

(12)

# PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 392/97

(22) Anmeldetag: 7. 3.1997

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 5.1999

(45) Ausgabetag: 25. 1.2000

(51) Int.Cl.<sup>7</sup> : **G01R 33/032**  
//G01R 19/00

(56) Entgegenhaltungen:

EP 393889A2

(73) Patentinhaber:

HAUSER HANS DR.  
A-1160 WIEN (AT).  
DIDOSYAN YURI DR.  
A-2521 TRUMAU, NIEDERÖSTERREICH (AT).

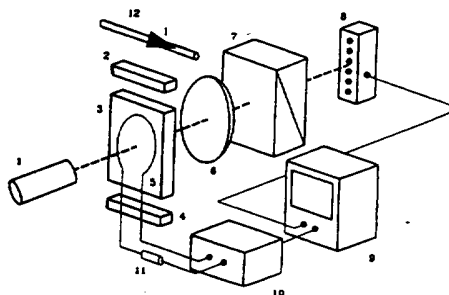
(72) Erfinder:

HAUSER HANS DR.  
WIEN (AT).  
DIDOSYAN YURI DR.  
TRUMAU, NIEDERÖSTERREICH (AT).

## (54) MAGNETO-OPTISCHER MAGNETFELDSSENSOR

(57) Die Methode zur Messung elektrischer Ströme beziehungsweise von Magnetfeldern besteht in der direkten Messung der Domänenwandposition in uniaxialen Ferromagneten mit breiten Domänen. Die wird realisiert durch die Anordnung eines Plättchens aus magnetooptischem Material mit Domänenwänden (3) im Magnetfeld des zu messenden Stromes (12), das Durchleiten eines polarisierten Lichtes (1) durch das Plättchen und den Analysator (7) sowie die Messung der ausgesandten Lichtstärke mithilfe eines Photoempfängers (8) sowie durch ein hinter dem Plättchen montiertes Objektiv (6), durch die Fokussierung eines vergrößerten Bildes der Domänenwand in der Ebene des Photoempfängers und durch die Messung der Position der Domänenwand mittels eines positionsempfindlichen Photoempfängers (8).

Um den dynamischen Bereich zu verbreitern und die Meßgenauigkeit zu erhöhen, soll die Domänenwandoszillation mittels präzise kontrolliertem Kompensationsmagnetfeld (5, 10) in den gegebenen Grenzen aufrechterhalten werden. Anstelle einer präzisen vollständigen Kompensation kann auch das zu messende Magnetfeld oder jener, das Magnetfeld erzeugende Strom teilkompensiert werden und die durch das verbleibende Magnetfeld hervorgerufene Position der Domänenwand bestimmt werden. Das erlaubt das dynamische Verhalten des Meßinstruments um Größenordnungen zu erhöhen, verglichen mit konventionellen Kompensationsmethoden. Durch die beschriebene Erzeugung der Magnetfeldkonfiguration ist es möglich, ein gewünschtes Verhältnis zwischen den zu messenden und kompensierten elektrischen Strömen festzusetzen.



Die Erfindung betrifft eine Methode zur Messung des elektrischen Stromes mittels Magnetfeldmessung unter Anordnung eines Plättchens aus magnetooptischem Material mit Domänenwänden im Magnetfeld des zu messenden Stromes, Durchleiten polarisierten Lichtes durch das Plättchen und einen Analysator sowie Messung der ausgesandten Lichtstärke mithilfe eines Photoempfängers.

5 Verschiedene Methoden von berührungslosen (kontaktlosen) Messungen zur Erfassung von elektrischen Strömen unter Ausnutzung des Faraday-Effekts wurden bisher entwickelt und werden in weiten Bereichen eingesetzt. Als Beispiel dafür sei eine von einem linear polarisierten Licht durchdrungene Probe genannt: Ein zu bestimmender Strom erzeugt ein Magnetfeld, das auf die Probe einwirkt und darin eine Rotation der Polarisations-ebene des Lichtes bewirkt (Faraday-Rotation). In nicht ferromagnetischen Materialien ist der  
10 Wert der Faraday-Rotation proportional zum Wert des Magnetfeldes. Folglich ist durch die Messung der Faraday-Rotation der Wert des Magnetfeldes und somit des Stromes bestimmbar. Diese Art von Meßmethoden beinhalten jedoch einige Nachteile: die Faraday-Rotation, die thermisch induzierte Doppelbrechung und die Transparenz des magnetooptischen Mediums sind temperaturabhängig; die Strahlenemission der Lichtquelle unterliegt Schwankungen; die Empfindlichkeit des Photoempfängers weist Instabilitäten auf, etc.  
15 Diese Faktoren, besonders die Temperaturabhängigkeiten, beeinflussen die Resultate der Strommessungen und führen zu Meßunsicherheiten. Überdies haben Dia- und Paramagnete eine sehr kleine Verdet-Konstante. Die dadurch nötige große geometrische Ausdehnung verhindert den Einsatz als lokale Magnetfeldsensoren.

Um die Temperaturabhängigkeit der Faraday-Rotation zu reduzieren, eignet sich die Verwendung eines  
20 mit Wismut dotierten Eisengranates  $\text{Ho}_x\text{Tb}_y\text{Bi}_{3-x}\text{Fe}_{5-z}\text{A}_z\text{O}_{12}$  (wobei A zumindest aus den Gruppen Ga, Al, Si oder In sein muß), mit einer sehr konstanten Empfindlichkeit in einem weiten Temperaturbereich (Magnetischer Granateinkristall zur Messung von Magnetfeldstärken und Meßapparaturen zur optischen Magnetfeldmessung, EP 521 527 A2). Diese Zusammensetzung weist jedoch Probleme mit der Langzeitstabilität sowie technologische Schwierigkeiten bei der Produktion auf. Weiters verbleiben die oben erwähnten  
25 Probleme bezüglich der Intensitätsbestimmung.

Der Hauptunterschied zwischen unserem Vorschlag und der EP 393 889 A2, welchem ebenfalls eine Zweidomänenstruktur zugrundeliegt, besteht in der Einbeziehung eines Objektives in das optische System, das das Bild der Domänenstruktur auf dem Photoempfänger fokussiert (in unserem Vorschlag handelt es sich um einen ortsauflösenden Photoempfänger). In obigem Dokument wird nur die pauschale Polarisations-  
30 änderung zufolge Magnetisierungsänderung ausgewertet. Wir schlagen vor, die Position der Domänenwand, als Funktion des gemessenen Magnetfeldes, direkt aus der Grenze zwischen den Bildern der benachbarten Domänen, charakterisiert durch unterschiedliche Helligkeit, zu bestimmen.

Im oben genannten Dokument wurde die Domänenwandposition mittels Winkelmessung der Polarisations-Rotation, die pauschale Faraday-Rotation in Abhängigkeit der Domänenwandposition, indirekt ermittelt.  
35 Gemäß dem Dokument kann diese pauschale Faraday-Rotation mittels Transmission durch eine polarisierende optische Faser oder einen Polarisator, oder durch direkte Analyse der Intensitätsverhältnisse der Hauptmoden, die über eine polarisationserhaltende Faser übertragen werden, bestimmt werden.

Die Nachteile der indirekten Messung der Domänenwandposition sind:

- a) Die Faraday-Rotation ist temperaturabhängig, da die Polarisations-Rotation in den Domänen eine  
40 Funktion der Temperatur ist.
- b) Die nichtlineare Abhängigkeit des Meßsignals vom Magnetfeld.
- c) Die oben erwähnte Methode zur Messung der Faraday-Rotation beinhaltet eine Anzahl von Unsicherheiten. Besonders wichtig sind jene, die durch Doppelbrechung verursacht werden, erwähnt in Spalte 4, Zeilen 32-45. Die Meßergebnisse sind sehr empfindlich auf lineare Doppelbrechung. Die Doppelbrechung  
45 beeinflußt nicht nur die netto Rotation, sondern ändert auch die Meßempfindlichkeit. Selbst wenn es nach Anspruch 3 des obigen Dokumentes möglich ist, das magnetische Medium von der linearen Doppelbrechung zu befreien, wird die Doppelbrechung mit Änderung der Temperatur erscheinen.

Die Vorteile der vorgeschlagenen Methode zur magnetischen Messung, beruhend auf der direkten Messung der Domänenwandposition, sind folgende:

- a) Sehr kleine Abhängigkeit der Polarisations-Rotation von Temperaturänderungen. Die Änderungen können eine Kontrastverminderung der Bilder der Domänenstruktur hervorrufen, sie können aber nicht den Ort der Grenzen zwischen den Bereichen unterschiedlicher Intensität beeinflussen.
- b) Lineare Abhängigkeit der gemessenen Parameter des Magnetfeldes, d.h. Grenzen zwischen den Bereichen unterschiedlicher Intensität.
- 55 c) Sehr kleine Empfindlichkeit bezüglich Polarisationsverzerrungen der im optischen Wellenleiter ein- und austretenden Wellen, sowie Änderungen der Stärke und der Wellenlänge der Lichtquelle und Änderungen der Transparenz des Sensors oder anderer optischer Elemente.

Es sei noch bemerkt, daß in obigem Dokument die Richtung der Domänenwandbewegung parallel zur Fortpflanzungsrichtung des Lichtes (und der Magnetisierung) ist, während sie in unserem Vorschlag normal zum Licht ist.

Eine neue Methode zur Beseitigung dieser Nachteile besteht in der Verwendung von transparenten Ferromagneten mit einer starken uniaxialen magnetischen Anisotropie und Domänen mit großer Ausdehnung, z.B. Orthoferrite. Die Einwirkung eines Magnetfeldes auf diese Kristalle führt zu einer Bewegung der Domänenwände, das heißt zu einer Änderung der Faraday-Rotation. Orthoferrite besitzen eine sehr große Mobilität der Domänenwände (Verhältnis der Domänenwandgeschwindigkeit zum treibenden Magnetfeld), das zu einer hohen Meßempfindlichkeit führt. Orthoferrite weisen die höchste Domänenwandgeschwindigkeit unter allen magnetischen Medien auf. Deshalb sind die Domänenwandverschiebungen des Kristalls in einem weiten Frequenzbereich (Gleichfeld bis einige 10kHz) temperaturunabhängig. (Bei höheren Frequenzen muß die Temperaturabhängigkeit der Domänenwandbewegungen berücksichtigt werden).

Fig. 1 zeigt schematisch den Meßaufbau zur Strommessung mittels Kompensationsmethode. Fig. 2 zeigt eine typische Domänen Struktur in Orthoferriten.

Ein Yttrium-Orthoferrit-Plättchen, das senkrecht zu den optischen Achsen geschnitten ist, wird als Sensor (3) eingesetzt und von einem Laserlicht (1) durchdrungen. Mit Hilfe eines Objektivs (6) und eines Analysators (7) wird die Domänenstruktur in Form von dunklen und hellen Streifen sichtbar gemacht (siehe Fig. 2). Dieses vergrößerte Bild der Domänenstruktur wird in einem positionsempfindlichen Photoempfänger (8) fokussiert. Wenn im Draht (12) der zu messende Strom fließt (Fig. 1), wirkt dessen Magnetfeld auf den Sensor und die Domänenwände bewegen sich in eine neue Ruhelage. Der positionsempfindliche Photoempfänger (PSP) mißt die Position der Grenzen der dunklen und hellen Bereiche (Positionen des Domänenwandbildes). Die Resultate dieser Messung ergeben die Werte des gesuchten Magnetfeldes.

Um die Reproduzierbarkeit der Messung zu erhöhen und die Grenzen der Magnetfeldmessung zu erweitern, wird ein konstantes Gradientenmagnetfeld aus Mikromagneten (2, 4) an die Probe angelegt. Dieses Feld erzeugt im Sensor eine einzelne Domänenwand, die bestrebt ist, eine derartige Position einzunehmen, in der die Summe des Gradientenmagnetfeldes und des gesuchten Feldes null ergibt.

Wenn der Kontrast in der Domänenstruktur sehr hoch ist (etwa 1:1000), ist die Position der Domänenwand ablesbar bestimmt. Änderungen in der Faraday-Rotation oder in der Doppelbrechung führen zur Abnahme des Kontrasts, beeinflussen aber nicht die Meßparameter: die Positionen der Domänenwand. Daher erlaubt die Messung der Domänenwandkoordinaten (in Bewegungsrichtung), daß die Temperaturabhängigkeit der Messung des Sensors und die Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren in Verbindung mit Intensitätsmessungen unberücksichtigt bleiben können.

Die durch die Domänenwandverschiebungstrecken begrenzte Länge des Arbeitsbereiches des Sensors und des Photoempfängers beschränken den Bereich der Magnetfeldmessungen. In vielen Fällen stellt diese Beschränkung ein erhebliches Problem dar, und kann mittels Verwendung einer Kompensationsmethode gelöst werden. Der Nachteil einer konventionellen Magnetfeldkompensation ist die schlechte Dynamik, die durch die Induktivität der Spule hervorgerufen wird, da eine präzise Kompensation einen schwach integralen Regelkreis benötigt. Man kann anstatt einer Totkompensation eine Teilkompensation verwenden, wenn sich eine Domänenwand innerhalb der gegebenen Grenzen bewegt und die Position der Domänenwand, hervorgerufen durch das verbleibende Magnetfeld, gemessen wird.

Bei der Verwendung der Kompensationsmethode bilden der elektronische Regelkreis (9), die Ausgangssignale des Photoempfängers zusammen mit dem Stromgenerator (10) und den Spulen (5) eine Rückkopplungsschleife. Wenn die x-Koordinate der Domänenwand in einem gegebenen Intervall nahe dem Zentrum des Photoempfängers liegt (nahe  $x=0$ ), ergeben der Spulenstrom zusammen mit der Domänenwandposition den Meßwert des gesuchten Stromes. Dieses Intervall ist proportional zur Länge des Photoempfängers oder ist gleich der Breite einer ausgewählten Zone des Sensors. Wenn unter Einwirkung des Magnetfeldes des unbekannten Stromes der Absolutwert der x-Koordinate steigt, wird der Kompensationsstrom verändert. Das Magnetfeld dieses Stromes verschiebt die Domänenwand zurück in Richtung  $x=0$ . Der Wert des Kompensationsstromes, bestimmt über den Widerstand (11), und die momentane Position der Domänenwand können gemessen werden.

Ein Teil der Kalibrierung des Instrumentes besteht in der Bestimmung des Verhältnisses zwischen den zu messenden und den Kompensationsströmen. Dies kann erreicht werden, indem man einen bekannten Strom durch den Draht (12) fließen läßt und über den Widerstand (11) den Kompensationsstrom mißt, der die Domänenwand an der Stelle  $x=0$  hält. Der zweite Teil der Kalibrierung besteht in der Messung der Abhängigkeit zwischen dem Wert des gesuchten Stromes und dem Signal des Photoempfängers.

**Patentansprüche**

1. Methode zur Messung des elektrischen Stromes mittels Magnetfeldmessung unter Anordnung eines Plättchens aus magnetooptischem Material mit Domänenwänden (3) im Magnetfeld des zu messenden Stromes (12), Durchleiten polarisierten Lichtes (1) durch das Plättchen und einen Analysator (7) sowie  
5 Messung der ausgesandten Lichtstärke mithilfe eines Photoempfängers (8), gekennzeichnet durch ein hinter dem Plättchen montiertes Objektiv (6), durch die Fokussierung eines vergrößerten Bildes der Domänenwand in der Ebene des Photoempfängers und durch die Messung der Position der Domänenwand mittels eines positionsempfindlichen Photoempfängers (8).
- 10 2. Methode zur Messung des elektrischen Stromes nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein zusätzliches konstantes Gradientenmagnetfeld von Mikromagneten (2, 4) an die Probe (3) angelegt wird, das in der Probe eine einzelne Domänenwand erzeugt.
- 15 3. Methode zur Messung des elektrischen Stromes nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Kompensationsmagnetfeld mittels Spule (5) an das Plättchen angelegt wird, das die Domänenwandoszillationen innerhalb gegebener Grenzen hält, wobei die Messung des Kompensationsmagnetfeldes und der Domänenwandposition die Bestimmung des gesuchten Magnetfeldes ergibt.
- 20 4. Methode zur Messung des elektrischen Stromes nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß durch die Erfassung des Kompensationsmagnetfeldes in einer Regelschleife (10) die Intensität des ausgesandten Lichtes innerhalb gegebener Grenzen aufrecht erhalten wird und dadurch das Kompensationsfeld, welches beispielsweise mittels eines vom Kompensationsstrom durchflossenen Shunts (11) erfaßt wird, ein Maß für den zu messenden Strom bzw. das Magnetfeld ist.

Hiezu 2 Blatt Zeichnungen

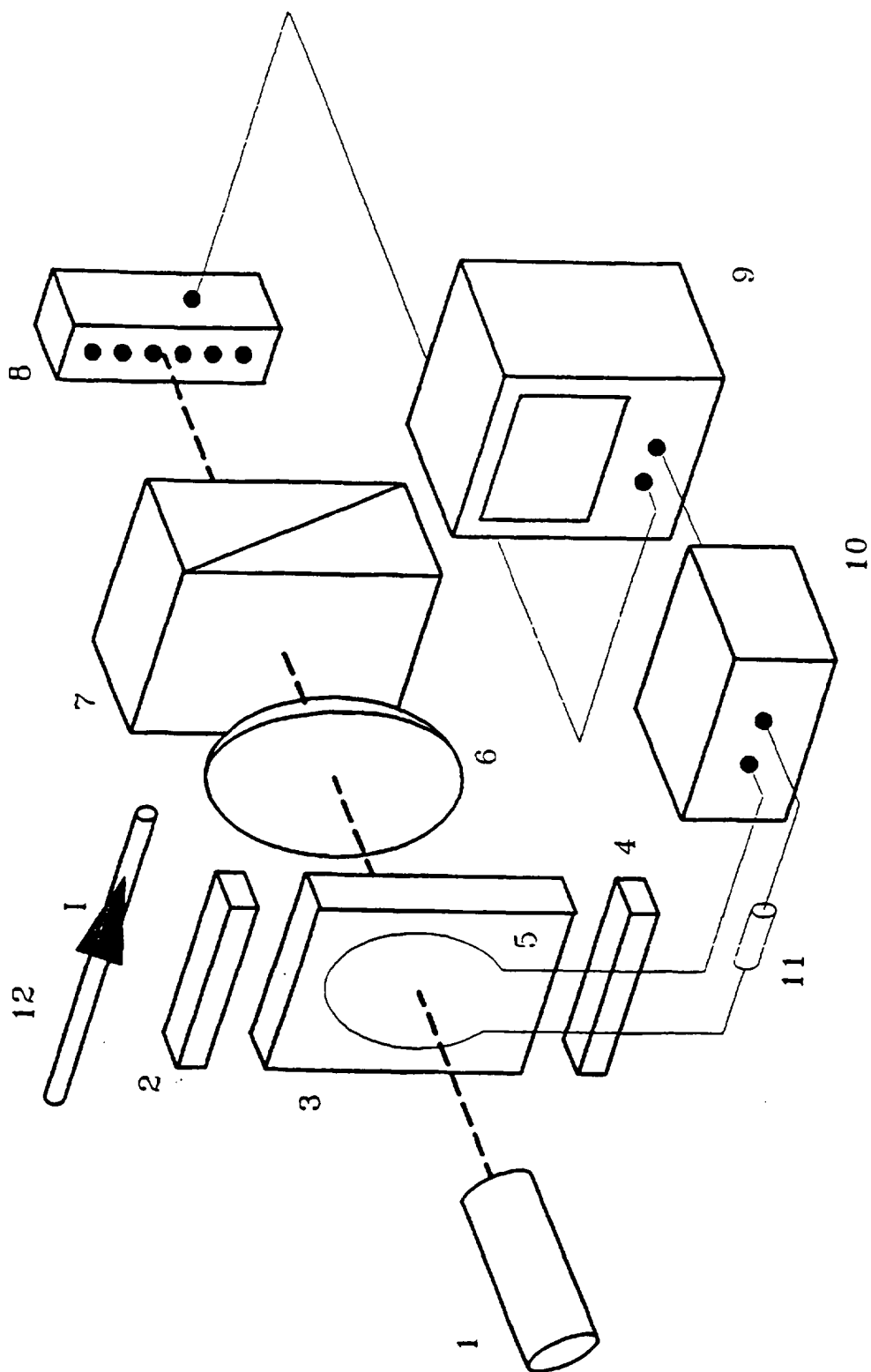


Fig. 1

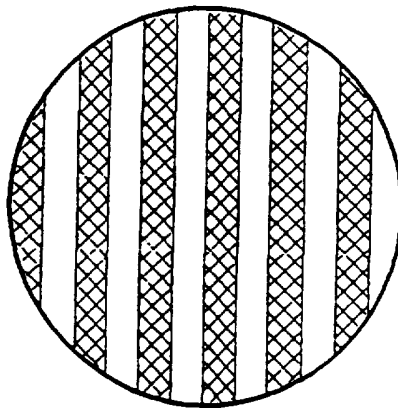


Fig. 2