

(19)



Deutsches
Patent- und Markenamt



(10) **DE 10 2011 108 181 A1** 2013.01.24

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 108 181.3**

(22) Anmeldetag: **22.07.2011**

(43) Offenlegungstag: **24.01.2013**

(51) Int Cl.: **G01N 21/64 (2012.01)**

G01H 9/00 (2011.01)

G01N 27/92 (2012.01)

(71) Anmelder:

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

(74) Vertreter:

**GRAMM, LINS & PARTNER GbR, 38122,
Braunschweig, DE**

(72) Erfinder:

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

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	10 2006 038 647	B4
DE	10 2007 025 688	A1
DE	10 2009 015 341	A1
US	2004 / 0 212 799	A1
US	2010 / 0 315 079	A1
US	5 742 577	A
EP	1 157 297	B1

**Hao, X.; Kuang, C.; Wang, T.; Liu, X.: Effects of
polarization on the de-excitation dark focal spot
in STED microscopy. In: J. Opt., Vol. 12, 2010, S.
115707**

**Wildanger, D.; Maze, J. R.; Hell, S. W.:
Diffraction Unlimited All-Optical Recording of
Electron Spin Resonances. In: Phys. Rev. Lett.,
Vol. 107, 1 July 2011, S. 017601**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum ortsaufgelösten Messen einer Magnetisierung einer magnetischen Struktur und
magnetooptische Magnetisierungsmessvorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren

zum ortsaufgelösten Messen einer Magnetisierung (\vec{M}) einer magnetischen Struktur (26), mit den Schritten:

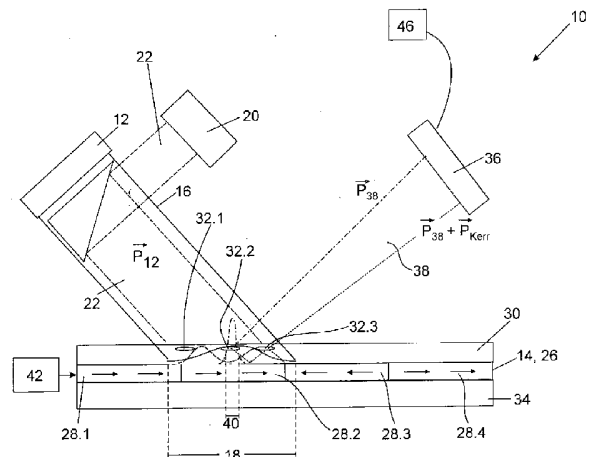
(a) Aufbringen zumindest einer fluoreszierenden Schicht (30) auf die magnetische Struktur (26),

(b) Bestrahlen der Schicht (30) mit zumindest einem Anregungs-Lichtstrahl (16), so dass die Schicht (30) in einem Anregungsbereich (18) zur Fluoreszenz angeregt wird,

(c) Bestrahlen zumindest auch des Anregungsbereichs (18) mit zumindest einem Stimulations-Lichtstrahl (22), so dass die Fluoreszenz außerhalb eines Residualbereichs (40) durch stimulierte Emission vermindert wird,

(d) Messen einer Polarisationsdrehung (ΔP) von Fluoreszenzlicht (38) aus dem Residualbereich (40) und

(e) Ermitteln der Magnetisierung (\vec{M}) der Struktur (26) im Residualbereich (40) zumindest auch aus der Polarisationsdrehung (ΔP).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum orts aufgelösten Messen einer Magnetisierung einer magnetischen Struktur. Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung eine magnetooptische Magnetisierungsmessvorrichtung und einen magnetooptischen Datenspeicher.

[0002] Die Abbildung magnetischer Strukturen auf Nanometerskala ist für viele technische Anwendungen wie zum Beispiel im Bereich magnetischer Datenspeicher und an magnetischen Sensoren von hoher Bedeutung. Die Struktur und die Form der magnetischen Domänen von Dünnschichten oder Schichtsystem bestimmt die Funktion der daraus hergestellten Bauelemente.

[0003] Es kommen verschiedene Verfahren zur hoch aufgelösten Abbildung der Magnetisierung in der industriellen und akademischen Forschung und Entwicklung im Bereich nanomagnetischer Bauelemente standardmäßig zur Anwendung. Eine wichtige Anforderung an ein Verfahren zum orts aufgelösten Messen einer Magnetisierung einer magnetischen Struktur ist eine möglichst hohe Ortsauflösung bei einer geringen Messzeit.

[0004] Bekannt ist die magnetooptische Rasternahfeldmikroskopie, die auf der lokalen Messung der Polarisationsdrehung des Lichts basiert. Dazu wird eine Nahfeldsonde, in der Regel in Form eines Lichtleiters, dicht über die zu untersuchende Struktur geführt und die Struktur mit linear polarisiertem Licht bestrahlt. Bei der Reflexion an der magnetischen Struktur ändert sich die Polarisationsrichtung des Lichts aufgrund des magnetooptischen Kerr-Effekts. Beim reflektierten Lichtstrahl wird die Polarisation gemessen und aus der Polarisation auf die Magnetisierung geschlossen.

[0005] Nachteilig an der magnetooptischen Rasternahfeldmikroskopie ist, dass die Sonde sehr dicht über die zu vermessende Struktur geführt werden muss. Kommt die Sonde dabei in Kontakt mit der Struktur, so wird sie in der Regel zerstört. Es ist da eine aufwendige Regelung notwendig, um die Sonde stets in einem vorgegebenen Abstand zur Oberfläche der zu vermessenden Struktur zu erhalten. Es ist ein weiterer Nachteil, dass Ortsauflösungen unterhalb von 50 Nanometern mit vertretbarem Aufwand kaum zu realisieren sind.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Nachteile im Stand der Technik zu vermindern.

[0007] Die Erfindung löst das Problem durch ein Verfahren zum orts aufgelösten Messen einer Magnetisierung einer magnetischen Schicht, mit den Schritten (a) Aufbringen zumindest einer fluoreszierenden Struktur, insbesondere einer fluoreszierenden Schicht, auf die magnetische Struktur, (b) Bestrahlen der Schicht mit zumindest einem Anregungs-Lichtstrahl, so dass die Schicht in einem Anregungsbereich zur Fluoreszenz angeregt wird, (c) Bestrahlen zumindest auch des Anregungsbereichs mit einem Stimulations-Lichtstrahl, so dass die Fluoreszenz außerhalb eines Residualbereichs durch stimulierte Emission vermindert wird, (d) Messen einer Polarisationsdrehung von Fluoreszenzlicht aus dem Residualbereich und (e) Ermitteln der Magnetisierung der Struktur im Residualbereich zumindest auch aus der Polarisationsdrehung, die so ausgebildet ist, dass die Magnetisierung aus der Polarisationsdrehung berechenbar ist.

[0008] Gemäß einem zweiten Aspekt löst die Erfindung das Problem durch eine magnetooptische Magnetisierungsmessvorrichtung mit (i) einer Anregungs-Lichtquelle, die eingerichtet ist zum Bestrahlen einer zu vermessenden Schicht mit zumindest einem Anregungs-Lichtstrahl in einem Anregungsbereich, (ii) einer Stimulations-Lichtquelle, die eingerichtet ist, zum Bestrahlen zumindest auch des Anregungsbereichs mit einem Stimulations-Lichtstrahl und die Stimulations-Lichtquelle in eine Stimulationsfrequenz imitiert, die so gewählt ist, dass Fluoreszenz außerhalb eines Residualbereichs durch stimulierte Emission vermindert ist, und (iii) einer Polarisations-Messvorrichtung zum Messen einer Polarisationsdrehung von Fluoreszenzlicht aus dem Residualbereich.

[0009] Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass eine deutlich höhere örtliche Auflösung erreicht werden kann. So sind Ortsauflösungen unterhalb von 50 Nanometern erreichbar.

[0010] Es ist ein weiterer Vorteil, dass die Magnetisierung orts aufgelöst mit einer relativ hohen Geschwindigkeit gemessen werden kann. Das Einstrahlen von Anregungs-Lichtstrahl und Stimulations-Lichtstrahl und das Messen der Polarisationsdrehung des Fluoreszenzlichts aus dem Residualbereich können nämlich im Fernfeld erfolgen. Es hat den Vorteil, dass an eine gemäß einer bevorzugten Ausführungsform vorhandene Lage-Regelung, die die Lage der zu vermessenden Struktur relativ zur Magnetisierungsmessvorrichtung regelt, nur geringe Anforderungen gestellt werden müssen. Das erlaubt einen einfachen Aufbau und ermöglicht eine hohe Arbeitsgeschwindigkeit.

[0011] Vorteilhaft ist zudem, dass das Verfahren unter Umgebungsbedingungen durchgeführt werden kann. Vorzugsweise wird daher das Verfahren unter einem Druck von zumindest 100 Pascal durchgeführt, insbesondere im Wesentlichen unter Umgebungsdruck. Es ist dann nicht notwendig, aufwendig für ein Vakuum zu sorgen.

[0012] Günstig bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist auch, dass das Bestrahlen mit dem Anregungs-Lichtstrahl und das Bestrahlen mit dem Stimulations-Lichtstrahl gemäß einer bevorzugten Ausführungsform so durchgeführt werden können, dass der Residualbereich einen Durchmesser von höchstens 50 Nanometern hat. Erreichbar sind Durchmesser von unter 10 Nanometern. Es wird damit eine Auflösung erreicht, die mit bekannten Methoden nicht erreichbar ist.

[0013] Schließlich ist es ein Vorteil, dass die Messung nicht-invasiv ist. Das heißt, dass die Messung die magnetischen Eigenschaften der zu vermessenden Struktur nicht beeinflusst.

[0014] Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter der fluoreszierenden Schicht insbesondere eine Polymerschicht verstanden, die fluorophore Moleküle enthält, die auch als Fluoreszenzmoleküle oder Fluorophore bezeichnet werden können. Günstig ist es, wenn ein Polymer gewählt wird, das zwar hinreichend stark auf der magnetischen Struktur haftet, so dass die Schicht nicht abfällt, die aber gleichzeitig so gewählt ist, dass sie nach der Messung abziehbar oder ablösbar ist, ohne die Struktur zu beschädigen. Das Polymer wird beispielsweise in Vorversuchen ermittelt, in denen insbesondere ermittelt wird, ob die magnetische Struktur durch das Abziehen beschädigt werden kann. Geeignete Fluorophore sind zum Beispiel aus der Gruppe der Cumarine, Naphthale, Oxazole, Perylene, Phenyle, Pyrene, Stilbene, Styryle und/oder Xanthere. Es können auch Fluorophore in Form fluoreszierender Polymere verwendet werden, die dann zum Beispiel durch Aufschleudern in Form einer fluoreszierenden Schicht auf die magnetische Schicht aufgebracht werden können. Als stark polarisierendes Fluorophor ist beispielsweise das konjugierte Polymer poly(9,9-dioctylfluoren) geeignet, das auch im Bereich der Flüssigkristallanzeigen zur Anwendung kommt.

[0015] Unter dem Bestrahlen der Schicht mit dem Anregungs-Lichtstrahl wird insbesondere verstanden, dass ein beispielsweise monochromatischer Lichtstrahl auf die Schicht fokussiert wird, wobei die Frequenz des Lichtstrahls so gewählt ist, dass die fluoreszierende Schicht zur Fluoreszenz angeregt wird. Die jeweils zu wählende Frequenz hängt von dem Fluorophor ab und wird in Vorversuchen ermittelt.

[0016] Unter dem Residualbereich wird derjenige Bereich verstanden, in dem auch nach Bestrahlen mit dem Stimulations-Lichtstrahl vom Anregungs-Lichtstrahl angeregte fluorophore Moleküle in so hoher Zahl enthalten sind, dass von diesen emittiertes Fluoreszenzlicht einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis der Messung der Polarisationsdrehung hat.

[0017] Unter der Polarisationsdrehung wird insbesondere eine physikalische Größe verstanden, die ein Maß für den Grad einer Veränderung einer Polarisationsrichtung ist, die ein Photon aufgrund des magnetooptischen Kerr-Effekts bei Reflexion an der magnetischen Struktur erfährt. Es kann sich dabei beispielsweise um ein Verhältnis einer ersten Strahlungsleistung von Licht einer ersten Polarisationsrichtung zu einer zweiten Strahlungsleistung von Licht einer zweiten Polarisationsrichtung handeln. Das Licht der zweiten Polarisationsrichtung ist beispielsweise solches Licht, das nach Emission durch ein fluoreszierendes Molekül an der magnetischen Struktur reflektiert wurde, das Licht der zweiten Polarisationsrichtung solches Licht, das nach Emission durch ein fluoreszierendes Molekül nicht an der magnetischen Struktur reflektiert wurde.

[0018] Günstig ist es, wenn eine fluoreszierende Schicht verwendet wird, bei der die Rotationsdiffusionskonstante so klein ist, dass das Fluoreszenzlicht polarisiert ist, wenn der Anregungs-Lichtstrahl linear polarisiert ist. Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass die magnetische Struktur gekühlt wird, um die Rotationsdiffusionskonstante zu verringern.

[0019] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass die einzelnen Fluorophore der fluoreszierenden Schicht als stark lokalisierte Lichtquellen verwendet werden können. Emittieren die Fluorophore Photonen, so können diese in der Regel in alle Raumrichtungen abgestrahlt werden. Werden die Photonen an der magnetischen Struktur reflektiert, so erfahren sie wegen des magnetooptischen Kerr-Effekts eine Drehung ihrer Polarisations Ebene. Werden sie hingegen nicht an der magnetischen Struktur reflektiert, so ändert sich ihre Polarisation nicht. Aus einem Vergleich der Polarisierungen der an der magnetischen Struktur reflektierten Photonen einerseits und der nicht reflektierten Photonen andererseits kann auf die Magnetisierung der magnetischen Struktur geschlossen werden.

[0020] Wird ein linear polarisierter Anregungs-Lichtstrahl verwendet, so hat das Fluoreszenzlicht zwei unterscheidbare Anteile, nämlich einen ersten Lichtanteil, der nicht reflektiert wurde und eine erste Polarisation hat, und einen zweiten Lichtanteil, der an der magnetischen Struktur reflektiert wurde und daher eine zweite Polarisation hat. Aus den Intensitäten der beiden Lichtanteile kann auf die Magnetisierung geschlossen werden. Beispielsweise werden dazu Vorversuche durchgeführt, in denen die Magnetisierung der magnetischen Struktur an einem gleich aufgebauten Prüfling durch Anlegen eines externen magnetischen Felds vollständig magnetisiert und anschließend vermessen wird. Durch Entmagnetisieren und erneutes Vermessen und/oder durch Magnetisieren in verschiedenen Magnetisierungsrichtungen und jeweils nachfolgendes Bestrahlen mit Anregungs- und Stimulations-Lichtstrahl sowie Messen der Polarisationsdrehung werden die Intensitäten der beiden Lichtanteile bei verschiedenen Magnetisierungen der magnetischen Struktur ermittelt. So wird ein Kennfeld erhalten, anhand dessen aus gemessenen Intensitäten der beiden Lichtanteile auf die Magnetisierung geschlossen werden kann.

[0021] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist der zumindest eine Anregungs-Lichtstrahl zumindest teilweise polarisiert, insbesondere linear polarisiert. Besonders günstig ist das, wenn die fluoreszierende Schicht so aufgebaut ist, dass die von den Fluorophoren emittierten Photonen zumindest im Wesentlichen die gleiche Polarisation haben wie die absorbierten Photonen. Hierunter ist zu verstehen, dass es möglich, nicht aber notwendig ist, dass die Polarisation vollständig erhalten bleibt. Es ist ausreichend, wenn die Polarisation in einem solchen Umfang erhalten bleibt, dass der Einfluss des magnetooptischen Kerr-Effekts durch die Reflexion an der magnetischen Struktur nachweisbar bleibt.

[0022] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform werden die Schritte (b) bis (e) mehrfach wiederholt, so dass ein Raster an Messpunkten für die Magnetisierung zumindest eines Bereichs der Struktur erhalten wird. Die Magnetisierung der magnetischen Struktur lässt sich so mit hoher Ortsauflösung über große Bereiche ermitteln.

[0023] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform werden das Bestrahlen mit dem Anregungs-Lichtstrahl und das Bestrahlen mit dem zumindest einen Stimulations-Lichtstrahl an mehreren Orten simultan durchgeführt. Dabei ist es möglich, dass eine gemeinsame Lichtquelle für alle Anregungs-Lichtstrahlen und eine gemeinsame Lichtquelle für alle Stimulations-Lichtstrahlen verwendet wird. Ein derartiges Verfahren erlaubt eine großflächige und gleichzeitig hochortsaufgelöste Messung der Magnetisierung der magnetischen Struktur.

[0024] Vorzugsweise wird eine fluoreszierende Schicht aufgebracht, die Fluoreszenzmoleküle umfasst, die auch als Fluorophore bezeichnet werden können, wobei die fluoreszierende Schicht so aufgebracht wird, dass die Fluoreszenzmoleküle eine Vorzugsorientierung besitzen, die durch eine Vorzugsachse beschreibbar ist. Wird in diesem Fall ein Anregungs-Lichtstrahl aus linear polarisiertem Licht verwendet, so muss die Polarisationsrichtung desjenigen Lichts, das nicht an der magnetischen Struktur reflektiert wurde, nicht gesondert bestimmt werden, da sie an allen Orten der Schicht im Wesentlichen gleich ist. Das reduziert den apparativen Aufwand.

[0025] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Messen der Polarisationsdrehung ein Erfassen einer Abweichung einer Fluoreszenz-Polarisation von Fluoreszenzlicht zu der Vorzugsachse.

[0026] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst eine erfindungsgemäße magnetooptische Magnetisierungsmessvorrichtung eine magnetische Struktur, die eine Vielzahl an zueinander systematisch angeordneten magnetischen Zellen aufweist. Derartige magnetische Strukturen sind beispielsweise als Speicherschichten auf Festplatten bekannt. Es ist aber auch möglich, dass die magnetische Struktur eine zu untersuchende, vorgegebene Struktur ist, beispielsweise eine zu untersuchende künstliche oder natürliche Magnetstruktur. So kann es sich bei der magnetischen Struktur beispielsweise um ein in seiner Struktur zu untersuchendes Stück ferromagnetischen Stahls oder um eine magnetoresistive Sensorschicht handeln.

[0027] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Magnetisierungsmessvorrichtung eine Auswerteeinheit, die eingerichtet ist zum automatischen Ermitteln der Magnetisierung der Struktur im Residualbereich zumindest auch aus der Polarisationsdrehung. Bei dieser Auswerteeinheit kann es sich um einen handelsüblichen Rechner handeln. Alternativ ist auch möglich, dass die Auswerteeinheit integraler Bestandteil der Magnetisierungsmessvorrichtung ist, beispielsweise in Form einer Auswerteschaltung.

[0028] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die magnetooptische Magnetisierungsmessvorrichtung eine Positioniervorrichtung zum Positionieren einer vorgegebenen magnetischen Zelle. Der Schritt (f), der oben im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschrieben ist und das Abrastern

von Messpunkten beschreibt, umfasst dann insbesondere ein Betätigen der Positionier Vorrichtung, so dass eine vorgegebene Menge an magnetischen Zellen so positioniert wird, dass ihre jeweiligen Magnetisierungen auslesbar ist. Eine derartige Positionier Vorrichtung ist beispielsweise aus Festplattenlaufwerken bekannt.

[0029] Erfindungsgemäß ist zudem ein magnetooptischer Datenspeicher, der eine erfindungsgemäße magnetooptische Magnetisierungsmessvorrichtung und eine Magnet-Schreibvorrichtung umfasst, wobei die Magnet-Schreibvorrichtung zum Beschreiben von Daten auf die magnetische Struktur eingerichtet ist. Eine derartige Magnet-Schreibvorrichtung kann beispielsweise ein Schreibkopf sein, wie er bei bekannten Festplattensystemen bereits verwendet wird. Dadurch, dass die Ortsauflösung der magnetooptischen Magnetisierungsmessvorrichtung deutlich kleiner ist als bei bekannten Systemen, kann die Magnet-Schreibvorrichtung ebenfalls deutlich kleiner gewählt werden. Beispielsweise ist die Magnet-Schreibvorrichtung ausgebildet zum Magnetisieren von magnetischen Zellen mit einer räumlichen Ausdehnung von unter 40 Nanometern.

[0030] Es ist möglich, dass die magnetische Struktur durch eine magnetische Schicht gebildet ist. Beispielsweise ist diese magnetische Schicht auf einem Substrat aufgebracht, das für Licht des Anregungs-Lichtstrahls, des Stimulations-Lichtstrahls sowie des Fluoreszenzlichts durchlässig ist.

[0031] Eine vorteilhafte Ausführungsform wird erhalten, wenn die Magnet-Schreibvorrichtung bezüglich der magnetischen Struktur auf einer anderen Seite angeordnet ist als die magnetooptische Magnetisierungsmessvorrichtung. In anderen Worten spannt die magnetische Struktur, insbesondere die magnetische Schicht, eine Ebene auf, wobei die Magnet-Schreibvorrichtung auf einer Seite dieser Ebene angeordnet ist und die Magnetisierungsmessvorrichtung auf der anderen. Anders als bei bekannten Festplatten, die einen Schreib-Lese-Kopf aufweisen, ermöglicht dieser Aufbau, mit der Magnet-Schreibvorrichtung zu schreiben und simultan mit der Magnetisierungsmessvorrichtung die Daten von der magnetischen Struktur auszulesen.

[0032] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

[0033] [Fig. 1a](#) eine schematische Ansicht einer erfindungsgemäßen Magnetisierungsmessvorrichtung,

[0034] [Fig. 1b](#) einen Ausschnitt aus [Fig. 1a](#) zur Erläuterung der Arbeitsweise,

[0035] [Fig. 1c](#) eine schematische Ansicht von oben auf die Magnetisierungsmessvorrichtung und

[0036] [Fig. 2](#) eine erfindungsgemäße magnetooptischen Datenspeicher in einer schematischen Ansicht.

[0037] **Fig. 1** zeigt eine magnetooptische Magnetisierungsmessvorrichtung **10** mit einer Anregungs-Lichtquelle **12**, beispielsweise in Form eines Lasers, die eingerichtet ist zum Bestrahlen einer zu vermessenden magnetischen Schicht **14**. Im Betrieb sendet die Anregungs-Lichtquelle **12** einen Anregungs-Lichtstrahl **16** auf einen Anregungsbereich **18** der Schicht **14**.

[0038] Der Anregungs-Lichtstrahl **16** kann monochromatisch sein mit einer Anregungsfrequenz f_{16} und ist in der Regel ein Blitz, der beispielsweise eine Anregungsdauer Δt_{16} von 10 Millisekunden oder weniger hat. Im Allgemeinen kann die Anregungsdauer Δt_{16} quasi beliebig groß sein (Dauerstrichbetrieb) und bis hinunter zu beispielsweise 10 Pikosekunden reichen.

[0039] Die magnetooptische Magnetisierungsmessvorrichtung **10** umfasst zudem eine Stimulations-Lichtquelle **20**, die eingerichtet ist, zum Bestrahlen zumindest auch des Anregungsbereichs **18** mit einem Stimulations-Lichtstrahl **22**. Der Stimulations-Lichtstrahl **22** besitzt eine Stimulations-Wellenlänge λ_{22} , die zu einer Stimulationsfrequenz f_{22} gehört und sich von der Anregungs-Wellenlänge λ_{16} des Anregungs-Lichtstrahls **16** unterscheidet, die einer Anregungsfrequenz f_{16} entspricht.

[0040] Der Anregungs-Lichtstrahl **16** hat beispielsweise eine Wellenlänge von $\lambda_{16} = 440, \dots, 660$ Nanometer, der Stimulations-Lichtstrahl **22** eine Wellenlänge $\lambda_{16} = 500, \dots, 800$ Nanometer.

[0041] Beispielsweise wird der Stimulations-Lichtstrahl **22** über ein Prisma **24** in den Strahlengang des Anregungs-Lichtstrahls **16** eingespiegelt. Auch der Stimulations-Lichtstrahl **22** ist in der Regel ein Blitz, der beispielsweise eine Stimulationsdauer Δt_{22} von 10 Millisekunden oder weniger hat. Im Allgemeinen kann auch die Stimulationsdauer Δt_{22} quasi beliebig groß sein (Dauerstrichbetrieb) und bis hinunter zu beispielsweise 10 Pikosekunden reichen.

[0042] Die Stimulationsfrequenz f_{22} des Stimulations-Lichtstrahl **22** ist so gewählt, dass vom Stimulations-Lichtstrahl **22** beleuchtete Bereiche durch stimulierte Emission abgeregt werden, so dass sie in guter Näherung kein Fluoreszenzlicht mehr aussenden.

[0043] Die zu untersuchende Schicht **14** ist eine zu untersuchende magnetische Struktur **26**, da die Schicht **14** eine Mehrzahl an magnetischen Zellen **28.1**, **28.2**, ... umfasst. In den magnetischen Zellen **28** (Bezugszeichen ohne Zählsuffix bezeichnen das Objekt als solches) besitzt die magnetische Struktur **26** eine einheitliche Magnetisierung M , die durch Pfeile in **Fig. 1a** angedeutet ist. Es zu erkennen, dass sich die Magnetisierung M von Zelle zu Zelle unterscheiden kann. So besitzen die magnetischen Zellen **28.3** und **28.4** entgegengesetzte Magnetisierungen. Auf diese Weise ist die Schicht **14** als Datenspeicher **44** nutzbar.

[0044] Auf der Schicht **14** ist eine fluoreszierende Schicht **30** aufgebracht, beispielsweise ein Polymer, das darin eingebettete fluorophore Moleküle aufweist.

[0045] Schematisch sind einzelne Fluorophore **32.1**, **32.2**, **32.3** in **Fig. 1b** eingezeichnet. Die magnetische Struktur **26** ist auf einem Substrat **34** angeordnet. Das Substrat **34** kann beispielsweise aus Metall, aber auch aus Glas oder einem Kunststoff bestehen.

[0046] **Fig. 1a** zeigt zudem eine Polarisations-Messvorrichtung **36**, mittels der eine Polarisation P von Fluoreszenzlicht **38** aus einem Residualbereich **40** ermittelbar ist. Schematisch eingezeichnet ist zudem eine Positioniervorrichtung **42**, mittels der die Struktur **26** relativ zu der Anregungs-Lichtquelle **12** und der Polarisations-Messvorrichtung **36** positionierbar ist.

[0047] Beim Betrieb der Magnetisierungsmessvorrichtung **10** wird zunächst mittels der Positioniervorrichtung **42** die auszulesende magnetische Zelle **28**, im vorliegenden Fall die magnetische Zelle **28.2**, so positioniert, dass sie im Anregungsbereich **18** der Anregungs-Lichtquelle **12** positioniert ist. Es wird dann der Anregungs-Lichtstrahl **16** auf die fluoreszierende Schicht **30** gerichtet, so dass der Anregungsbereich **18** belichtet wird. Die Fluorophore **32** werden dadurch in einen angeregten Zustand überführt. Unmittelbar zeitlich nach oder gegebenenfalls zumindest teilweise gleichzeitig mit dem Beleuchten mit dem Anregungs-Lichtstrahl **16** wird von der Stimulations-Lichtquelle **20** der Stimulations-Lichtstrahl **22** auf den Anregungsbereich **18** gerichtet.

[0048] **Fig. 1b** zeigt die Abhängigkeit der Intensität I der beiden Lichtstrahlen **16**, **22** bezüglich eines Querschnitts. Beispielsweise ist die Intensitätsverteilung radial symmetrisch. **Fig. 1b** zeigt einen Querschnitt durch die Intensitätsverteilung durch deren Mittelpunkt m . Es ist zu erkennen, dass mit zunehmendem radialem Abstand r vom Mittelpunkt m des Residualbereichs **40** die Intensität **116** des Anregungs-Lichtstrahls **16** streng monoton fällt.

[0049] Die Intensität I_{22} des Stimulations-Lichtstrahls **22** hingegen hat im Mittelpunkt $r = 0$ ein lokales Minimum, steigt mit radial zunehmendem Abstand r zunächst an und fällt danach ab, beispielsweise auf 0. Durch die Stimulation mit dem Stimulations-Lichtstrahl **22** werden die Fluorophore **32**, in **Fig. 1b** die Fluorophore **32.1** und **32.3**, abgeregt, sofern sie sich nicht im Residualbereich **40** befinden. Die Fluorophore im Residualbereich **40**, in **Fig. 1b** das Fluorophor **32.2**, wird nicht abgeregt. Der beschriebene Mechanismus entspricht dem bei der STED-Mikroskopie (STED = Stimulated Emission Depletion) und wird daher nicht näher erläutert.

[0050] Diejenigen Fluorophore **32**, die sich im Residualbereich **40** befinden, bleiben angeregt und senden Fluoreszenzlicht **38** aus. Dieses Fluoreszenzlicht **38** wird mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit in Richtung auf die Polarisations-Messvorrichtung **36** (vergleiche **Fig. 1a**) ausgesandt und dort registriert. Ist der Anregungs-Lichtstrahl **16** polarisiert, das heißt besitzt er eine Polarisation \vec{P}_{12} , so ist das von einem Fluorophor ausgesandte Fluoreszenzlicht ebenfalls polarisiert und hat eine Polarisation \vec{P}_{38} . Wenn das Fluoreszenzlicht vom Fluorophor **32**, hier dem Fluorophor **32.2**, direkt zur Polarisations-Messvorrichtung **36** gelangt, wie durch die Strichpunktlinie gezeigt, wird für das entsprechende Photon diese Polarisation \vec{P}_{38} erfasst.

[0051] Mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit emittiert das Fluorophor im Residualbereich **40** das Fluoreszenzlicht **38** jedoch so, dass es zunächst an der magnetischen Struktur **26** reflektiert wird, bevor es zur Polarisations-Messvorrichtung **36** gelangt, wie durch die gestrichelte Linie angedeutet. Die Struktur **26** führt aufgrund des magneto-optischen Kerr-Effekts zu einer Änderung der Polarisation um einen Kerr-Polarisationsbeitrag \vec{P}_{Kerr} . Die Polarisations-Messvorrichtung **36** erfasst für das entsprechende Photon die Polarisation $\vec{P}_{38} + \vec{P}_{\text{Kerr}}$. Die Polarisations-Messvorrichtung **36** misst die Strahlungsleistung Φ_{direkt} des Anteils mit der Polarisation

\vec{P}_{38} und die Strahlungsleistung $\Phi_{\text{reflektiert}}$ des Anteils mit der Polarisation $\vec{P}_{38} + \vec{P}_{\text{Kerr}}$. Die Strahlungsleistungen Φ_{direkt} und $\Phi_{\text{reflektiert}}$ hängen zudem beispielsweise noch von polarisationsabhängigen Absorptionen und ähnlichen Parametern ab, diese sind aber für verschiedene magnetische Zellen **28** gleich, so dass sie herausgerechnet werden können.

[0052] Das Verhältnis der Strahlungsleistungen Φ_{direkt} zu $\Phi_{\text{reflektiert}}$ ist daher ein Maß für die Magnetisierung \vec{M} der magnetischen Zelle **28**, die gerade vermessen wird. Aus den genannten Strahlungsleistungen lässt sich daher eine Polarisationsdrehung ΔP , beispielsweise in Form

$$\Delta P = \frac{\Phi_{\text{direkt}}}{\Phi_{\text{reflektiert}}}$$

Formel 1

definieren.

[0053] Die Polarisations-Messvorrichtung **36** ist mit einer Auswerteeinheit **46** verbunden, die in Fig. 1a schematisch eingezeichnet ist. In der Auswerteeinheit **46** ist eine Tabelle hinterlegt, die die Polarisationsdrehung ΔP einer Magnetisierung \vec{M} zuordnet, so dass von der Auswerteeinheit **46** direkte Magnetisierung \vec{M} ortsaufgelöst ausgegeben werden kann.

[0054] Fig. 1c zeigt eine schematische Ansicht von oben auf die Magnetisierungsmessvorrichtung **10**. Die fluoreszierende Schicht **30** ist auf die Struktur **26** aufgeschleudert worden. Dadurch haben sich die Fluorephore gemäß einer lokalen Vorzugsorientierung V angeordnet, die von dem Mittelpunkt m radial auswärts verlaufen.

[0055] Fig. 2 zeigt einen erfindungsgemäßen magnetooptischen Datenspeicher **48**, der neben einer erfindungsgemäßen magnetooptischen Magnetisierungsmessvorrichtung **10** eine Magnet-Schreibvorrichtung **50** umfasst.

Bezugszeichenliste

10	Magnetisierungsmessvorrichtung
12	Anregungs-Lichtquelle
14	Schicht
16	Anregungs-Lichtstrahl
18	Anregungsbereich
20	Stimulations-Lichtquelle
22	Stimulations-Lichtstrahl
24	Prisma
26	Struktur
28	magnetische Zelle
30	fluoreszierende Schicht
32	Fluorophor
34	Substrat
36	Polarisations-Messvorrichtung
38	Fluoreszenzlicht
40	Residualbereich
42	Positioniervorrichtung
44	Datenspeicher
46	Auswerteeinheit
48	Datenspeicher
50	Magnet-Schreibvorrichtung
Φ	Strahlungsleistung
Δt_{16}	Anregungsdauer
f_{16}	Frequenz des Anregungslichtstrahls
f_{22}	Frequenz des Lichts des Stimulations-Lichtstrahls
P	Polarisation
\vec{P}_{Kerr}	Kerr-Polarisationsbeitrag
ΔP	Polarisationsdrehung
I	Intensität

r	radialer Abstand
m	Mittelpunkt
\vec{M}	Magnetisierung
\vec{V}	Vorzugsachse

Patentansprüche

1. Verfahren zum ortsaufgelösten Messen einer Magnetisierung (\vec{M}) einer magnetischen Struktur (26), mit den Schritten:

- (a) Aufbringen zumindest einer fluoreszierenden Schicht (30) auf die magnetische Struktur (26),
- (b) Bestrahlen der Schicht (30) mit zumindest einem Anregungs-Lichtstrahl (16), so dass die Schicht (30) in einem Anregungsbereich (18) zur Fluoreszenz angeregt wird,
- (c) Bestrahlen zumindest auch des Anregungsbereichs (18) mit zumindest einem Stimulations-Lichtstrahl (22), so dass die Fluoreszenz außerhalb eines Residualbereichs (40) durch stimulierte Emission vermindert wird,
- (d) Messen einer Polarisationsdrehung (ΔP) von Fluoreszenzlicht (38) aus dem Residualbereich (40) und
- (e) Ermitteln der Magnetisierung (\vec{M}) der Struktur (26) im Residualbereich (40) zumindest auch aus der Polarisationsdrehung (ΔP).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der zumindest eine Anregungs-Lichtstrahl (16) zumindest teilweise polarisiert, insbesondere linear polarisiert, ist.

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch den Schritt:

- (f) Wiederholen der Schritte (b) bis (e), so dass ein Raster an Messpunkten für die Magnetisierung (\vec{M}) zumindest eines Bereichs der Struktur (26) erhalten wird.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Bestrahlen mit dem zumindest einen Anregungs-Lichtstrahl (16) und das Bestrahlen mit dem zumindest einen Stimulations-Lichtstrahl (22) an mehreren Orten simultan durchgeführt wird.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- eine fluoreszierende Schicht (30) aufgebracht wird, die Fluoreszenzmoleküle (32) umfasst, und
- die fluoreszierende Schicht (30) so aufgebracht wird, dass die Fluoreszenzmoleküle (32) eine Vorzugsorientierung besitzen, die durch eine Vorzugsachse (\vec{V}) beschreibbar ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Messen der Polarisationsdrehung (ΔP) ein Erfassen einer Abweichung einer Fluoreszenz-Polarisation (P_{38}) von Fluoreszenzlicht (38) zu der Vorzugsachse (\vec{V}) umfasst.

7. Magnetooptische Magnetisierungsmessvorrichtung (10) mit

- einer Anregungs-Lichtquelle (16), die eingerichtet ist zum Bestrahlen einer zu vermessenden Schicht (30) mit zumindest einem Anregungs-Lichtstrahl (16) in einem Anregungsbereich (18),
- einer Stimulations-Lichtquelle (20), die
- eingerichtet ist zum Bestrahlen zumindest auch des Anregungsbereichs (18) mit einem Stimulations-Lichtstrahl (20) und
- Stimulationslicht einer Stimulationsfrequenz (f_{22}) emittiert, die so gewählt ist, dass die Fluoreszenz außerhalb eines Residualbereichs durch stimulierte Emission vermindert ist, und
- einer Polarisations-Messvorrichtung (36) zum Messen einer Polarisationsdrehung (ΔP) von Fluoreszenzlicht (38) aus dem Residualbereich (40).

8. Magnetooptische Magnetisierungsmessvorrichtung (10) nach Anspruch 7, gekennzeichnet durch

- eine magnetische Struktur (26), die eine Vielzahl an geordnet zueinander angeordneten magnetischen Zellen (28) aufweist.

9. Magnetooptische Magnetisierungsmessvorrichtung (10) nach Anspruch 7 oder 8, gekennzeichnet durch eine Auswerteeinheit (46), die eingerichtet ist zum automatischen Ermitteln der Magnetisierung (\vec{M}) der Struktur (26) im Residualbereich (40) zumindest auch aus der Polarisationsdrehung (ΔP).

10. Magnetooptische Magnetisierungsmessvorrichtung (**10**) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, gekennzeichnet durch eine Magnet-Schreibvorrichtung (**50**) zum Schreiben von Daten auf die magnetische Struktur (**26**), so dass sich ein magnetooptischer Datenspeicher (**44, 48**) ergibt.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

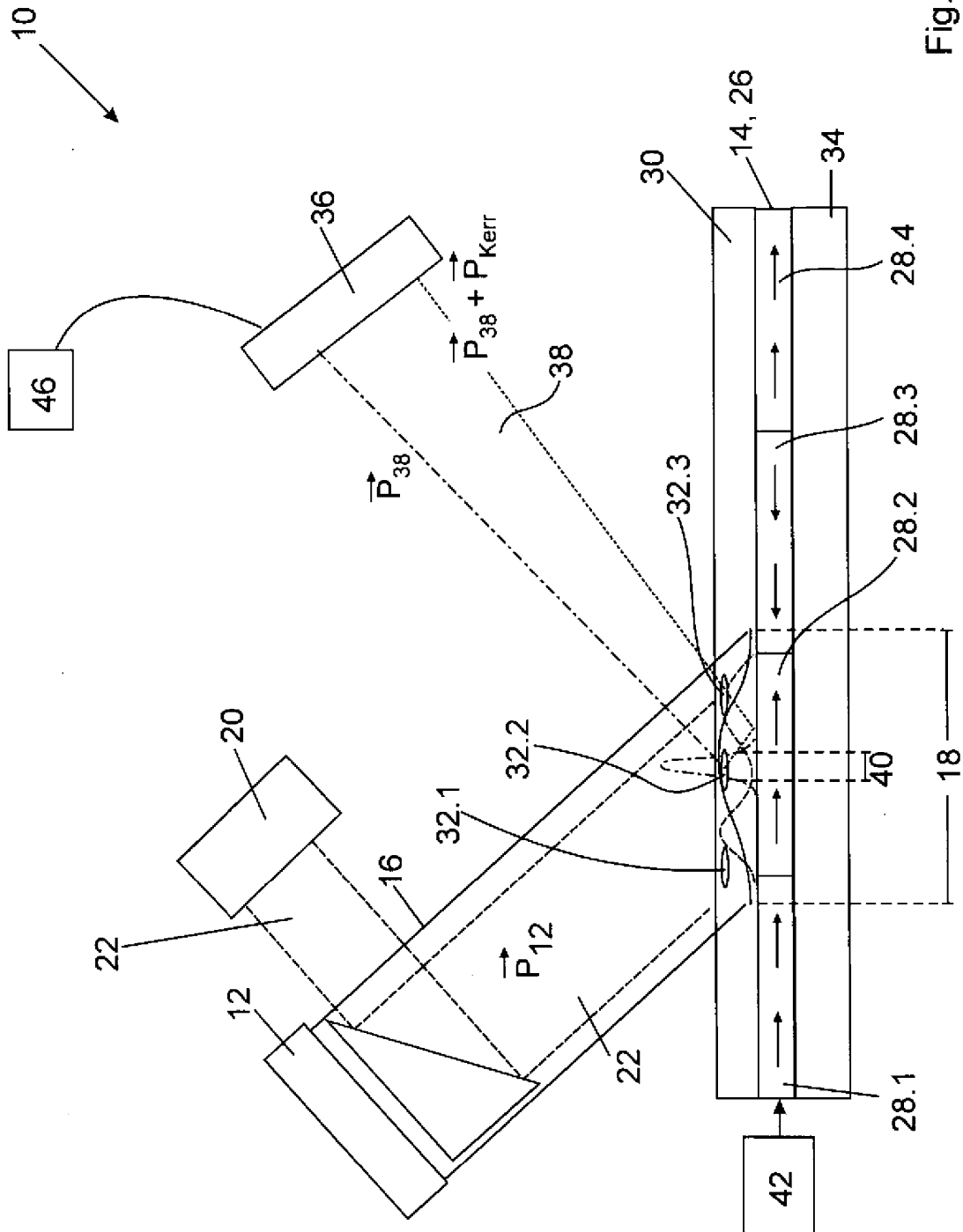


Fig. 1a

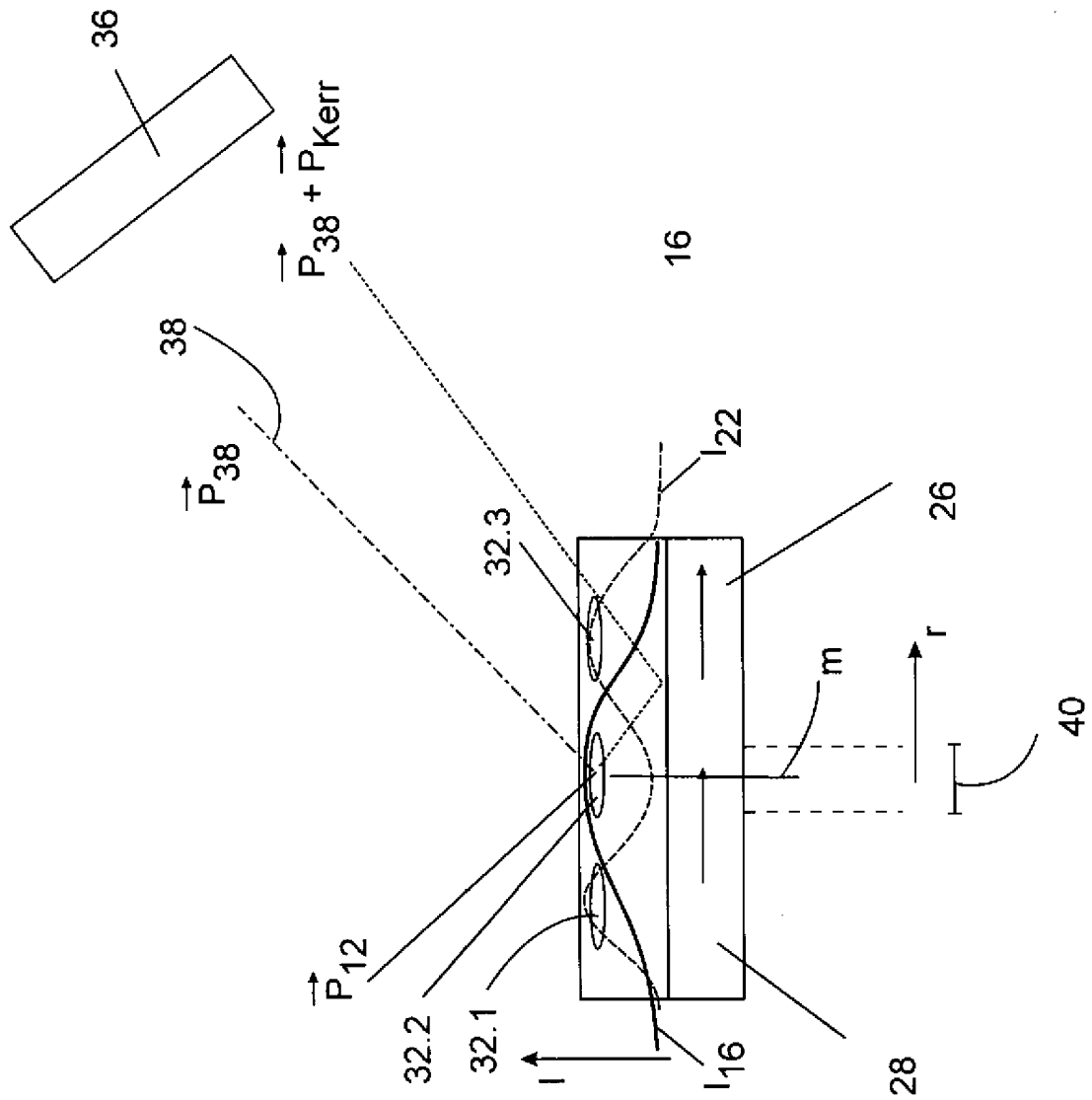


Fig. 1b

10

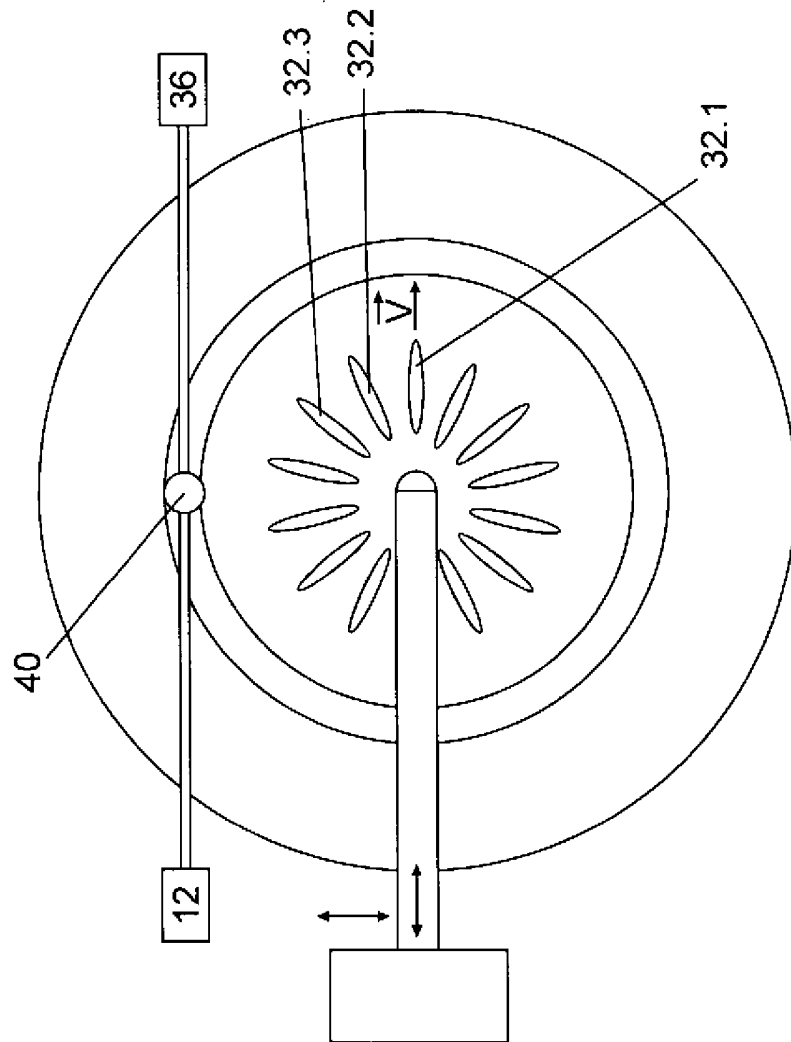


Fig. 1c

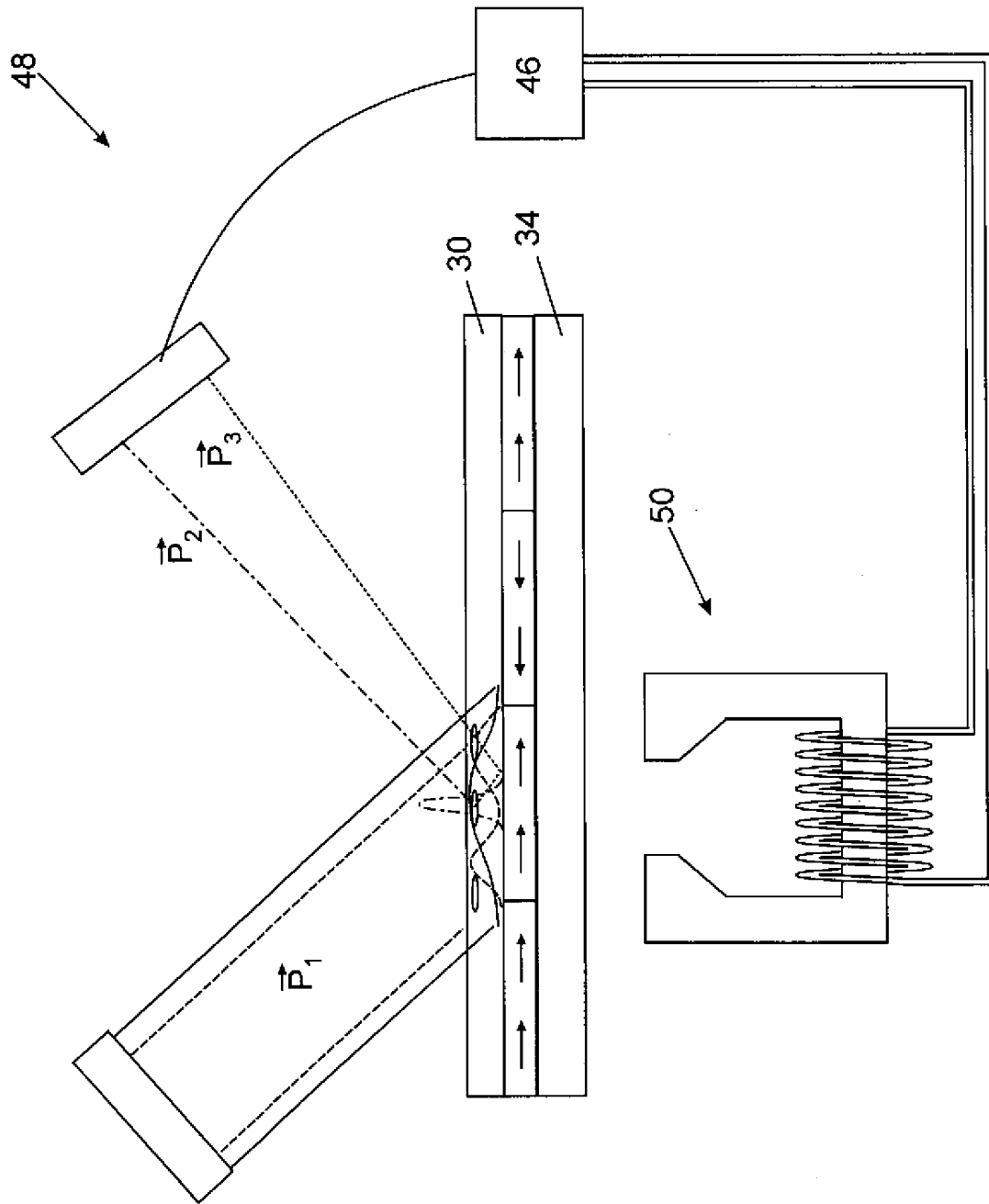


Fig. 2