

(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  
5. Februar 2015 (05.02.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2015/014586 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01R 33/28 (2006.01) G01R 33/345 (2006.01)  
G01R 33/62 (2006.01) G01N 24/12 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/064747

(22) Internationales Anmeldedatum:  
9. Juli 2014 (09.07.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2013 214 930.1 30. Juli 2013 (30.07.2013) DE

(71) Anmelder: **BRUKER BIOSPIN GMBH** [DE/DE];  
Silberstreifen, 76287 Rheinstetten (DE).

(72) Erfinder: **KRAHN, Alexander**; Wilhelmstrasse 36, 76137  
Karlsruhe (DE). **ENGELKE, Frank**; Leopoldstrasse 12A,  
76287 Rheinstetten (DE).

(74) Anwalt: **KOHLER SCHMID MÖBUS**  
**PATENTANWÄLTE**; Ruppmannstrasse 27, 70565  
Stuttgart (DE).

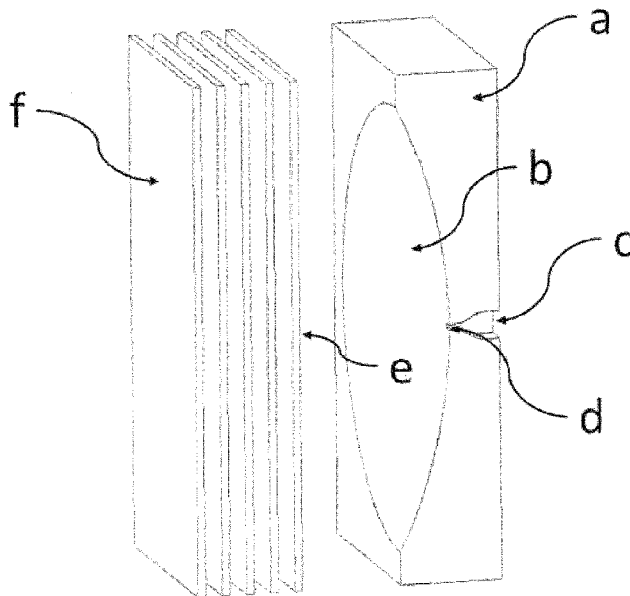
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,  
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM,  
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,  
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,  
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.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, 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).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MICROWAVE RESONATOR WITH DISTRIBUTED BRAGG REFLECTOR (=DBR)

(54) Bezeichnung : MIKROWELLENRESONATOR MIT DISTRIBUTED BRAGG REFLECTOR (=DBR)



(57) Abstract: An NMR (nuclear magnetic resonance) sample head comprising a microwave resonator comprising at least two elements which are reflective in the microwave range, at least one of which is focusing, wherein the reflective elements at least partly delimit a resonance volume of the microwave resonator, is characterized in that at least one of the reflective elements is embodied as a DBR ("Distributed Bragg Reflector"), and in that the NMR sample head comprises at least one NMR coil integrated into the DBR. Thus, an NMR detection coil can be positioned particularly near to the sample and the distortions of the static field by resonator components are reduced, such that the detection sensitivity and the spectral resolution of the experiment are significantly improved.

(57) Zusammenfassung: Ein NMR(-Kernspinresonanz)-Probenkopf mit einem Mikrowellenresonator mit mindestens zwei im Mikro Wellenbereich reflektierenden Elementen, von denen mindestens eines fokussierend ist, wobei die reflektierenden Elemente ein Resonanzvolumen des Mikrowellenresonators zumindest teilweise begrenzen, ist dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines der reflektierenden Elemente als DBR („Distributed Bragg Reflector“)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

Fig. 1



---

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

---

= „verteilter Bragg Reflektor“) ausgebildet ist, und dass der NMR-Probenkopf mindestens eine NMR-Spule umfasst, die in den DBR integriert ist. Damit kann eine NMR-Detektionsspule besonders nahe an der Probe platziert werden und die Verzerrungen des statischen Feldes durch Resonatorkomponenten werden verringert, so dass die Detektionsempfindlichkeit und die spektrale Auflösung des Experimentes deutlich verbessert werden.

5

10

**Mikrowellenresonator mit Distributed Bragg Reflector (=DBR)**

15

Die Erfindung betrifft einen NMR(=Kernspinresonanz)-Probenkopf mit einem  
Mikrowellenresonator mit mindestens zwei im Mikrowellenbereich  
20 reflektierenden Elementen, von denen mindestens eines fokussierend ist,  
wobei die reflektierenden Elemente ein Resonanzvolumen des  
Mikrowellenresonators zumindest teilweise begrenzen.

Eine solche Anordnung ist etwa bekannt aus US 2011/0050225 A1 (= Referenz [2]), wo die Verwendung eines Fabry-Perot Resonators (FP) im Feld der DNP-NMR/EPR beschrieben ist.

## 5 Hintergrund der Erfindung

### Fabry-Perot Resonator

Ein Fabry-Pérot Resonator besteht typischerweise aus zwei parallelen  
 10 metallischen Spiegeln die sich mit dem Abstand  $L$  gegenüber stehen. In quasi-optischen Systemen können einer oder beide Spiegel sphärisch (mit dem Krümmungsradius  $R_i$ ) ausgeprägt sein. Die elektromagnetische Feldverteilung innerhalb eines solchen Resonators kann durch die paraxiale Lösung der  
 15 Helmholtz Gleichung, die der Gauß'schen Optik zugrunde liegt, beschrieben werden. Die Resonanzfrequenz des FP Resonators hängt von den Krümmungsradien  $R_{1,2}$ , dem Spiegelabstand  $L$  und den gewünschten Resonanz-Moden ab. Im Sonderfall der transversal elektro-magnetischen Moden  $TEM_{mnq}$ , wird ein spezieller Mode durch die Indizes  $m$ ,  $n$ , und  $q$  eindeutig bestimmt.

20

Eine mögliche Implementierung eines FP Resonators besteht aus einem sphärischen und einem ebenen Spiegel gemäß vorliegender Figur 3, bei dem die Resonanzfrequenz gemäß Referenz [1] gegeben ist durch

$$f_r = \left[ q + \frac{m+n+1}{\pi} \left( \tan^{-1} \frac{L}{R_1 - L} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \frac{c}{2L}$$

25

30

### Verteilter Bragg Reflektor (engl. *Distributed Bragg Reflector* = „DBR“)

In der Optik ist als Alternative zu einem metallischen Spiegel auch ein als Stapel von dielektrischen Schichten mit unterschiedlicher Permittivität ausgebildetes Spiegelement bekannt, wie es in der linken Hälfte von Fig.2  
 5 gezeigt ist. Eine solcher Aufbau wird in optischen Anordnungen als verteilter Bragg Reflektor (engl. *Distributed Bragg Reflector* = „DBR“) bezeichnet. Für einen DBR ist die Reflektivität bestimmt durch die Anzahl und Permittivität der dielektrischen Lagen als

10

$$R = \left[ \frac{n_0(n_2)^{2N} - n_S(n_1)^{2N}}{n_0(n_2)^{2N} + n_S(n_1)^{2N}} \right]^2$$

15

Dabei entsprechen  $n_0$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ , und  $n_S$  den Brechungsindizes des Hintergrund-Materials, der alternierenden Lagen und des Substratmaterials (siehe etwa  
 Referenz [4]).

### Dynamische Kernpolarisation (=DNP)

20

Im Feld der Kernmagnetischen Resonanzspektroskopie gibt es experimentelle Methoden, die es erlauben, die Kern-Polarisation und damit die  
 Detektionsempfindlichkeit des Experimentes signifikant zu erhöhen. Eine dieser Methoden ist die dynamische Kernpolarisation (=DNP). Diese Technik basiert auf der Anregung von Elektronenspins in stabilen Radikalen und erfordert aufgrund des gyromagnetischen Verhältnisses des Elektronenspins die  
 25 gleichzeitige Einstrahlung eines magnetischen Mikrowellenfeldes auf einer Frequenz, die um den Faktor 660 höher als die Nukleare Larmor Frequenz der  $^1\text{H}$  Kerne ist.

Eine typische DNP-Anordnung besteht aus einer NMR Spule, die auf eine Kern-Larmor Frequenz abgestimmt wird (z.B.  $^1\text{H}$  – 400 MHz) und der gleichzeitigen Einstrahlung eines Mikrowellenfeldes auf 263 GHz. DNP-Anordnungen sind beschrieben beispielsweise in Referenz [3].

5

#### Nachteile des Standes der Technik

Das größte Problem beim gegenwärtigen Stand der Technik besteht darin, dass sich die Probe möglichst nahe an der NMR Detektions-Spule befinden sollte, während sie mit Hilfe eines Mikrowellenfeldes möglichst homogen angeregt werden soll. Während bei einem FP-Resonator eine homogene Mikrowellen-Anregung leicht realisierbar ist, verursacht das Vorhandensein eines leitfähigen Spiegels in unmittelbarer Nähe zur Probe jedoch zwei Probleme:

15

1.) Durch in den Spiegel induzierte Ströme wird das Feld der Detektionsspule verzerrt und die Detektionsempfindlichkeit reduziert.

20

2.) Der Übergang zwischen dem metallischen Spiegel und der Probe stört das äußere (statische) Magnetfeld, so dass dadurch die spektrale Auflösung des Experimentes reduziert wird.

25

#### Aufgabe der Erfindung

30

Der vorliegenden Erfindung liegt demgegenüber die Aufgabe zugrunde, einen Mikrowellenresonator der eingangs definierten Art zur Verfügung zu stellen, mit dem eine NMR-Detektionsspule möglichst nahe an der Probe platziert werden kann, und bei der die Verzerrungen des statischen Feldes durch Resonator-

komponenten verringert werden, so dass die Detektionsempfindlichkeit und die spektrale Auflösung des Experimentes deutlich verbessert werden.

5 Kurze Beschreibung der Erfindung

Diese Aufgabe wird auf überraschend einfache Art und Weise sowie mit ohne Weiteres zur Verfügung stehenden technischen Mitteln gelöst durch einen NMR-Probenkopf der eingangs genannten Art, der dadurch gekennzeichnet ist,  
10 dass mindestens eines der reflektierenden Elemente als DBR („Distributed Bragg Reflector“ = „verteilter Bragg Reflektor“) ausgebildet ist, und dass der NMR-Probenkopf mindestens eine NMR-Spule umfasst, die in den DBR integriert ist.

15 Damit ist es möglich, einen erheblich effizienteren Mikrowellenresonator bereitzustellen, da durch die Verwendung von dielektrischen Schichten in einem reflektierenden Element die Verluste gegenüber konventionell verwendeten metallischen Schichten auf einem reflektierenden Element deutlich geringer sind.

20

Weitere Vorteile gegenüber dem Stand der Technik

Im Gegensatz zum Standard FP-Resonator kann durch die erfindungsgemäße Verwendung eines DBR ein metallischer Spiegel durch eine dielektrische  
25 Komponente ersetzt werden. Ein solches Design ist insbesondere nützlich um – durch das Vorhandensein metallischer Komponenten hervorgerufene – Feldverzerrungen zu minimieren:

- Verzerrung eines externen statischen Magnetfeldes verursacht durch die  
30 Suszeptibilität des verwendeten Materials. Der Vorteil besteht darin, dass der Resonator so entworfen werden kann, dass DNP-Experimente

mit einer höheren spektralen Auflösung möglich werden (siehe beispielsweise Referenz [5]). Dazu müssen die Grenzflächen zwischen Materialien mit verschiedener Suszeptibilität parallel zum statischen Magnetfeld positioniert werden. In diesem Fall gibt es keine Verzerrung des B<sub>0</sub>-Feldes im umgebenden Volumen.

- Verzerrung und Reduktion eines HF-Feldes hervorgerufen durch einen leitfähigen (metallischen) Spiegel und die damit einhergehende Reduktion der HF-Effizienz (= NMR Detektions-Empfindlichkeit). Im Ergebnis wird eine Resonator Geometrie möglich, die eine erhöhte HF Feld-Homogenität und eine erhöhte HF-Effizienz bietet.

Erst mit einem nichtleitenden Spiegel ergibt sich die Möglichkeit, die HF-Spule im oder am Spiegel zu integrieren, da die HF-Spule dann natürlich nicht kurzgeschlossen wird. Der sich ergebende Vorteil ist die Nähe zwischen HF-Spule und Probe.

Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Mikrowellenresonators lassen sich außerdem Kanäle in die dielektrischen Schichten einbringen, die eine exakte Probenpositionierung im Maximum des magnetischen Mikrowellenfeldes erlauben.

Durch die Integration der NMR-Spule in den DBR ergibt sich eine minimale Verzerrung/Streuung/Beugung/Modenkonversion des Mikrowellen-Feldes sowie eine maximale magnetische HF-Feldamplitude in der Probe. Neben planaren Geometrien sind auch Stripline-Resonatoren für HF in den DBR integrierbar.

#### Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung

Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Mikrowellenresonators sind mindestens zwei, insbesondere sämtliche

reflektierenden Elemente fokussierend. Durch die Fokussierung wird eine erhöhte Feldamplitude bzw. Energiedichte in einem Raumpunkt erreicht.

5 Bevorzugt sind auch alternative Ausführungsformen der Erfindung, bei denen eines der reflektierenden Elemente fokussierend und eines planar ist. Die Kombination eines fokussierenden und eines planaren Elementes vereinfacht die Geometrie, wobei die Vorteile der Fokussierung weitestgehend erhalten bleiben. Darüber hinaus sind planare Strukturen einfacher herzustellen.

10 Bei einer dritten alternativen Variante ist eines der reflektierenden Elemente fokussierend und eines defokussierend. Mit einer solchen Anordnung kann das Mikrowellenfeld in beliebigen Raumbereichen (teil-) fokussiert werden.

15 Vorteilhafte Weiterbildungen dieser Ausführungsformen zeichnen sich dadurch aus, dass die Oberfläche mindestens eines der fokussierenden und/oder defokussierenden Elemente sphärisch ausgeformt ist. Eine sphärische Ausformung ist mit konventionellen Herstellungsmethoden besonders einfach herzustellen.

20 Bei einer alternativen Weiterbildung ist die Oberfläche mindestens eines der fokussierenden und/oder defokussierenden Elemente elliptisch ausgeformt. Eine elliptische Ausformung kann einen länglichen Raumbereich besser „ausleuchten“. Eine spezielle Form des fokussierenden oder defokussierenden Elementes kann durch eine spezielle Anwendung gefordert sein.

25 Eine besonders bevorzugte Ausführungsform, sieht vor, dass mindestens eines der reflektierenden Elemente eine metallische Oberfläche, vorzugsweise eine metallische Beschichtung aufweist. Metallische Beschichtungen sind herstellungstechnisch einfach auszuführen, insbesondere bei fokussierenden oder defokussierenden Elementen. Eine Schichtung von verschiedenen  
30 Materialien senkrecht zur B0-Feldrichtung kann von Vorteil sein wenn der

Resonator in einem möglichst homogenen statischen Magnetfeld betrieben werden soll.

Bevorzugt ist weiterhin eine Ausführungsform, bei der der DBR für einen Wellenlängenbereich von 10cm bis 100µm, vorzugsweise von 30mm bis 0,3mm ausgelegt ist. Damit kann die Selektion eines gewünschten Modes erreicht, bzw. der für eine Anwendung relevante Wellenlängenbereich definiert werden. Zusätzlich lassen sich auf diese Art unerwünschte Moden unterdrücken.

Besonders bevorzugt sind auch Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Mikrowellenresonators, bei denen der DBR mindestens fünf dielektrische Schichten umfasst. Bei Verwendung von genau 5 dielektrischen Schichten (Quarz, Luft) ist nämlich ein Reflexionsfaktor erreicht, der in der Größenordnung der Reflexivität von Metallschichten liegt.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Mikrowellenresonators ist an der dem Resonanzvolumen des Mikrowellenresonators abgewandten Seite des mindestens einen DBR ein Koppelement für Mikrowellenstrahlung vorgesehen. Eine Einkopplung von Mikrowellenstrahlung in das Resonatorvolumen ist notwendig, um den Resonator anzuregen. Die Geometrie der Einkopplungsstruktur bestimmt die sogenannte Resonatorgüte, mit der sich die Energiedichte im Resonator skaliert. Eine seitliche Einkopplung, etwa durch den teildurchlässigen DBR, hat den Vorteil einer effizienteren Kopplung gegenüber der klassischen Iris-Kopplung.

In den Rahmen der vorliegenden Erfindung fällt auch ein Kernspinresonanz (=NMR)-Probenkopf mit einem Mikrowellenresonator der oben beschriebenen erfindungsgemäßen Art, welcher sich dadurch auszeichnet, dass die Probenposition des Probenkopfs im Messbetrieb im Resonanzvolumen des

Mikrowellenresonators angeordnet ist. Gegenüber CW-Anregung bieten Resonatoren den Vorteil der räumlichen Trennung der Maxima von elektrischem und magnetischem Feld. Darüber hinaus wird die Feldamplitude durch die Resonatorgüte (Q-Faktor) skaliert.

5

Ganz besonders vorteilhaft sind Ausführungsformen des erfindungsgemäßen NMR-Probenkopfs, bei welchen die Probenposition im Minimum des elektrischen Feldes des Mikrowellenresonators angeordnet ist. Unter diesen Umständen tritt eine minimale Dissipation elektrischer Feldenergie in der Probe

10

auf. Diese Ausführungsformen lassen sich durch Weiterbildungen verbessern, bei denen der NMR-Probenkopf mindestens eine NMR-Spule umfasst, die an der Probenposition ein magnetisches HF(=Hochfrequenz)-Feld induziert. Dadurch

15

kann im gleichen Probenvolumen gleichzeitig ein HF- und Mikrowellen-Feld erzeugt werden um eine MR Probe auf der jeweiligen Larmor Frequenz der entsprechenden Kerne bzw. Elektronen anzuregen. Bei einer Variante umfasst der NMR-Probenkopf Mittel zur Zuführung der Probe

20

zur Probenposition. Eine räumlich bestimmte Lage der Probenzuführung ist Voraussetzung für eine minimale Störung der Mikrowellen Feldverteilung. Besonders bevorzugt ist eine Klasse von Ausführungsformen des erfindungsgemäßen NMR-Probenkopfes, welche sich dadurch auszeichnen,

25

dass die mindestens eine in den DBR integrierte NMR-Spule auf der Oberfläche des DBR aufgebracht ist. Der Vorteil einer solchen Anordnung besteht in der Nähe der NMR-Spule zum Probenvolumen. Für das von der Spule erzeugte Feld sind Sensitivität sowie Feldhomogenität relevant, wobei die Optimierung eines Parameters in der Regel zu Lasten des anderen geht.

30

Durch die Freiheitsgrade in zwei Raumrichtungen besteht bei planaren NMR-Spulen die Freiheit, nahezu beliebige Geometrien innerhalb der Ebene zu

realisieren, wie beispielsweise Kreise, Spiralen oder Rechtecke, womit sich die Balance zwischen Sensitivität und Homogenität gut an das Probenvolumen anpassen lässt.

- 5 Bei vorteilhaften Weiterbildungen dieser Ausführungsformen ist die NMR-Spule als HF-Spule ausgebildet, auf der ersten Schicht des mehrere Schichten aufweisenden DBR aufgebracht und so geformt, dass sie für Mikrowellenstrahlung transparent ist. Dabei kann die HF-Spule entweder so geformt sein, dass ihre Leiterbahnen gar nicht in den Mikrowellenstrahlpfad  
10 hineinragen, beispielsweise in einer kreisförmigen oder rechteckigen Ausführungsform. Des Weiteren können die Leiterbahnen so dimensioniert sein, dass ihre Breite und ihr Abstand den Mikrowellenstrahl nur unwesentlich beeinträchtigen, so dass weiterhin ein Großteil durch die HF-Spule transmittiert wird. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn die Leiterbreite deutlich kleiner ist  
15 als die Wellenlänge und der Abstand zwischen benachbarten Leiterbahnen deutlich größer.

- Bevorzugt sind Varianten dieser Weiterbildungen, bei welchen die NMR-Spule als Gitter aufgebaut ist. Durch eine periodische Gitterstruktur lässt sich  
20 einerseits die HF-Spule mit vielen Leiterbahnen aufbauen, was ihre Induktivität vergrößert und letztendlich für eine hohe Sensitivität sorgt. Obwohl solch ein Gitter nachteilig für die Ausbreitung des Mikrowellenstrahls sein kann, gibt es, wie oben bereits angedeutet, bestimmte Werte für Gitterparameter wie Leiterbreite und -abstand, für die die Transmission abhängig von der  
25 Polarisierung des einfallenden Mikrowellenstrahls sich so einstellen lässt, dass ein Großteil des Strahls transmittiert wird. Hierzu gibt es verschiedene wissenschaftliche Schriften, in denen der Einfluss der Gitterparameter genau untersucht worden ist. Möglich ist auch eine gezielte Variation des Strahlprofils, beispielsweise zur Fokussierung des Strahls, indem die Gitterparameter  
30 ortsabhängig innerhalb der Ebene variiert werden. Eine solche Optimierung kann über wellenoptische Berechnung erfolgen.

In einer dazu alternativen Klasse von Ausführungsformen zeichnet sich der erfindungsgemäße NMR-Probenkopf dadurch aus, dass die mindestens eine in den DBR integrierte NMR-Spule als HF-Spule ausgebildet ist, dass der DBR mehrere Schichten aufweist, und dass die NMR-Spule auf der dem anderen  
5 reflektierenden Element abgewandten Rückseite der ersten Schicht des DBR aufgebracht ist. Vorteilhaft ist hier, dass die HF-Spule sich nicht mehr im Bereich des Mikrowellenstrahls befindet, da dieser zum größten Teil vom DBR zurückreflektiert wurde. Somit kann die HF-Spule unabhängig von dem Mikrowellenstrahl optimiert werden, gleichzeitig ist der DBR für die HF-Spule  
10 transparent. Der Abstand der HF-Spule zum Probenvolumen wirkt sich zwar nachteilig auf die Sensitivität aus, jedoch zugunsten der Feldhomogenitäten, sowohl des von der Spule erzeugten Wechselfeldes als auch der Homogenität des statischen Feldes. Letzteres liefert besser aufgelöste Spektrallinien und kann daher im Vergleich zu einer näher positionierten Spule dennoch die  
15 bevorzugte Lösung darstellen.

Bei weiteren besonders vorteilhaften Ausführungsformen des erfindungsgemäßen NMR-Probenkopfes weist der DBR mehrere dielektrische Schichten auf und es sind in der dem anderen reflektierenden Element  
20 zugewandten Vorderseite mindestens der ersten Schicht des DBR Kanäle vorgesehen, welche eine NMR-Probe exakt räumlich positionieren können. Mit einer definierten Kanalgröße kann außerdem das Probenvolumen eingestellt werden. Solch eine definierte Probenposition und -größe ist unabdingbar für reproduzierbare Ergebnisse. Außerdem kann ein dicht abgeschlossener Raum  
25 für flüssige oder gasförmige Proben erzeugt werden. Durch die Möglichkeit, einen oder mehrere Kanäle parallel zur Feldrichtung des statischen Magnetfeldes zu legen, ergibt sich außerdem ein Minimum in der Störung des statischen Feldes, wodurch die spektrale Auflösung maximiert wird.

Diese Ausführungsformen können dadurch weitergebildet werden, dass in  
30 mehreren Schichten des DBR Kanäle zur räumlichen Positionierung einer NMR-Probe angebracht sind. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, die

Probensubstanzmenge zu erhöhen, die sich im aktiven Bereich des Probenvolumens befindet, was zu einem höheren Füllfaktor und damit zu einer höheren Signalamplitude führt. Auch in diesem Fall lässt sich, wie oben beschrieben, die HF-Spulen-geometrie zur Sensitivitäts- oder

5 Homogenitätsoptimierung an die Probengeometrie anpassen.

Eine weitere Klasse von Ausführungsformen des erfindungsgemäßen NMR-Probenkopfs zeichnet sich dadurch aus, dass der NMR-Probenkopf Teil eines MR-Spektrometers zur Durchführung eines EPR-, ENDOR- oder NMR-DNP-

10 Experimentes ist. Bei diesen Experimenten wird eine Probe gleichzeitig einem möglichst hohen und homogenen HF- bzw. Mikrowellen Feld ausgesetzt. Die Erfindung kombiniert die Vorteile von kompakten NMR-Spulen und einem effizienten FP-Resonator.

15 In einer dazu alternativen Klasse von besonders kompakten Ausführungsformen schließlich ist der NMR-Probenkopf Teil einer Apparatur zur DNP-Polarisation. DNP führt zu einem signalverstärkten NMR-Spektrum. Die Erfindung besteht (i) aus einer Geometrie, die eine minimale Verzerrung des externen Magnetfeldes verursacht, (ii) aus einer effizienten NMR-Spulen-

20 geometrie mit hohem Füllfaktor, und (iii) einem effizienten Mikrowellenresonator um mit minimaler Mikrowellenleistung den Elektronenspin-Übergang anzuregen. Das Resonanzvolumen erstreckt sich aufgrund der verteilten Reflexion in den DBR hinein.

25 Eine solche DNP-Anordnung kann mit einem FP gemäß Figur 3 hergestellt werden. Um eine flüssige Probe korrekt im HF- und Mikrowellen-Feld zu positionieren, kann ein Kanal in eine der oberen Lagen des DBR Spiegels eingebracht werden. Die NMR-Spule kann wegen des rein dielektrischen Spiegels als Spirale konzentrisch zur Probe ausgeführt werden.

Der erfindungsgemäß vorgesehene DBR sollte, wenn möglich, aus einem Material hoher Wärmeleitfähigkeit und mit einem großen Permittivitätsunterschied benachbarter Lagen ausgeführt werden. Auf diese Art kann die dissipierte Wärme schnell abgeführt werden. Durch den hohen

5 Permittivitätsunterschied steigt die Reflektivität der einzelnen Lagen.

Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter ausgeführten Merkmale erfindungsgemäß jeweils einzeln für sich oder zu

10 mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung.

15

#### Detaillierte Beschreibung der Erfindung und Zeichnung

Die Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

20

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines als Fabry-Perot Resonator ausgestalteten erfindungsgemäßen Mikrowellenresonators, bei welchem ein planarer metallischer Spiegel durch einen DBR ersetzt ist;

25

Fig. 2 Simulation eines idealen FP-Resonators mit einem metallischen Spiegel im Vergleich zu einer simulierten Reflektionskurve eines Modells mit DBR anstelle des metallischen Spiegels;

- Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Fabry-Perot Resonators nach dem Stand der Technik bestehend aus einem sphärischen und einem ebenen Spiegel;
- 5 Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Fabry-Perot Resonators bestehend aus einem sphärischen Spiegel und einem DBR, in den Probenkanäle und eine HF-Spule integriert sind;
- Fig. 5 eine schematische Darstellung eines DBR, in den ein  
10 Probenkanal und eine HF-Spule auf der dem reflektiven Element zugewandten Seite integriert sind; und
- Fig. 6 eine schematische Darstellung eines DBR, in den ein  
Probenkanal und eine HF-Spule zwischen den Schichten des  
15 DBR integriert sind.

Die Hauptanwendung der Erfindung liegt auf dem Feld der Elektronen-Resonanz-Spektroskopie (ESR), der Kern-Resonanz-Spektroskopie (NMR) sowie auf dem Feld der dynamischen Kernpolarisation. Die Erfindung umfasst  
20 einen sub-THz Resonator mit einem sogenannten „*verteilten Bragg Reflektor*“ (englisch: „*distributed Bragg reflector*“ – DBR).

Die Erfindung betrifft eine neue Systematik zur Aufnahme von Mikrowellen-Reflektions-Spektren.

25

Die **Figur 1** zeigt einen erfindungsgemäßen Mikrowellenresonator, bei welchem in einem FP-Resonator der planare metallische Spiegel durch einen DBR ersetzt wurde:

- 30 a – sphärischer Spiegelkörper,  
b – sphärischer Spiegel mit Krümmungsradius  $R_1$ ,

c – Mikrowellen-Zuführung,  
d – Iris-Kopplung,  
e – Resonantes Volumen und Probenort,  
f – verteilter Bragg Reflector.

5

Um das erfindungsgemäße Prinzip zu verdeutlichen, wurde eine vergleichende Studie mit zwei Geometrien durchgeführt:

Ein erstes Modell bestand aus einem idealen FP Resonator mit einem  
10 metallischen Spiegel, ein zweites Modell aus einem DBR.

Die simulierte Reflektionskurve ( $s_{11}$  Parameter) ist in **Figur 2** dargestellt. In beiden Fällen wurde der gleiche sphärische Spiegel verwendet.

15 Im Einzelnen zeigt Fig.2:

(Durchgezogene Linie) einen simulierten  $s_{11}$  Parameter für einen FP Resonator mit  $R_1 = 10$  mm,  $\Delta = 2.95$  mm und einer  $TEM_{005}$  Resonanz bei 263 GHz;

20

(Gestrichelte Linie) die gleiche Simulation mit einem 5-lagigen DBR ( $\epsilon_{r1} = 3.75$ ,  $\epsilon_{r2} = 1$ ).

In beiden Fällen tritt die  $TEM_{005}$  Resonanz bei der gleichen Frequenz auf. In der  
25 Simulation wurde die Kopplungs-Iris nicht verändert, was auf eine ähnliche Resonanzgüte hinweist. Die Erfindung ist also als Resonator für DNP-Experimente besonders geeignet.

Die vorliegende Erfindung umfasst unter anderem folgende Aspekte:

30

1. Einen Fabry-Pérot-Resonator mit einem metallischen und einem verteilten Bragg Reflektor für Magnetische Resonanz Experimente.
2. Einen DBR bestehend aus einem Stapel von planaren, gekrümmten nicht-metallischen Platten mit Brechungsindex  $\neq 1$ .
3. Einen optimierten DBR mit internen Kanälen, um eine NMR/EPR oder NMR/DNP Probe zu positionieren.
4. Einen DBR mit interner oder externer Spule, die für optimale Detektion des NMR Signals bzw. zur Erzeugung von definierten Feld Gradienten optimiert wurden.
5. Einen DBR, der so ausgeführt ist, dass Verzerrungen des statischen Feldes im Probenvolumen minimiert werden. Entweder durch Auswahl geeigneter Materialien, durch eine spezielle Geometrie, oder durch die Kombination von beidem.
6. Einen DBR, der als einstellbarer Koppler verwendet werden kann, um einen Mikrowellen/ THz Strahl in den FP-Resonator einzukoppeln.

Die **Figur 3** schließlich zeigt einen Fabry-Perot Resonator nach dem Stand der Technik bestehend aus einer Kombination eines sphärischen und eines ebenen Spiegels mit einer hohen Reflektivität. Eine flache, flüssige EPR/DNP Probe kann direkt an der Oberfläche des ebenen Spiegels platziert werden, wo das elektrische Mikrowellen-Feld niedrig ist.

Die **Figur 4** zeigt beispielhaft einen erfindungsgemäßen Fabry-Perot-Resonator bestehend aus einem sphärischen Spiegel (dicke gekrümmte Linie) und einem DBR, bestehend aus Schichten mit abwechselnden Brechungsindizes  $n_1$  und  $n_2$  (schraffierte und weiße Rechtecke). Der Mikrowellenstrahl wird durch

ein­hüllende Linien bei gleicher Feldamplitude dargestellt (dünne gekrümmte Linien). In den DBR sind die Probenkanäle (A) und (B) eingebracht. Die Leiterbahnen der HF-Spule (C) befinden sich auf der dem Spiegel zugewandten Seite.

5

In **Figur 5** ist abweichend zur Darstellung von Figur 4 ein DBR mit einem Probenkanal (A) und mit einer HF-Spule (C) gezeigt, deren Leiterbahnen sich innerhalb des Mikrowellenstrahls befinden (nicht eingezeichnet). Durch geeignete Wahl von Leiterbreite und –abstand kann auch in solch einem Fall  
10 ein Großteil der Mikrowellenleistung durch die HF-Spule transmittiert werden.

In **Figur 6** ist abweichend zur Darstellung von Figur 5 ein DBR gezeigt, in den unmittelbar an der dem sphärischen Spiegel zugewandten Seite ein Probenkanal (A) eingebracht wurde. Die HF-Spule (C) ist zwischen den  
15 Schichten des DBR eingebracht.

**Abkürzungen**

|            |                                                                                        |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| ESR        | electron spin resonance                                                                |
| (N)MR      | (nuclear) magnetic resonance                                                           |
| DNP        | dynamic nuclear polarization                                                           |
| MAS        | magic angle spinning                                                                   |
| DBR        | distributed Bragg reflector                                                            |
| FP         | Fabry-Pérot resonator                                                                  |
| PBS        | photonic band-gap structure                                                            |
| hrNMR      | Hochauflösungs NMR                                                                     |
| HF         | in der NMR Spektroskopie elektromagnetischer<br>Frequenzbereich von 1 MHz bis 1000 MHz |
| Mikrowelle | electromagnetic frequency range between 1-300 GHz                                      |
| THz        | Tera-Hertz, elektromagnetischer Frequenzbereich<br>von 0.3 – 3 THz.                    |

5 **Begriffsklärungen**

|                 |                                                                                                                                                                        |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Füllfaktor      | Das Verhältnis von felderfülltem Raum zum<br>Probenvolumen; gewichtet mit der Feldamplitude.                                                                           |
| Güte (Q) Faktor | Verhältnis der im Resonator gespeicherten EM Energie zur<br>Energie die während einer Frequenzperioden durch<br>(Material-)Verluste oder Abstrahlung umgesetzt werden. |

**Referenzliste**

- [1] H.Kondo et al.:  
"Millimeter and Submillimeter Wave Quasi-Optical Oscillator mit Multi  
5 Elements", IEEE Trans. Microw. Theory Techn. 40 (5) (1992) 857–863
- [2] V.Denysenkov, Th.Prisner:  
EP 2 269 045 B1; US 2011/0050225 A1
- 10 [3] V.Denysenkov, Th.Prisner:  
"Liquid state Dynamic Nuclear Polarization probe with Fabry Perot  
resonator at 9.2 T", J. Magn. Reson. 217 (2012), 1–5
- [4] C. J. R. Sheppard:  
15 "Approximate calculation of the reflection coefficient from a stratified  
medium", Pure and Applied Optics: Journal of the European Optical Society  
Part A. 4, Nr. 5, 1995
- [5] J. Bart, J.W.G. Janssen, P.J.M. van Bentum, A.P.M. Kentgens, J.G.E.  
20 Gardeniers:  
„Optimization of stripline-based microfluidic chips for high-resolution NMR",  
J. Magn. Reson. 201 (2009) 175–185

### Patentansprüche

- 5 1. NMR(=Kernspinresonanz)-Probenkopf mit einem Mikrowellenresonator mit mindestens zwei im Mikrowellenbereich reflektierenden Elementen, von denen mindestens eines fokussierend ist, wobei die reflektierenden Elemente ein Resonanzvolumen des Mikrowellenresonators zumindest teilweise begrenzen,
- 10 **dadurch gekennzeichnet,**  
dass mindestens eines der reflektierenden Elemente als DBR („Distributed Bragg Reflector“) ausgebildet ist;  
und dass der NMR-Probenkopf mindestens eine NMR-Spule umfasst, die in den DBR integriert ist.
- 15 2. NMR-Probenkopf nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei, insbesondere sämtliche reflektierenden Elemente fokussierend sind.
- 20 3. NMR-Probenkopf nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eines der reflektierenden Elemente fokussierend und eines planar ist.
4. NMR-Probenkopf nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eines der reflektierenden Elemente fokussierend und eines defokussierend ist.
- 25 5. NMR-Probenkopf nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche mindestens eines der fokussierenden und/oder defokussierenden Elemente sphärisch oder elliptisch ausgeformt ist.

- 5
6. NMR-Probenkopf nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass an der dem Resonanzvolumen des Mikrowellenresonators abgewandten Seite des mindestens einen DBR ein Koppellement für Mikrowellenstrahlung vorgesehen ist.
- 10
7. NMR-Probenkopf nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Probenposition des Probenkopfs im Messbetrieb im Resonanzvolumen, insbesondere im Minimum des elektrischen Feldes des Mikrowellenresonators angeordnet ist.
- 15
8. NMR-Probenkopf nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der NMR-Probenkopf mindestens eine NMR-Spule umfasst, die an der Probenposition ein magnetisches HF(=Hochfrequenz)-Feld induziert.
- 20
9. NMR-Probenkopf nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der NMR-Probenkopf Mittel zur Zuführung der Probe zur Probenposition umfasst.
- 25
10. NMR-Probenkopf nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine in den DBR integrierte NMR-Spule auf der Oberfläche des DBR aufgebracht ist.
- 30
11. NMR-Probenkopf nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die NMR-Spule als HF-Spule ausgebildet ist, auf der ersten Schicht des mehrere Schichten aufweisenden DBR aufgebracht und so geformt ist, dass sie für Mikrowellenstrahlung transparent ist.
12. NMR-Probenkopf nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die NMR-Spule als Gitter aufgebaut ist.
13. NMR-Probenkopf nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine in den DBR integrierte NMR-

Spule als HF-Spule ausgebildet ist, dass der DBR mehrere Schichten aufweist, und dass die NMR-Spule auf der dem anderen reflektierenden Element abgewandten Rückseite der ersten Schicht des DBR aufgebracht ist.

5

14. NMR-Probenkopf nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der DBR mehrere dielektrische Schichten aufweist, und dass in der dem anderen reflektierenden Element zugewandten Vorderseite mindestens der ersten Schicht des DBR Kanäle vorgesehen sind, welche eine NMR-Probe exakt räumlich positionieren können.

10

15. NMR-Probenkopf nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass in mehreren Schichten des DBR Kanäle zur räumlichen Positionierung einer NMR-Probe angebracht sind.

15

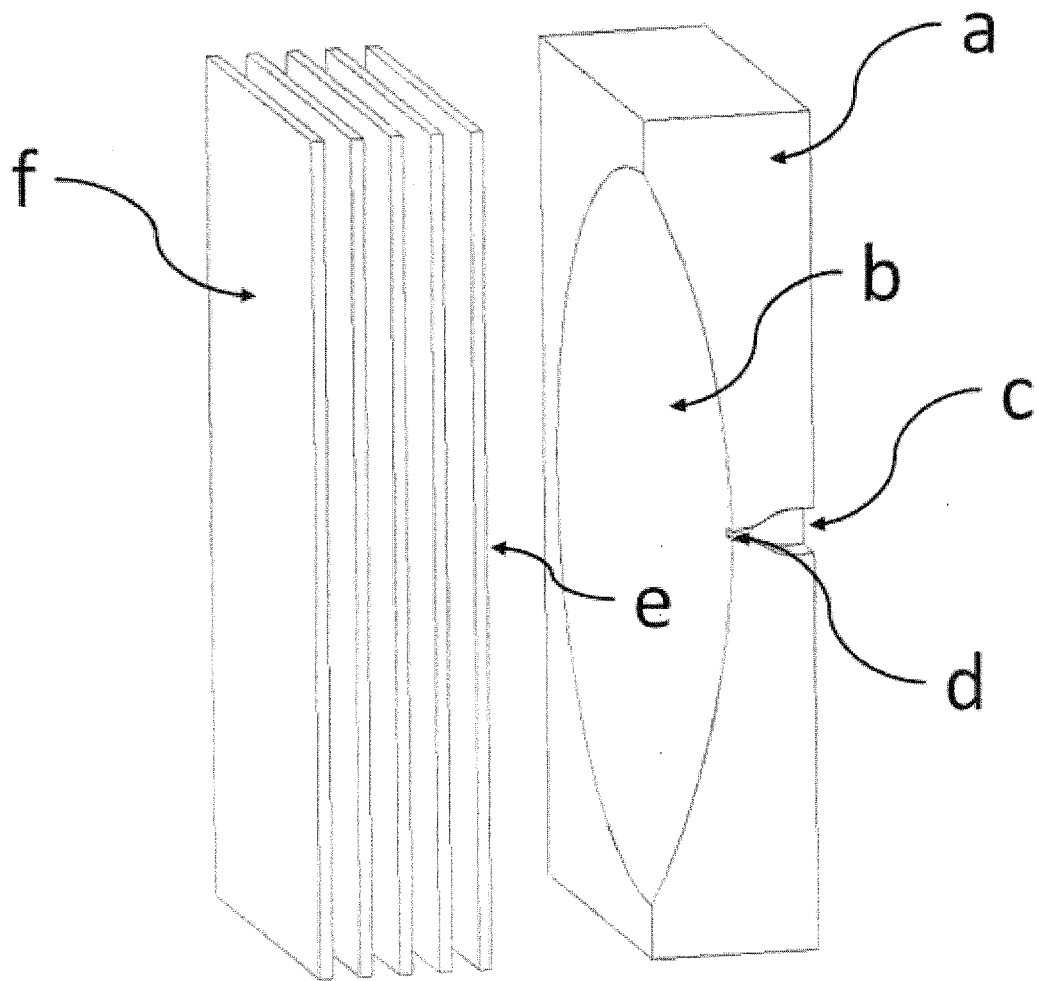


Fig. 1

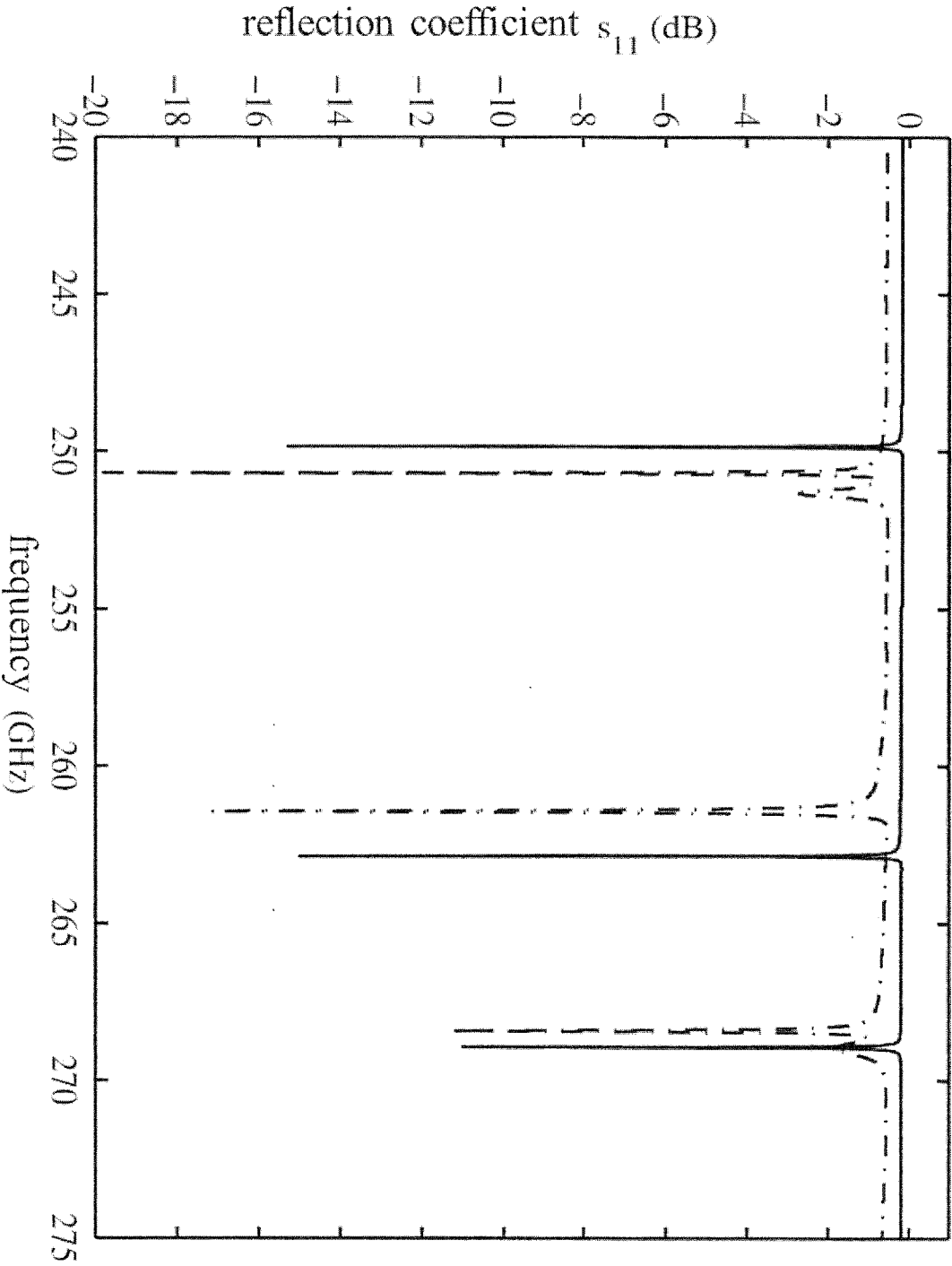
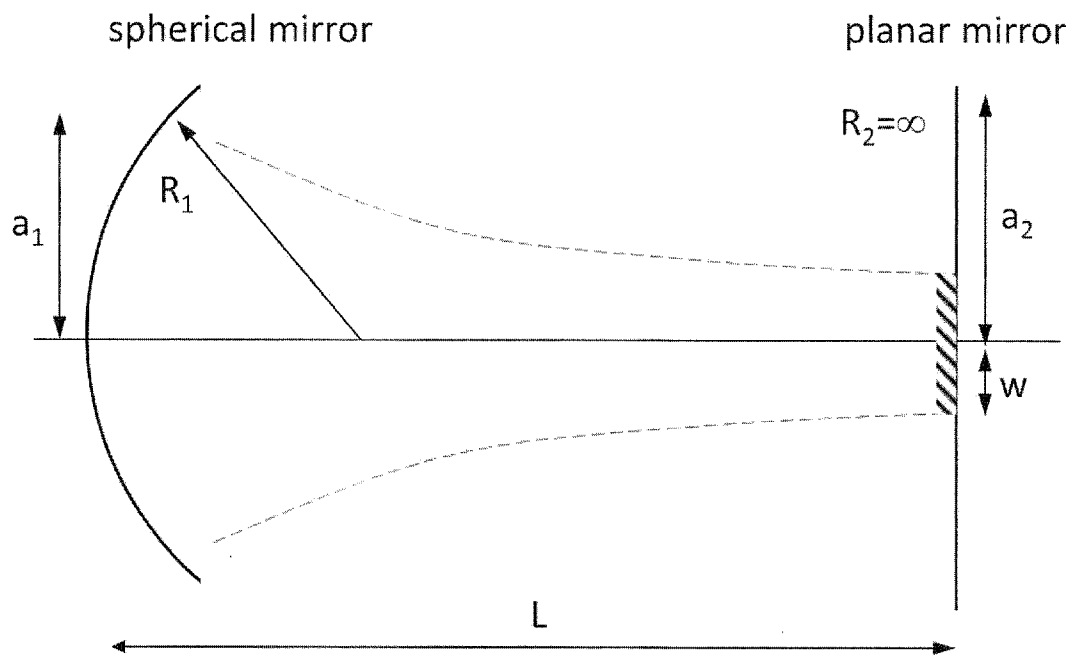


Fig. 2



Prior Art

Fig. 3

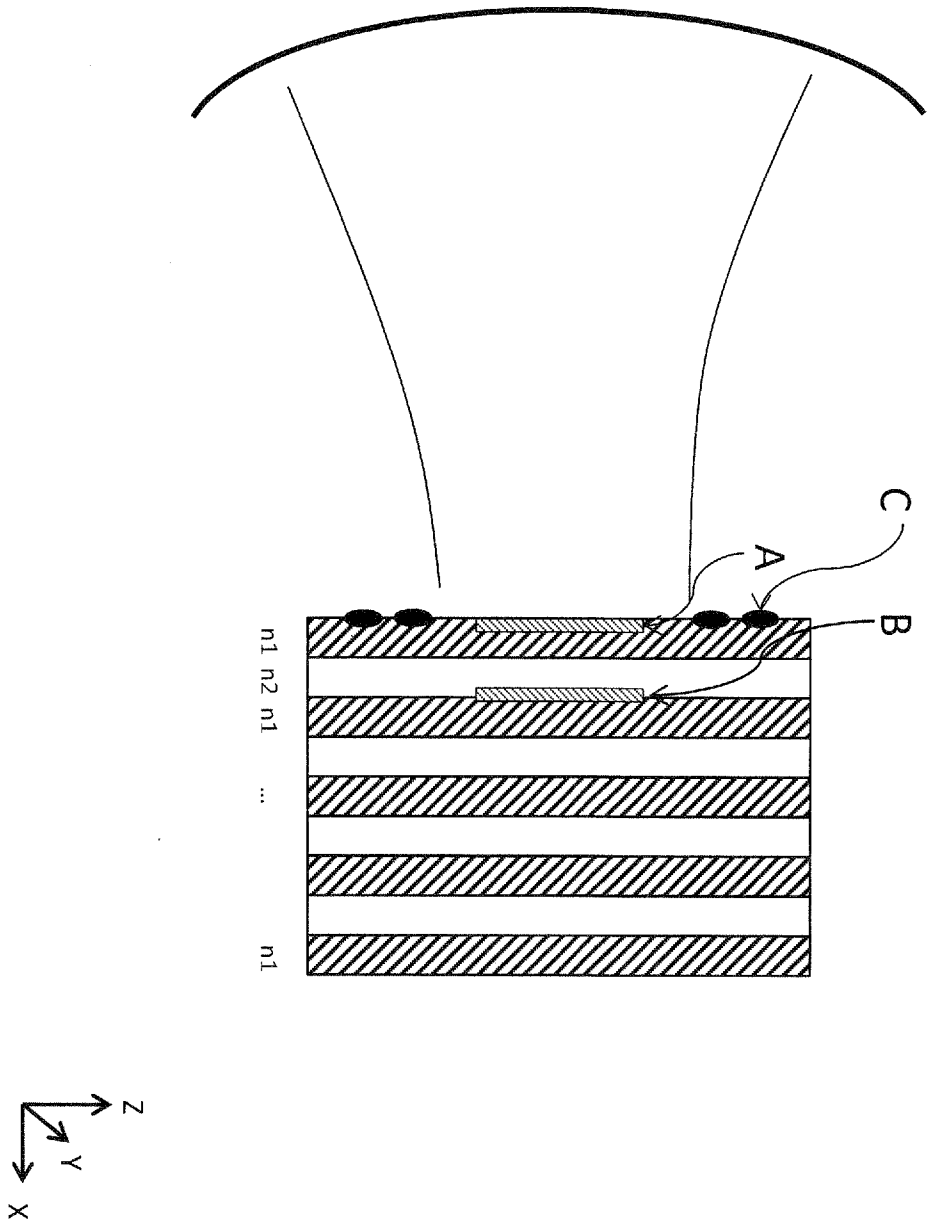


Fig. 4

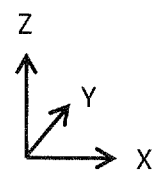
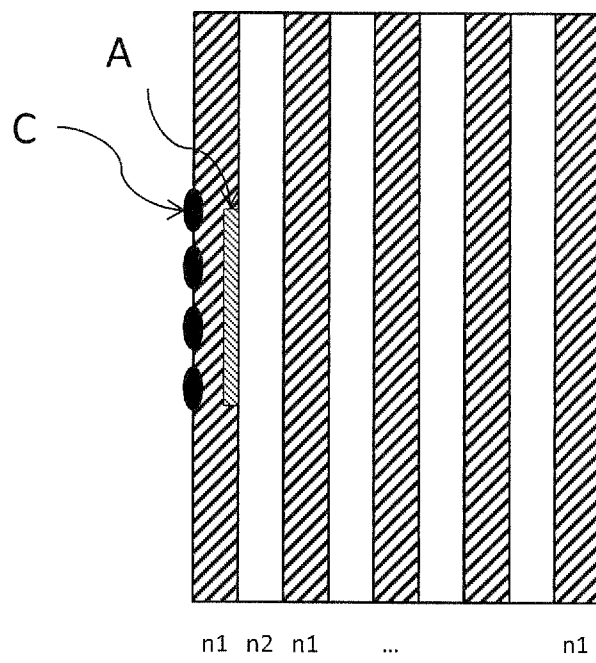


Fig. 5

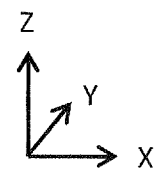
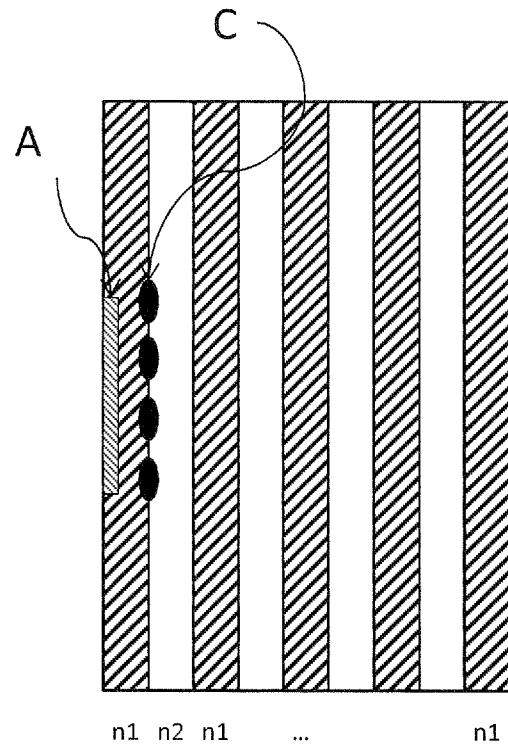


Fig. 6

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2014/064747

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. G01R33/28 G01R33/62 G01R33/345  
ADD. G01N24/12

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)  
G01R G01N

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, BIOSIS, COMPENDEX, EMBASE, INSPEC, MEDLINE, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                                                                           | Relevant to claim No. |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | DENYSENKOV V ET AL: "Liquid state Dynamic Nuclear Polarization probe with Fabry-Perot resonator at 9.2 T", JOURNAL OF MAGNETIC RESONANCE ACADEMIC PRESS INC. USA, vol. 217, April 2012 (2012-04), pages 1-5, XP002731380, ISSN: 1090-7807<br>cited in the application<br>the whole document<br>-----<br>-/-- | 1-15                  |



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 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

21 October 2014

Date of mailing of the international search report

05/11/2014

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

Skalla, Jörg

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2014/064747

| C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                       |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Category*                                            | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Relevant to claim No. |
| A                                                    | <p>KRUPKA J ET AL: "High Q-factor microwave Fabry-Perot resonator with distributed Bragg reflectors",<br/>IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS AND FREQUENCY CONTROL, IEEE, US,<br/>vol. 52, no. 9,<br/>1 September 2005 (2005-09-01), pages 1443-1451, XP011367467,<br/>ISSN: 0885-3010, DOI:<br/>10.1109/TUFFC.2005.1516015<br/>the whole document<br/>-----</p> | 1                     |

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G01R33/28 G01R33/62 G01R33/345  
 ADD. G01N24/12

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

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G01R G01N

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, BIOSIS, COMPENDEX, EMBASE, INSPEC, MEDLINE, WPI Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile                                                                                                                                                                                                                                                 | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| A          | <p>DENYSENKOV V ET AL: "Liquid state Dynamic Nuclear Polarization probe with Fabry-Perot resonator at 9.2 T", JOURNAL OF MAGNETIC RESONANCE ACADEMIC PRESS INC. USA, Bd. 217, April 2012 (2012-04), Seiten 1-5, XP002731380, ISSN: 1090-7807<br/> in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument</p> <p style="text-align: center;">-----<br/>-/-</p> | 1-15               |



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

21. Oktober 2014

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

05/11/2014

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

Skalla, Jörg

| C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                    |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Kategorie*                                            | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile                                                                                                                                                                                                                                                                              | Betr. Anspruch Nr. |
| A                                                     | <p>KRUPKA J ET AL: "High Q-factor microwave Fabry-Perot resonator with distributed Bragg reflectors",<br/>IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS AND FREQUENCY CONTROL, IEEE, US,<br/>Bd. 52, Nr. 9,<br/>1. September 2005 (2005-09-01), Seiten 1443-1451, XP011367467,<br/>ISSN: 0885-3010, DOI:<br/>10.1109/TUFFC.2005.1516015<br/>das ganze Dokument<br/>-----</p> | 1                  |