

(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
16. Februar 2012 (16.02.2012)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/019806 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G11C 13/06 (2006.01) *G11B 11/105* (2006.01)
G11C 19/08 (2006.01)
- (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHÄFER, Rudolf
[DE/DE]; Bibrachstraße 17 B, 01217 Dresden (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/059667 (74) Anwalt: RAUSCHENBACH, Dieter; 27 01 75, Bienertstraße 15, 01187 Dresden (DE).
- (22) Internationales Anmeldedatum:
10. Juni 2011 (10.06.2011) (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2010 039 261.8
12. August 2010 (12.08.2010) DE
10 2010 040 241.9
3. September 2010 (03.09.2010) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): LEIBNIZ-INSTITUT FÜR FESTKÖRPER- UND WERKSTOFFFORSCHUNG DRESDEN E.V. [DE/DE]; Helmholtzstraße 20, 01069 Dresden (DE). (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND ASSEMBLY FOR EXCITING SPIN WAVES IN MAGNETIC SOLID BODIES

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR ANREGUNG VON SPINWELLEN IN MAGNETISCHEN FESTKÖRPERN

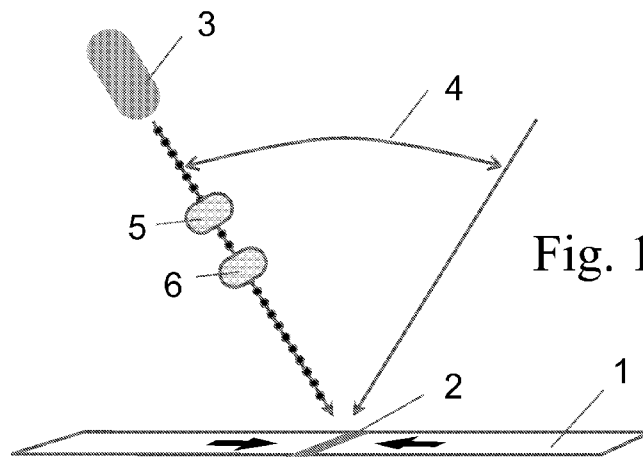


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method and assembly for spin wave excitation in ferro- or ferrimagnetic solid bodies, such as in a magnetic conductor path or in a magnetic nanowire. The invention is in particular applicable for signal and information transport on the basis of propagating spin waves in electrical switch circuits and components and in the field of the implementation of logical circuits. The aim of the invention is to provide a method for spin wave excitation by means of which spin wave types of the same type can be reproducibly excited in simply structured solid bodies without using electrical currents, magnetic fields and heat effects. Included in said aim is the creation of an advantageously usable assembly for carrying out the novel method. The method according to the invention is characterized in that a domain wall, spatially fixed in a magnetic solid body, is illuminated by polarized, pulsed laser light using the inverse magneto-optical gradient effect, wherein the illumination of the domain wall takes place in vertical incidence in the case of magnetized domains in the plane of the solid body and in angled incidence in the case of magnetized domains perpendicular to the solid body plane, especially avoiding heat input into the solid body.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2012/019806 A1

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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- mit geänderten Ansprüchen und Erklärung gemäss Artikel 19 Absatz 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Spinwellenanregung in ferro- oder ferrimagnetischen Festkörpern, beispielsweise in einer magnetischen Leiterbahn oder in einem magnetischen Nanodraht. Die Erfindung ist insbesondere anwendbar zum Signal- und Informationstransport auf der Basis propagierender Spinwellen in elektrischen Schaltkreisen und Bauelementen sowie im Bereich der Realisierung von logischen Schaltungen. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Spinwellenanregung zu schaffen, mit dem Spinwellentypen des gleichen Typs reproduzierbar in einfach aufgebauten Festkörpern ohne die Nutzung elektrischer Ströme, magnetischer Felder und Wärmeeffekte angeregt werden können. Eingeschlossen in diese Aufgabe ist die Schaffung einer zur Durchführung des neuen Verfahrens vorteilhaft einsetzbaren Anordnung. Das erfindungsgemäße Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass eine in einem magnetischen Festkörper örtlich fixierte Domänenwand unter Nutzung des inversen magneto - optischen Gradienteneffektes mit polarisiertem gepulsten Laserlicht beleuchtet wird, wobei die Beleuchtung der Domänenwand in senkrechter Inzidenz bei in der Ebene des Festkörpers magnetisierten Domänen und in schräger Inzidenz im Falle senkrecht zur Festkörperebene magnetisierter Domänen speziell unter Vermeidung eines Wärmeeintrages in den Festkörper vorgenommen wird.

5

10

Verfahren und Anordnung zur Anregung von Spinwellen in magnetischen Festkörpern

Technisches Gebiet

15 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Spinwellenanregung in ferro- oder ferrimagnetischen Festkörpern, beispielsweise in einer magnetischen Leiterbahn oder in einem magnetischen Nanodraht. Die Erfindung ist insbesondere
anwendbar zum Signal- und Informationstransport auf der Basis propagierender Spinwellen in elektrischen Schaltkreisen und Bauelementen sowie im Bereich der
20 Realisierung von logischen Schaltungen.

Stand der Technik

Elektronen besitzen neben einer elektrischen Ladung einen Eigendrehimpuls, den so genannten Spin. Das auf diese Weise in einem magnetischen Festkörper bestehende
25 Spinsystem kann durch eine externe pulsierende Energiezufuhr derart angeregt werden, dass sich eine kollektive Bewegung der Spins in Form einer Welle im Festkörper ausbildet und beispielsweise als Spinwellenpaket fortpflanzt. Dies ist sowohl in elektrisch leitfähigen magnetischen Festkörpern als auch in elektrisch
isolierenden magnetischen Festkörpern möglich. Durch sich ausbreitende
30 Spinwellenpakete, die man auch als Spinwellenstrom interpretieren kann, können Signale und Informationen im Festkörper transportiert werden, was konventionell nur durch elektrische Ströme oder Licht in Lichtleitern (z.B. Glasfasern) realisierbar ist.

Es ist bereits bekannt, Spinwellen mittels magnetischer Wechselfelder anzuregen.
35 Beispielsweise wurden dazu an die beiden Enden eines Streifens aus dem magnetischen Material $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ (Permalloy) sinusförmige magnetische Wechselfelder im GHz-Bereich angelegt. Dabei führt die durch den Permalloystreifen gepumpte Energie zur Anregung der Spinwellen (S. J. Hermsdörfer, Untersuchungen zur

Wechselwirkung von Spinwellen und Domänenwänden in dünnen magnetischen Strukturen, Dissertation Dezember 2009, S. 70-75, Technische Universität Kaiserslautern).

- 5 Bekannt ist auch die Anregung von Spinwellen durch Einwirkung von Mikrowellen auf magnetische Festkörper (M. Rohmer, Untersuchungen an mikrowellenangeregten Spinwellen, Diplomarbeit April 1998, Technische Universität Kaiserslautern).

- 10 Bekannt ist weiterhin die Erzeugung von Spinwellen durch die Magnetfeldanregung magnetischer Wirbel und Gegenwirbel in kreisförmig ausgebildeten magnetischen Schichtelementen. Die angeregten Wirbel generieren dabei in einem angekoppelten Nanodraht Spinwellen (US 2008/0231392 A1; WO 2007/037625 A1).

- 15 Weiterhin ist es bekannt, Spinwellen durch die Methode des Spinpumpens in den Festkörper zu übertragen. Dabei wird ein Spindrehmoment, welches aus einer magnetfeld-induzierten Präzessionsbewegung der Magnetisierung herrührt, auf den Spin der Leitungselektronen des magnetischen Festkörpers übertragen. Durch die Nutzung von Metall/Isolator Grenzschichten ist es möglich, damit auch in elektrisch isolierenden magnetischen Festkörpern Spinwellen zu erzeugen (Y. Kajiwara et al.,
20 Transmission of electrical signals by spin-wave interconversion in a magnetic insulator, Nature 464, 2010).

- Bei allen diesen bekannten Verfahren wird ein elektrischer Strom in ein Magnetfeld umgewandelt, welches schließlich das Spinsignal erzeugt. Diese Verfahren haben den
25 Nachteil, dass

- (i) durch die notwendigen elektrischen Ströme eine oft erhebliche Erwärmung des Bauelementes auftritt,
(ii) durch die indirekte Erzeugung der Spinwellen über elektrische Ströme eine Zeitverzögerung auftritt, welche die Geschwindigkeit von elektrischen Schaltungen
30 begrenzt und
(iii) der nicht-lokale Charakter der anregenden Magnetfelder sowie eine erforderliche Mindestgröße der Leiterbahnen, in welchen ein elektrischer Strom ein anregendes Magnetfeld erzeugt, einer sehr hohen räumlichen Integrationsdichte der spinwellengenerierenden Elemente entgegensteht.

Es ist auch bereits eine Methode zur Anregung von Spinwellen durch einen gepulsten Laserstrahl in austauschgekoppelten Schichten bekannt (Keoki A. Seu, Hailong Huang, and Anne C. Reilly: Ultrafast laser excitation of spin waves by permanent
5 modification of the exchange bias interaction in IRMn/Co, cond-mat.mtrl-sci, 04. Nov. 2005, S. 1 – 5). Die austauschgekoppelten Schichten bilden dabei einen Verbund aus einer ferromagnetischen Schicht und einer antiferromagnetischen Schicht, wobei das Laserlicht insbesondere mit der Grenzschicht des Schichtsystems wechselwirkt. Ausgenutzt wird hierbei der vom Laserlicht bewirkte Wärmeeintrag in das
10 Schichtsystem. Der Wärmeeintrag verändert die Austauschkopplung zwischen den Schichten, wodurch Spinwellen angeregt werden. Da der Wärmeeintrag zu einer permanenten, nicht reversiblen Veränderung des Materials und damit der Austauschkopplung führt, kann mit dieser Methode jeweils nur einmalig, d.h. nicht-reproduzierbar, ein bestimmter Spinwellentyp angeregt werden.

15

Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Spinwellenanregung zu schaffen, mit dem Spinwellentypen des gleichen Typs reproduzierbar in einfach
20 aufgebauten Festkörpern ohne die Nutzung elektrischer Ströme, magnetischer Felder und Wärmeeffekte angeregt werden können. Eingeschlossen in diese Aufgabe ist die Schaffung einer zur Durchführung des neuen Verfahrens vorteilhaft einsetzbaren Anordnung.

Diese Aufgabe wird mit den in den Patentansprüchen enthaltenen Merkmalen gelöst,
25 wobei die Erfindung auch Kombinationen der einzelnen abhängigen Ansprüche im Sinne einer UND-Verknüpfung mit einschließt.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass eine in einem magnetischen Festkörper örtlich fixierte Domänenwand unter Nutzung des inversen
30 magneto-optischen Gradienteneffektes mit polarisiertem gepulsten Laserlicht beleuchtet wird, wobei die Beleuchtung in senkrechter Inzidenz bei in der Ebene des Festkörpers magnetisierten Domänen und in schräger Inzidenz im Falle senkrecht zur Festkörperebene magnetisierter Domänen vorgenommen wird.

Zur Anregung der Spinwellen wird erfindungsgemäß der inverse magneto-optische Gradienteneffekt genutzt. Dabei handelt es sich um eine Umkehr des direkten Gradienteneffektes, eines magneto-optischen Doppelbrechungseffektes, der von lokalen Änderungen der Magnetisierung hervorgerufen wird. Der direkte

5 Gradienteneffekt äußert sich als Linienkontrast am Ort einer Domänenwand in einem ferro- oder ferrimagnetischen Material, wenn man die Wand – entsprechend der Symmetrie des Effektes – geeignet in einem optischen Polarisationsmikroskop mit linear polarisiertem Licht beleuchtet (R. Schäfer and A. Hubert, A new magneto-optical effect related to non-uniform magnetization on the surface of a ferromagnet. Phys. Stat. Sol.(a) **118**, 271-288 (1990) und R. Schäfer, C. Hamann, J. McCord, L. Schultz and V. Kambersky, Magneto-optical gradient effect in exchange-biased thin film: experimental evidence for classical diffraction theory. Submitted to New Journal of Phys. (2010)). Das am Ort der Domänenwand reflektierte Licht ist dabei oft elliptisch polarisiert.

15

Die vorliegende Erfindung geht von der Idee aus, den Gradienteneffekt zu invertieren. Erfindungsgemäß wird dazu eine planar-magnetisierte Domänenstruktur senkrecht mit linear polarisiertem Licht beleuchtet, oder eine senkrecht magnetisierte Domänenstruktur schräg mit linear polarisiertem Licht beleuchtet, welches man

20 eventuell (aber nicht notwendigerweise) vorher mittels eines Phasenschiebers elliptisch oder zirkular polarisiert. Der dabei auftretende inverse Gradienteneffekt bewirkt bei geeigneter Drehrichtung des einfallenden Lichtes und bei geeigneter Orientierung der Domänenwand entsprechend dem dielektrischen Gesetz des Gradienteneffektes eine Änderung vorhandener Magnetisierungsgradienten, was sich

25 insbesondere auf vorhandene Domänenwände auswirkt. Am Ort einer Domänenwand wird eine Gradientenänderung dadurch hervorgerufen, dass sich die Magnetisierung in unmittelbarer Umgebung der Wand etwas dreht. Dadurch werden zu beiden Seiten der Wand Spinwellen ausgelöst, die sich dann von der Wand weg im ferro- oder ferrimagnetischen Festkörper ausbreiten.

30

Ein wesentliches Merkmal für die Nutzung des inversen magneto-optischen Gradienteneffektes und damit für die Funktion des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass die mit dem polarisierten gepulsten Laserlicht beleuchtete

Domänenwand in dem magnetischen Festkörper örtlich fixiert ist. In der Regel sind Domänenwände bekanntlich nicht fixiert, sondern relativ leicht beweglich. Die vorliegende Erfindung beinhaltet zweckmäßige technische Maßnahmen zum Fixieren der Domänenwand im Festkörper.

5

Ein weiteres wesentliches Merkmal der Erfindung besteht darin, dass die örtlich fixierte Domänenwand unter Vermeidung eines Wärmeeintrages in den Festkörper mit dem polarisierten gepulsten Laserlicht beleuchtet wird. Die Bedingung der Vermeidung eines Wärmeeintrages in den Festkörper kann in zweckmäßiger Weise mittels der Wahl der Wellenlänge, der Pulsdauer und/oder der Fluenz des gepulsten Laserlichtes realisiert werden.

10

Gemäß der Erfindung wird zur Beleuchtung des Festkörpers linear polarisiertes, elliptisch polarisiertes oder zirkular polarisiertes gepulstes Laserlicht verwendet.

15

Das Laserlicht kann ein gepulster Laserstrahl mit einer Pulsdauer im Picosekunden- oder Femtosekundenbereich sein.

Die Polarisationsrichtung oder der Polarisationsdrehsinn des Laserstrahls kann während der Beleuchtung gewechselt werden.

20

Als magnetischer Festkörper wird ein ferro- oder ferrimagnetisches Material verwendet, in dem die mit dem Laserlicht beleuchtete Domänenwand durch eine Materialbearbeitung mittels einer Prägung oder Abbiegung des Festkörpers oder durch eine lokale Veränderung der magnetischen Eigenschaften mittels Ionenimplantation oder mittels Eintempnern der Domänenwand mittels einer Wärmebehandlung örtlich fixiert ist.

25

Erfindungsgemäß erfolgt zur Erzeugung von Spinwellen mit unterschiedlicher Charakteristik die Beleuchtung auf Domänenwände mit dementsprechend unterschiedlichem Charakter, nämlich einer örtlich fixierten Domänenwand mit Néelcharakter oder mit Stachelwandcharakter oder mit Blochcharakter oder mit asymmetrischem Blochcharakter oder mit Wirbelcharakter.

30

Die erfindungsgemäße Anordnung zur Anregung von Spinwellen in einem magnetischen Festkörper enthält eine Puls laserquelle zur Beleuchtung einer in einem Festkörper örtlich fixierten Domänenwand mit einem polarisierten Laserstrahl, wobei die Puls laserquelle ein Femtosekunden- oder Pikosekundenlaser ist.

5

Erfindungsgemäß ist im Laserstrahl eine Einrichtung zur Veränderung der Polarisation des Laserstrahls angeordnet. Diese Einrichtung kann ein Phasenschieber sein, mit dem eine lineare oder elliptische oder zirkulare Polarisation des Laserlichtes eingestellt werden kann.

10

Erfindungsgemäß ist im Laserstrahl auch eine Einrichtung zur Veränderung des Fokusses des Laserstrahls angeordnet.

15

Ein weiteres Merkmal der erfindungsgemäßen Anordnung besteht darin, dass der Laserstrahl mittels einer schwenkbar ausgebildeten Puls laserquelle oder mittels einer Spiegelanordnung in senkrechter oder in schräger Inzidenz auf die Oberfläche des Festkörpers richtbar ist.

20

Das erfindungsgemäße Verfahren weist gegenüber dem Stand der Technik mehrere Vorteile auf.

25

Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, dass Spinwellen optisch durch Beleuchtung mit einem gepulsten Laser angeregt werden. Dadurch sind keine elektrischen Ströme zur Magnetfelderzeugung erforderlich und es entfällt die den bekannten Lösungen anhaftende nachteilige Erwärmung infolge des Stromdurchflusses. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass durch die direkte Art der Anregung die dem Stand der Technik anhaftenden Zeitverzögerungen wegfallen. Vorteilhaft ist weiterhin, dass keine elektrischen Leiterbahnen zur Spinwellenerzeugung erforderlich sind. Die elektrischen Schalt- und Logikkreise können dadurch weniger komplex gestaltet werden und es ist eine höhere Integrationsdichte möglich.

30

Gegenüber der bekannten Methode zur Spinwellenanregung, bei der durch einen gepulsten Laserstrahl die Austauschkopplung an der Grenzschicht von austauschgekoppelten Schichtsystemen mittels Wärmeeintrag modifiziert wird, hat die vorliegende Erfindung ebenfalls Vorteile. Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, dass

Schichtsysteme nicht erforderlich sind, da erfindungsgemäß die Spinwellen in
Einfachschichten erzeugt werden. Hinzu kommt, dass die vorliegende Erfindung nicht
auf Wärmeeffekte für die Spinwellenerzeugung angewiesen ist, welche zudem zu
permanenten Änderungen des Materials führen. Erfindungsgemäß werden die
5 Spinwellen rein optisch, also völlig athermisch erzeugt. Auf Grund der Tatsache, dass
bei der vorliegenden Erfindung keine permanente Änderung des Materials eintritt, wird
das Verfahren nicht auf die einmalige Anregung nur eines bestimmten Spinwellentyps
fixiert.

Ausführungsbeispiele

10 Nachstehend wird die Erfindung an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert. In der
zugehörigen Zeichnung zeigen

Fig. 1: die Prinzipdarstellung einer Anordnung zur Anregung von Spinwellen in einer
magnetischen Spinwellenleiterbahn,

15

Figur 2: drei Beispiele von weiteren zur Spinwellenanregung geeigneten
magnetischen Spinwellenleiterbahnen.

Die in Fig. 1 dargestellte Anordnung dient zur Anregung von Spinwellen in einem aus
20 einem ferromagnetischen Material bestehenden Festkörper, der eine
Spinwellenleiterbahn 1 ist. Bei dem ferromagnetischen Material handelt es sich um
 $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ (Permalloy).

Die Spinwellenleiterbahn 1 weist eine örtlich fixierte Domänenwand 2 auf, welche
25 zwei senkrecht zueinander magnetisierte Domänen trennt. Die örtliche Fixierung der
Domänenwand ist hierbei mittels Ionenimplantation vorgenommen worden.

Die Puls laserquelle 3 erzeugt einen gepulsten Laserstrahl mit einer Pulsdauer im
30 Picosekundenbereich, mit dem die örtlich fixierte Domänenwand 2 beleuchtet wird.

30

Die Puls laserquelle 3 ist mittels einer in der Zeichnung nicht dargestellten
mechanischen oder optischen Vorrichtung über einen Winkel 4 schwenkbar
ausgeführt. Damit wird der Laserstrahl in senkrechter Inzidenz im Falle der im Beispiel
vorliegenden parallel zur Spinwellenleiterbahnebene magnetisierten Domänen oder in

schräger Inzidenz bei senkrecht zur Ebene der Spinwellenleiterbahn magnetisierten Domänen auf die Domänenwand ausgerichtet.

5 Im Laserstrahl weist die Anordnung eine erste Einrichtung 5 zur Veränderung der Polarisierung des Laserstrahls auf, welche ein Phasenschieber ist, mit dem eine elliptische oder eine zirkuläre Polarisierung des Laserlichtes eingestellt werden kann.

Außerdem weist die Anordnung im Laserstrahl noch eine zweite Einrichtung 6 auf, mit der der Fokus des Laserstrahls verändert werden kann.

10

Mit dem polarisierten gepulsten Laserlicht erfolgt an der in der Spinwellenleiterbahn 1 örtlich fixierten Domänenwand 2 ein dosierter Energieeintrag, der eine kollektive Bewegung der am Ort der Domänenwand in der Leiterbahn vorhandenen Spins in Form einer Welle auslöst, der aber so dosiert ist, dass er keinen Wärmeeintrag
15 verursacht. Dabei findet faktisch eine Umkehr des bekannten magneto-optischen Gradienteneffektes statt.

20

Die Bedingung der Vermeidung eines Wärmeeintrages in den Festkörper wird mittels der Wahl der Wellenlänge, der Pulsdauer und/oder der Fluenz des gepulsten Laserlichtes realisiert.

Die erzeugte Spinwelle wird vorteilhaft zum Signal- und Informationstransport in der Spinwellenleiterbahn 1 genutzt.

25

Die in Fig. 2 dargestellten Spinwellenleiterbahnen bestehen aus ferro- oder ferrimagnetischem Material und weisen jeweils eine örtlich fixierte Domänenwand 2 auf. Bei der oberen Spinwellenleiterbahn ist die örtliche Fixierung der Domänenwand 2 mittels einer Prägung realisiert. Bei der darunter dargestellten Spinwellenleiterbahn ist die örtliche Fixierung der Domänenwand 2 in einfacher Weise
30 mit Hilfe einer Abbiegung realisiert. Bei der unteren Spinwellenleiterbahn ist die Domänenwand 2 in einem kreisscheibenförmig geformten Ende der Leiterbahn fixiert.

5

10

Patentansprüche

1. Verfahren zur Anregung von Spinwellen in magnetischen Festkörpern, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine in einem magnetischen Festkörper örtlich fixierte Domänenwand unter Nutzung des inversen magneto-optischen Gradienteneffektes mit polarisiertem gepulstem Laserlicht beleuchtet wird, wobei die Beleuchtung in senkrechter Inzidenz bei in der Ebene des Festkörpers magnetisierten Domänen und in schräger Inzidenz im Falle senkrecht zur Festkörperebene magnetisierter Domänen vorgenommen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die örtlich fixierte Domänenwand unter Vermeidung eines Wärmeeintrages in den Festkörper mit dem polarisierten gepulsten Laserlicht beleuchtet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bedingung der Vermeidung eines Wärmeeintrages in den Festkörper mittels der Wahl der Wellenlänge, der Pulsdauer und/oder der Fluenz des gepulsten Laserlichtes realisiert wird.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Beleuchtung des Festkörpers linear polarisiertes, elliptisch polarisiertes oder zirkular polarisiertes gepulstes Laserlicht verwendet wird.

35

5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Beleuchtung ein gepulster Laserstrahl mit einer Pulsdauer im Picosekunden- oder Femtosekundenbereich verwendet wird.
- 5 6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Polarisationsrichtung oder der Polarisationsdrehsinn des Laserstrahls während der Beleuchtung gewechselt wird.
- 10 7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass als magnetischer Festkörper ein ferro- oder ferrimagnetisches Material verwendet wird.
- 15 8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Festkörper verwendet wird, in dem die mit dem Laserlicht beleuchtete Domänenwand durch eine Materialbearbeitung mittels einer Prägung oder Abbiegung des Festkörpers oder durch eine lokale Veränderung der magnetischen Eigenschaften mittels Ionenimplantation oder mittels Eintempem der Domänenwand mittels einer Wärmebehandlung örtlich fixiert ist.
- 20 9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Erzeugung von Spinwellen mit unterschiedlicher Charakteristik die Beleuchtung erfolgt auf Domänenwände mit dementsprechend unterschiedlichem Charakter, nämlich einer örtlich fixierten Domänenwand mit Néelcharakter oder mit Stachelwandcharakter oder mit Blochcharakter oder mit asymmetrischem Blochcharakter oder mit Wirbelcharakter.
- 25 10. Anordnung zur Anregung von Spinwellen in einem magnetischen Festkörper (1), **gekennzeichnet durch** eine Puls laserquelle (3) zur Beleuchtung einer in einem Festkörper (1) örtlich fixierten Domänenwand (2) mit einem polarisierten Laserstrahl, wobei die Puls laserquelle ein Femtosekunden- oder Pikosekundenlaser ist.
- 30

11. Anordnung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Laserstrahl eine Einrichtung (5) zur Veränderung der Polarisation des Laserstrahls angeordnet ist.
- 5 12. Anordnung nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einrichtung (5) zur Einstellung der Veränderung der Polarisation des Laserstrahls ein Phasenschieber für die Einstellung einer linearen oder elliptischen oder zirkularen Polarisation des Laserlichtes ist.
- 10 13. Anordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Laserstrahl eine Einrichtung (6) zur Veränderung des Fokusses des Laserstrahls angeordnet ist.
- 15 14. Anordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laserstrahl mittels einer schwenkbar ausgebildeten Puls laserquelle oder mittels einer Spiegelanordnung in senkrechter oder in schräger Inzidenz auf die Oberfläche des Festkörpers (1) richtbar ist.

GEÄNDERTE ANSPRÜCHE
beim Internationalen Büro eingegangen am 31 Oktober 2011 (31.10.2011)

1. Verfahren zur Anregung von Spinwellen in magnetischen Festkörpern, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem magnetischen Festkörper, der aus ferri- oder ferromagnetischem Material besteht, eine örtlich fixierte Domänenwand unter Nutzung des inversen magneto-optischen Gradienteneffektes und unter Vermeidung eines Wärmeeintrages in den Festkörper mit polarisiertem gepulsten Laserlicht beleuchtet wird, wobei die Beleuchtung in senkrechter Inzidenz bei in der Ebene des Festkörpers magnetisierten Domänen und in schräger Inzidenz im Falle senkrecht zur Festkörperebene magnetisierter Domänen vorgenommen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bedingung der Vermeidung eines Wärmeeintrages in den Festkörper mittels der Wahl der Wellenlänge, der Pulsdauer und/oder der Fluenz des gepulsten Laserlichtes realisiert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Beleuchtung des Festkörpers linear polarisiertes, elliptisch polarisiertes oder zirkular polarisiertes gepulstes Laserlicht verwendet wird.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Beleuchtung ein gepulster Laserstrahl mit einer Pulsdauer im Picosekunden- oder Femtosekundenbereich verwendet wird.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Polarisationsrichtung oder der Polarisationsdrehsinn des Laserstrahls während der Beleuchtung gewechselt wird.
6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Festkörper verwendet wird, in dem die mit dem Laserlicht beleuchtete Domänenwand durch eine Materialbearbeitung mittels einer Prägung oder Abbiegung des Festkörpers oder durch eine lokale Veränderung der magnetischen Eigenschaften mittels Ionenimplantation oder mittels Eintempnen der Domänenwand mittels einer Wärmebehandlung örtlich fixiert ist.
7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Erzeugung von Spinwellen mit unterschiedlicher Charakteristik die Beleuchtung erfolgt auf Domänenwände mit dementsprechend unterschiedlichem Charakter, nämlich einer örtlich fixierten Domänenwand mit Néelcharakter oder mit Stachelwandcharakter oder mit Blochcharakter oder mit asymmetrischem Blochcharakter oder mit Wirbelcharakter.
8. Anordnung zur Anregung von Spinwellen in einem magnetischen Festkörper (1) nach Anspruch 1, bestehend aus einem ferri- oder ferromagnetischen Festkörper (1), der eine örtlich fixierte Domänenwand (2) aufweist, und einer Pulslaserquelle (3) zur Beleuchtung der örtlich fixierten Domänenwand (2) mit einem polarisierten gepulsten Laserstrahl unter Vermeidung eines Wärmeeintrages in den Festkörper, wobei die Pulslaserquelle ein Femtosekunden- oder Pikosekundenlaser ist.
9. Anordnung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Festkörper (1) verwendet ist, in dem die mit dem Laserstrahl beleuchtete Domänenwand (2) durch eine Materialbearbeitung mittels einer Prägung oder Abbiegung des Festkörpers (1) oder durch eine lokale Veränderung der magnetischen Eigenschaften mittels Ionenimplantation oder mittels Eintempnen der Domänenwand mittels einer Wärmebehandlung örtlich fixiert ist.

10. Anordnung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Laserstrahl eine Einrichtung (5) zur Veränderung der Polarisierung des Laserstrahls angeordnet ist.
11. Anordnung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einrichtung (5) zur Einstellung der Veränderung der Polarisierung des Laserstrahls ein Phasenschieber für die Einstellung einer linearen oder elliptischen oder zirkularen Polarisierung des Laserlichtes ist.
12. Anordnung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Laserstrahl eine Einrichtung (6) zur Veränderung des Fokusses des Laserstrahls angeordnet ist.
13. Anordnung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laserstrahl mittels einer schwenkbar ausgebildeten Puls laserquelle oder mittels einer Spiegelanordnung in senkrechter oder in schräger Inzidenz auf die Oberfläche des Festkörpers (1) richtbar ist.

Erklärung nach Artikel 19 Absatz 1 PCT

A. Zu den Änderungen in den Patentansprüchen:

1. In den Anspruch 1 wurden die Merkmale der ursprünglichen Ansprüche 2 und 7 eingearbeitet,
2. der Anordnungshauptanspruch (= Anspruch 8) ist jetzt auf den Verfahrenshauptanspruch (= Anspruch 1) rückbezogen,
3. in den Anordnungshauptanspruchs wurde analog zum Verfahrenshauptanspruch das Merkmal der Vermeidung eines Wärmeeintrages in den Festkörper aufgenommen,
4. in Anlehnung an den Verfahrensunteranspruch 6 wurde ein zusätzlicher Anordnungsunteranspruch eingefügt (= Anspruch 9).

B. Zur Abgrenzung der Anmeldung gegenüber dem Dokument D1:

D1 beschreibt eine Anordnung zur Anregung von Spinwellen in einem **antiferromagnetischen** Festkörper, während erfindungsgemäß Spinwellen in ferro- oder ferrimagnetische Festkörpern angeregt werden.

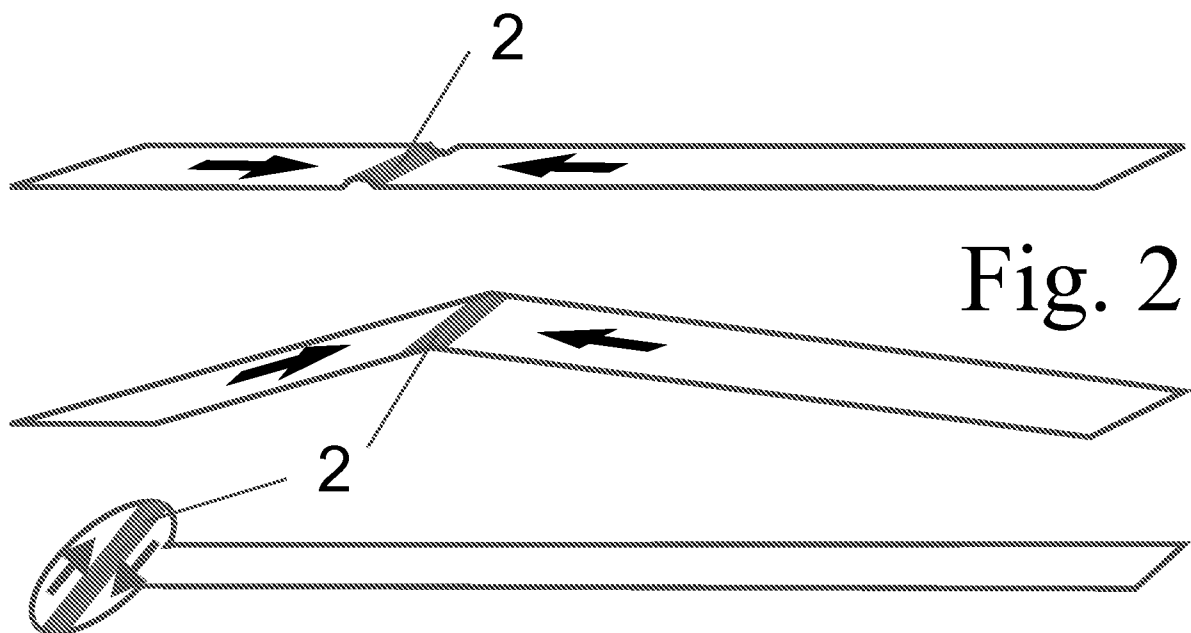
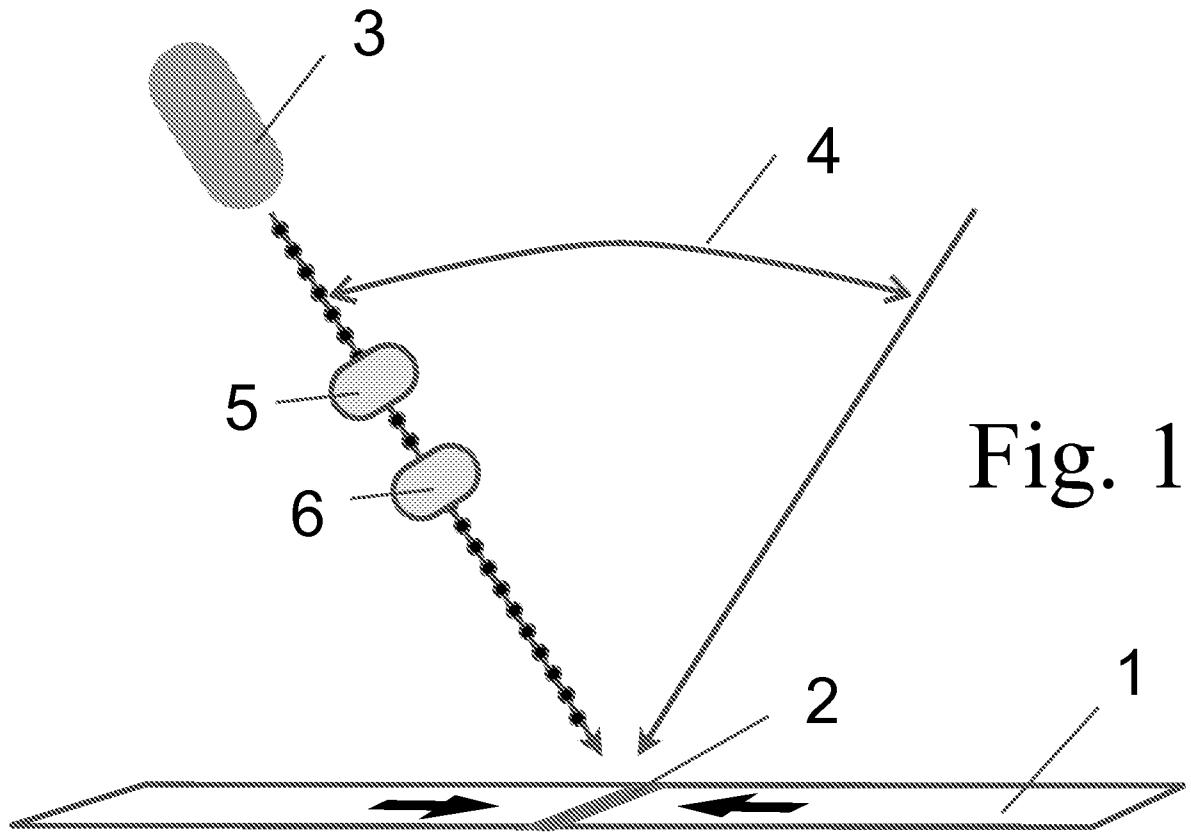
Für den Fachmann ist eine Übertragung der aus D1 bekannten Anordnung auf die Spinwellenanregung in ferro- oder ferrimagnetischen Festkörpern aus folgenden Gründen nicht naheliegend:

In einem Antiferromagneten trennt eine Domänenwand zwei Bereiche, die beide keine Nettomagnetisierung haben. Demgegenüber handelt es sich bei einem Ferro- oder Ferrimagneten um eine ganz andere Art einer Domänenwand, da diese zwei Bereiche mit unterschiedlicher Nettomagnetisierung trennt.

Hinzu kommt, dass beim Antiferromagneten im Gegensatz zum Ferro- oder Ferrimagneten kein Magnetisierungsgradient über die Domänenwand existiert, so dass es dort keinen Gradienteneffekt und damit auch keinen inversen Gradienteneffekt gibt. Die Spinwellenanregung basiert beim Anmeldungsgegenstand aber gerade auf der Nutzung des inversen Gradienteneffektes.

C. Zum Merkmal „örtlich fixierte Domänenwand“:

Für die erfindungsgemäße Erzeugung der Spinwellen ist es funktionswesentlich, dass die Beleuchtung der speziellen Domänenwand, wie sie nur in ferro- oder ferrimagnetischen Festkörpern vorhanden ist, auch an einer Stelle auftritt, an der eine solche Domänenwand existiert. Um diese Stelle sicher zu realisieren, wird anmeldungsgemäß eine Domänenwand im Festkörper örtlich fixiert. Der Hinweis auf das Fixieren dürfte dem Fachmann, der sich mit den physikalischen Eigenschaften ferro- oder ferrimagnetischer Materialien auskennt, eine ausreichend klare Lehre zum Handeln vermitteln, zumal mit den Merkmalen der Unteransprüche 6 und 9 einige konkrete Lehren für das Pinnen von Domänenwänden aufgezeigt werden.



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/059667

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G11C13/06 G11C19/08 G11B11/105
ADD.
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)
G11C G11B
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 practical, search terms used)
EPO-Internal, INSPEC, WPI Data, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	TAKUYA SATOH ET AL: "Spin Oscillations in Antiferromagnetic NiO Triggered by Circularly Polarized Light", PHYSICAL REVIEW LETTERS, vol. 105, no. 7, 11 August 2010 (2010-08-11), pages 077402-1-077402-4, XP55006207, ISSN: 0031-9007, DOI: 10.1103/PhysRevLett.105.077402	10-14
A	pages 077402-1, left-hand column, paragraph 2 - pages 077402-2, right-hand column, paragraph 1; figures 1,2 ----- -/--	1-9

Further documents are listed in the continuation of Box C. 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 document 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 6 September 2011	Date of mailing of the international search report 13/09/2011
--	---

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Colling, Pierre
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/059667

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	HERMSDOERFER SEBASTIAN ET AL: "A spin-wave frequency doubler by domain wall oscillation", APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US, vol. 94, no. 22, 4 June 2009 (2009-06-04), pages 223510-1-223510-3, XP012121538, ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.3143225 abstract	10-14
A	----- ANDREAS VOGEL ET AL: "Domain-Wall Pinning and Depinning at Soft Spots in Magnetic Nanowires", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 46, no. 6, 1 June 2010 (2010-06-01), pages 1708-1710, XP011309762, ISSN: 0018-9464, DOI: 10.1109/TMAG.2010.2042285 page 1708, left-hand column, paragraph 1 - right-hand column, paragraph 1 page 1710, left-hand column, paragraph 3	1,8,10
A	----- ANDREI I KIRILYUK ET AL: "Ultrafast Opto-Magnetic Excitation of Magnetization Dynamics", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 44, no. 7, 1 July 2008 (2008-07-01), pages 1905-1910, XP011216505, ISSN: 0018-9464 the whole document	1,10
A	----- WO 2007/136243 A1 (STICHTING KATHOLIEKE UNIV [NL]; RASING THEODORUS HENRICUS MARI [NL]; K) 29 November 2007 (2007-11-29) page 2, line 2 - line 30; claims 1,15 -----	1,10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2011/059667

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2007136243	A1	29-11-2007	
		AT 478419 T	15-09-2010
		CA 2653437 A1	29-11-2007
		CN 101529514 A	09-09-2009
		EP 2030202 A1	04-03-2009
		JP 2009538490 A	05-11-2009
		US 2011058458 A1	10-03-2011

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G11C13/06 G11C19/08 G11B11/105 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G11C G11B		
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, INSPEC, WPI Data, COMPENDEX		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	TAKUYA SATOH ET AL: "Spin Oscillations in Antiferromagnetic NiO Triggered by Circularly Polarized Light", PHYSICAL REVIEW LETTERS, Bd. 105, Nr. 7, 11. August 2010 (2010-08-11), Seiten 077402-1-077402-4, XP55006207, ISSN: 0031-9007, DOI: 10.1103/PhysRevLett.105.077402	10-14
A	Seiten 077402-1, linke Spalte, Absatz 2 - Seiten 077402-2, rechte Spalte, Absatz 1; Abbildungen 1,2 ----- -/--	1-9
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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" älteres Dokument, 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 anderen 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	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts	
6. September 2011	13/09/2011	
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 Colling, Pierre	

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	HERMSDOERFER SEBASTIAN ET AL: "A spin-wave frequency doubler by domain wall oscillation", APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US, Bd. 94, Nr. 22, 4. Juni 2009 (2009-06-04), Seiten 223510-1-223510-3, XP012121538, ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.3143225 Zusammenfassung -----	10-14
A	ANDREAS VOGEL ET AL: "Domain-Wall Pinning and Depinning at Soft Spots in Magnetic Nanowires", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, Bd. 46, Nr. 6, 1. Juni 2010 (2010-06-01), Seiten 1708-1710, XP011309762, ISSN: 0018-9464, DOI: 10.1109/TMAG.2010.2042285 Seite 1708, linke Spalte, Absatz 1 - rechte Spalte, Absatz 1 Seite 1710, linke Spalte, Absatz 3 -----	1,8,10
A	ANDREI I KIRILYUK ET AL: "Ultrafast Opto-Magnetic Excitation of Magnetization Dynamics", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, Bd. 44, Nr. 7, 1. Juli 2008 (2008-07-01), Seiten 1905-1910, XP011216505, ISSN: 0018-9464 das ganze Dokument -----	1,10
A	WO 2007/136243 A1 (STICHTING KATHOLIEKE UNIV [NL]; RASING THEODORUS HENRICUS MARI [NL]; K) 29. November 2007 (2007-11-29) Seite 2, Zeile 2 - Zeile 30; Ansprüche 1,15 -----	1,10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2011/059667

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2007136243 A1	29-11-2007	AT 478419 T	15-09-2010
		CA 2653437 A1	29-11-2007
		CN 101529514 A	09-09-2009
		EP 2030202 A1	04-03-2009
		JP 2009538490 A	05-11-2009
		US 2011058458 A1	10-03-2011
