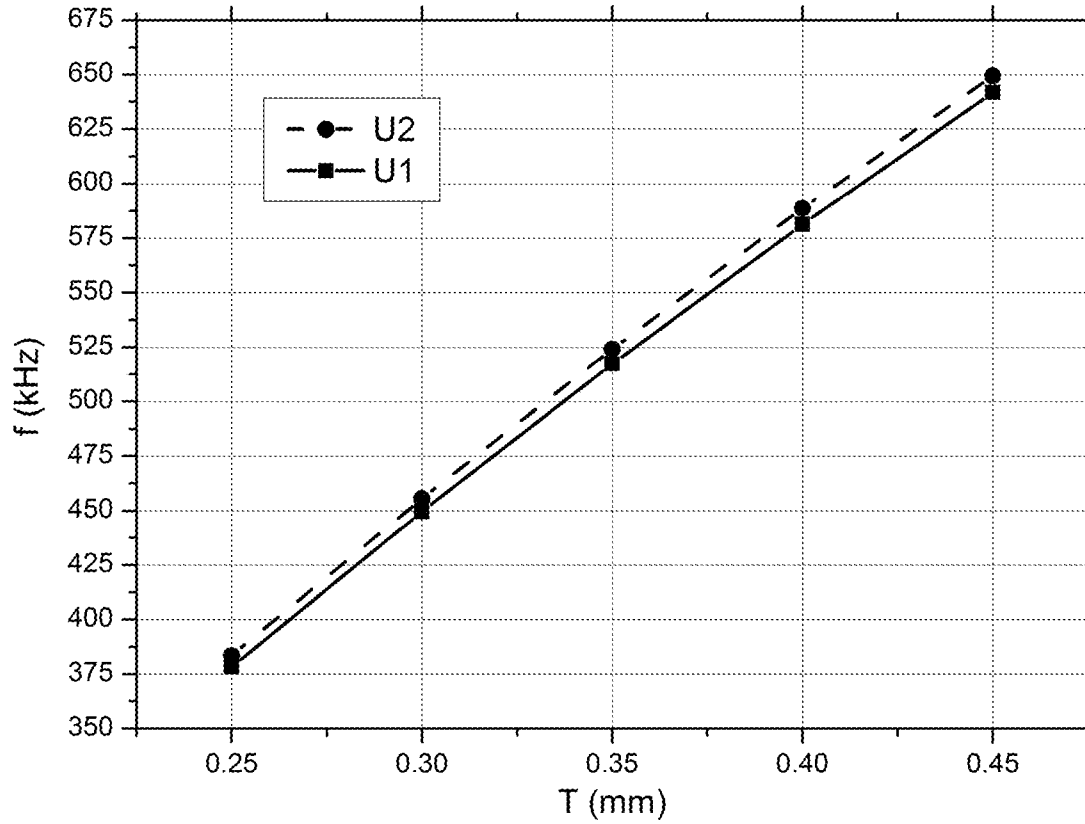


Abb. 5 a)

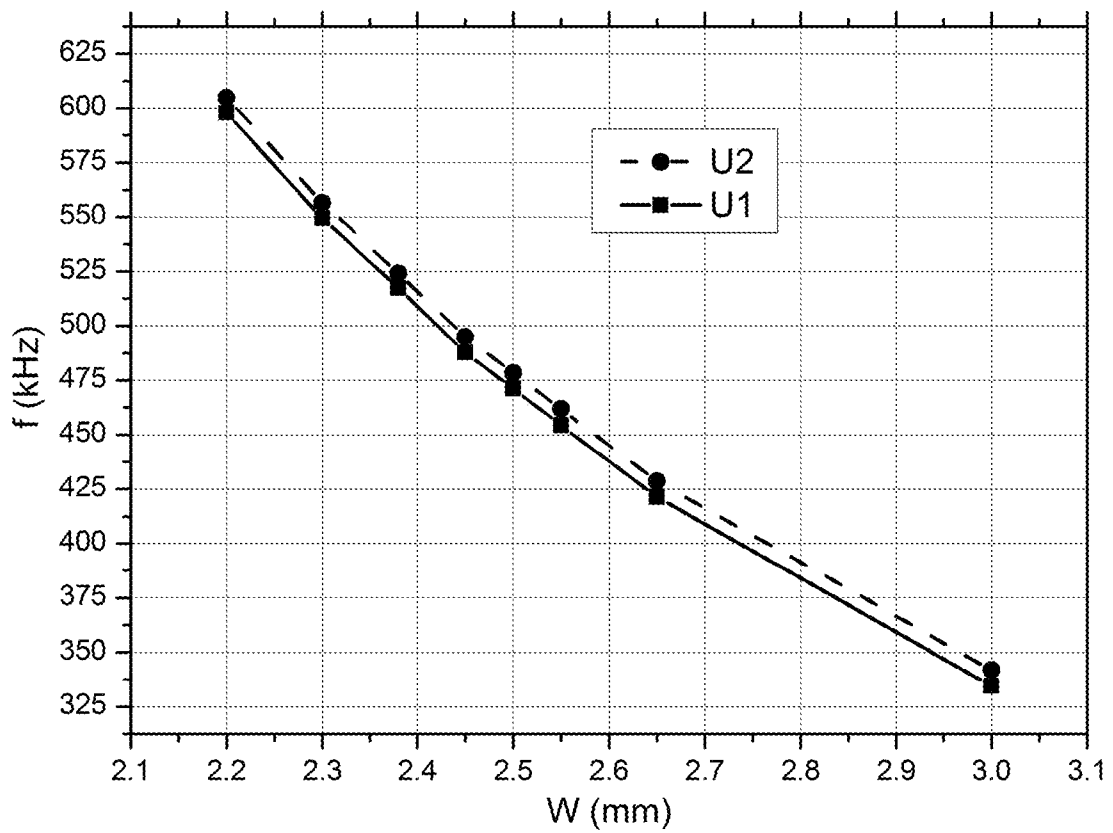


Abb. 5 b)

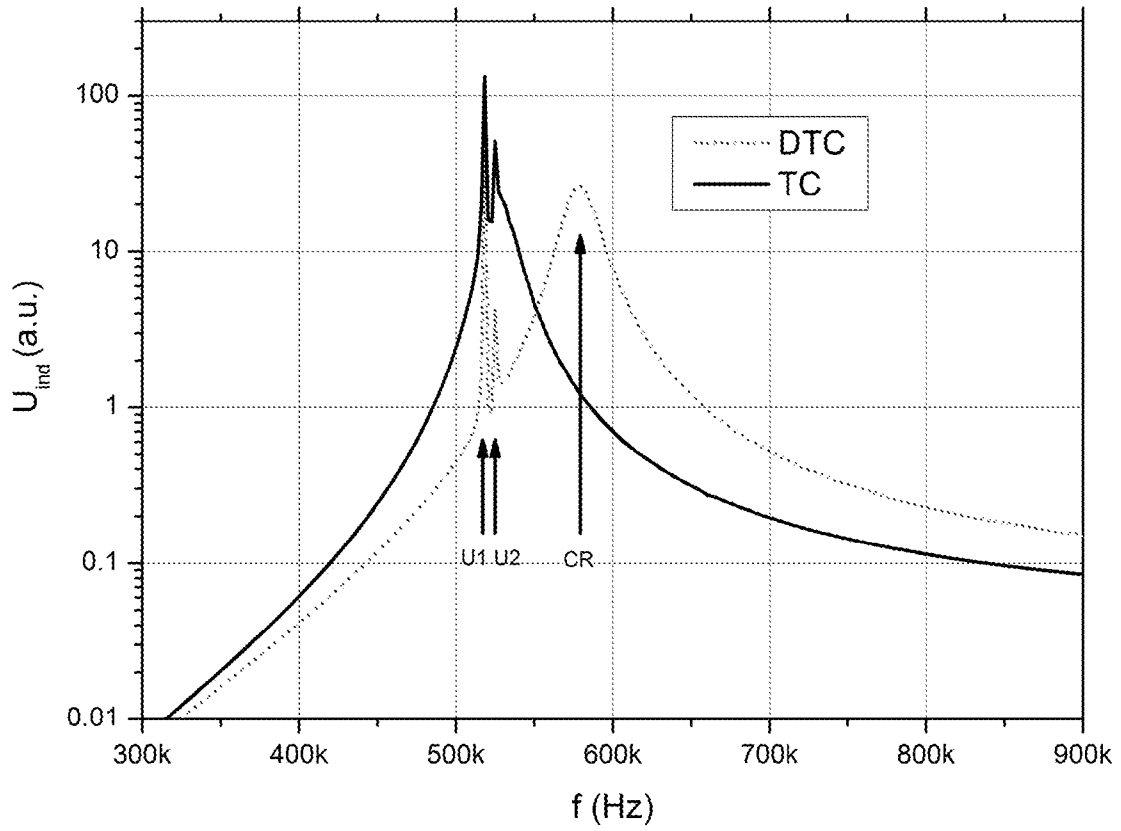


Abb. 6

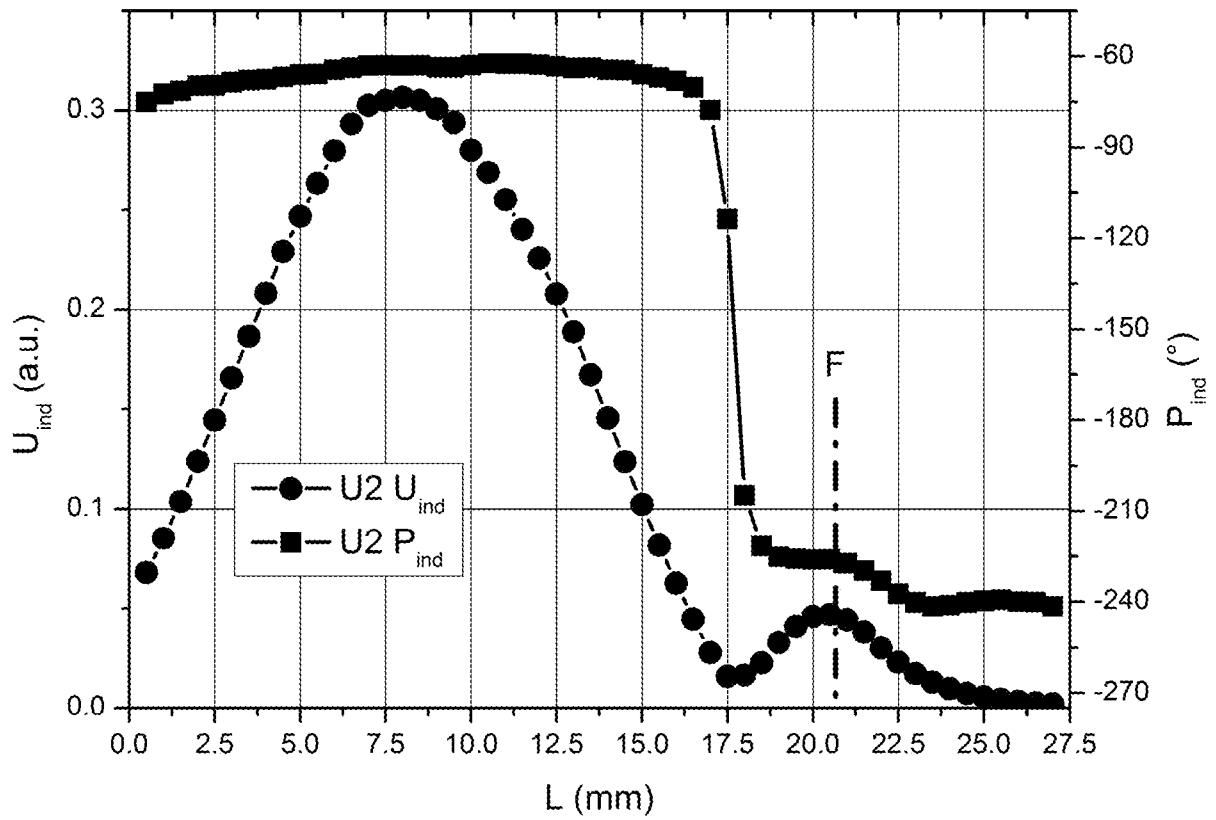


Abb. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE2020/100483

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>G01R 33/028</i> (2006.01)i; <i>H01L 41/12</i> (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H02N; H01L; G01R		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	HAYES P ET AL. "Electrically modulated magnetoelectric AlN/FeCoSiB film composites for DC magnetic field sensing" <i>JOURNAL OF PHYSICS D: APPLIED PHYSICS, INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING LTD, GB</i> , Vol. 51, No. 35, 01 August 2018 (2018-08-01), page 354002, [retrieved on 2018-08-01] DOI: 10.1088/1361-6463/AAD456 ISSN: 0022-3727, XP020330294	1-9
A	the whole document	10
A	US 2015247904 A1 (PIORRA ANDRE [DE] ET AL) 03 September 2015 (2015-09-03) paragraphs [0001], [0029] - [0030], [0037] - [0060]; figures 1-3	1-10
A	US 2018299514 A1 (HAYES PATRICK [DE] ET AL) 18 October 2018 (2018-10-18) paragraphs [0001] - [0055]; figures 1, 2	1-10
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 02 September 2020		Date of mailing of the international search report 11 September 2020
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Philipp, Peter Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/DE2020/100483

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2015247904	A1	03 September 2015	CN	104737316	A	24 June 2015
				EP	2717343	A1	09 April 2014
				JP	6049895	B2	21 December 2016
				JP	2016500813	A	14 January 2016
				KR	20150068453	A	19 June 2015
				US	2015247904	A1	03 September 2015
				WO	2014056842	A1	17 April 2014
US	2018299514	A1	18 October 2018	EP	3104186	A1	14 December 2016
				JP	6676663	B2	08 April 2020
				JP	2018523107	A	16 August 2018
				KR	20180016538	A	14 February 2018
				US	2018299514	A1	18 October 2018
				WO	2016198042	A1	15 December 2016

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01R33/028 H01L41/12
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 H02N H01L G01R

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	HAYES P ET AL: "Electrically modulated magnetoelectric AlN/FeCoSiB film composites for DC magnetic field sensing", JOURNAL OF PHYSICS D: APPLIED PHYSICS, INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING LTD, GB, Bd. 51, Nr. 35, 1. August 2018 (2018-08-01), Seite 354002, XP020330294, ISSN: 0022-3727, DOI: 10.1088/1361-6463/AAD456 [gefunden am 2018-08-01]	1-9
A	das ganze Dokument	10
A	US 2015/247904 A1 (PIORRA ANDRE [DE] ET AL) 3. September 2015 (2015-09-03) Absätze [0001], [0029] - [0030], [0037] - [0060]; Abbildungen 1-3	1-10
	----- -/--	

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

2. September 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

11/09/2020

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Philipp, Peter

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2018/299514 A1 (HAYES PATRICK [DE] ET AL) 18. Oktober 2018 (2018-10-18) Absätze [0001] - [0055]; Abbildungen 1, 2 -----	1-10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2020/100483

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2015247904 A1	03-09-2015	CN 104737316 A	24-06-2015
		EP 2717343 A1	09-04-2014
		JP 6049895 B2	21-12-2016
		JP 2016500813 A	14-01-2016
		KR 20150068453 A	19-06-2015
		US 2015247904 A1	03-09-2015
		WO 2014056842 A1	17-04-2014

US 2018299514 A1	18-10-2018	EP 3104186 A1	14-12-2016
		JP 6676663 B2	08-04-2020
		JP 2018523107 A	16-08-2018
		KR 20180016538 A	14-02-2018
		US 2018299514 A1	18-10-2018
		WO 2016198042 A1	15-12-2016
