



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
20.06.2012 Patentblatt 2012/25

(51) Int Cl.:
H01Q 9/28 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10195245.5**

(22) Anmeldetag: **15.12.2010**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(71) Anmelder: **Philipps-Universität Marburg**
35037 Marburg (DE)

(72) Erfinder:
• **Scheller, Maik**
35037 Marburg (DE)
• **Jansen, Christian**
35037 Marburg (DE)
• **Koch, Martin, Prof.**
35274 Kirchhain (DE)

(74) Vertreter: **Stumpf, Peter**
Kerkrader Straße 3
35394 Gießen (DE)

(54) **Antenne zum Senden und Empfangen von GHz- und oder THz-Strahlung mit optimierter Frequenzcharakteristik**

(57) Die Erfindung betrifft eine photoleitende Tera-hertz-Antenne aus einem Substratmaterial mit aufge-brachter widerstandsarmer, bevorzugt mit aufgebrachter Metallstruktur zur Spannungsversorgung bzw. Strom-führung und photoleitendem Anregungsort, dadurch ge-kennzeichnet, dass neben der widerstandsarmen Struk-tur zur Spannungsversorgung bzw. Stromführung zu-sätzlich ein Resonator oder mehrere Resonatoren in der Nähe des photoleitenden Anregungsorts aufgebracht sind, welche den frequenzselektiven Antennengewinn und/oder die Abstrahlcharakteristik der Antenne verbes-tern. Die durch die Resonatoren herbeigeführten Eigen-schaften können weiterhin elektrisch, optisch oder durch aufbringen von Dielektrika modulierbar ausgelegt wer-den. Außerdem können solche Strukturen als Sensor-elemente eingesetzt werden, da das Resonanzverhalten einer erfindungsgemäßen Antenne empfindlich auf auf-gebrachte Proben reagieren.

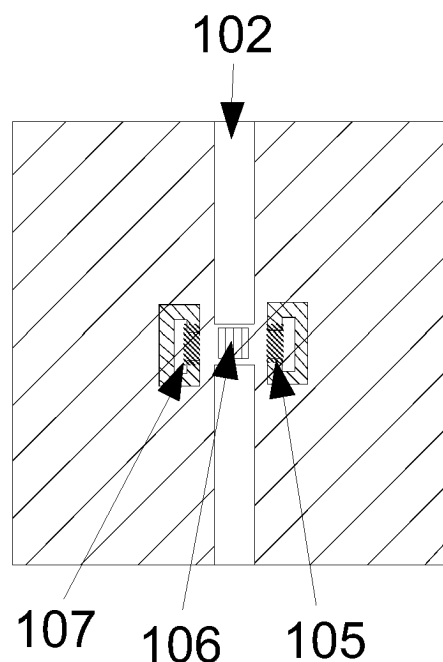


Fig. 2

Beschreibung

[Beschreibung und Einleitung des allgemeinen Gebietes der Erfindung]

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine photoleitende Antenne zum Aussenden oder Empfangen von Terahertz-Strahlung, die einen erhöhten Antennengewinn für ein oder mehrere Frequenzbänder aufweist. Dieser erhöhte Antennengewinn wird erfindungsgemäß durch in der Nähe des photoleitenden Anregungsort aufgebraachte Resonatoren realisiert. THz-Systeme, die auf photoleitenden Antennen aufbauen, werden beispielsweise in der zerstörungsfreien Prüftechnik und der Sicherheitstechnik genutzt. Im Vergleich zum Stand der Technik können erfindungsgemäß ausgeführte Antennen die Leistungsfähigkeit von THz-Systemen unter anderem in Bezug auf den Signal- zu Rauschabstand entscheidend verbessern und somit neue Anwendungsgebiete für die THz-Technik erschließen in denen der Dynamikumfang bestehender Systeme nicht ausreicht.

[Stand der Technik]

[0002] Die Erfindung betrifft eine photoleitende Antenne zum Aussenden oder Empfangen von Terahertz-Strahlung.

[0003] Als Terahertz-Strahlung bezeichnet man elektromagnetische Strahlung mit einer Frequenz von circa 0,1 THz bis circa 100 THz. Applikationen für Terahertz-

[0004] Systeme finden sich unter anderem im Sicherheitssektor (z.B. die Detektion versteckter Gefahrgüter oder die Identifikation von Flüssigsprengstoffen) oder in der Qualitätskontrolle von Lebensmitteln und Kunststoffprodukten. Weiterhin liegen Molekülschwingungen einiger Substanzen im Terahertzfrequenzbereich, so dass neben dem technisch-kommerziellen auch ein wissenschaftliches Interesse an leistungsstarken Terahertz-Emittern und -Detektoren für spektroskopische Anwendungen besteht.

[0005] Gemäß dem Stand der Technik ist bekannt, dass photoleitende Antennen zur Emission und Detektion von Terahertz-Strahlung verwendet werden können. Hierbei existieren zwei verschiedene Ansätze:

Zum einen kann die photoleitende Antenne als Photomischer zur Dauerstrichemission und -detektion verwendet werden. In diesem Fall erfolgt die optische Anregung durch die Überlagerung von mindestens zwei Lasermoden unterschiedlicher Frequenz (vgl. Patentschrift US 5 789 750 A). Die Differenzfrequenz zwischen den Lasermoden wird von der Antenne emittiert bzw. detektiert.

[0006] Zum anderen kann die Antenne als photoleitender Schalter zur Generation und zum Nachweis von Terahertzpulsen verwendet werden. Hierbei schaltet ein kurzer Laserpuls, dessen Dauer im Bereich von

Femtoekunden bis Pikosekunden liegt, die Photoleitfähigkeit, so dass kurzzeitig Terahertz-Strahlung emittiert oder detektiert werden kann (vgl. Patentschrift WO 2008/054 846 A2). Nach dem Stand der Technik besteht eine photoleitende Terahertz-Antenne aus einer hochohmigen, halbleitenden Schicht, welche eine möglichst kurze Ladungsträgerrekombinationszeit im Femto- bis Pikosekundenbereich und eine möglichst hohe Ladungsträgermobilität aufweist. Auf dieser Schicht ist eine Antennenstruktur aus einem elektrisch leitfähigen Material aufgebracht. Gängige technische Ausführungsformen dieser Antenne umfassen beispielsweise Spiral-Antennen (KR 10 2005 0015364 A, JP2001060821 A; JP2008028872 A, JP 58123203 A, CA 2 292 635, CA 2 575 130), Bowtie-Antennen (US 2006/0152412 A1) und Dipolantennen (US 5 729 017 A, WO 02/060017 A1). Diese Strukturen weisen einen photoleitenden Anregungsort in Form einer Lücke in der Metallisierung auf. Dessen Leitfähigkeit wird durch die einfallende Laserstrahlung bestimmt wird, da die Photonenenergie des Lasers größer ist als die Bandlücke der halbleitenden Schicht und somit bei Illumination freie Ladungsträger generiert werden (vgl. US 5 729 017 A; WO 03/047036 A1). Zusätzlich zu der Antennenstruktur sind elektrische Kontakte und Zuleitungen auf der halbleitenden Schicht aufgebracht.

[0007] Im Falle, dass die photoleitende Terahertz-Antenne als Emitter Einsatz findet, wird eine Vorspannung an die Antenne angelegt. Werden nun durch die in die photoleitende Lücke einfallende Laserstrahlung Ladungsträger generiert, erfahren diese eine Beschleunigung im von außen eingepprägten elektrischen Feld, welche die Emission der Terahertzstrahlung bewirkt.

[0008] Wird die photoleitende Terahertz-Antenne als Detektor genutzt, verbindet man statt einer Spannungsquelle einen hochsensitiven Stromverstärker mit der Antenne. Die durch den Laserstrahl generierten Ladungsträger werden vom einfallenden Terahertz-Feld beschleunigt. Der messbare Photostrom ist somit ein Maß für die einfallende Terahertz-Feldstärke.

[0009] Nachteilig an Terahertz-Antennen gemäß dem Stand der Technik ist insbesondere die ineffiziente Konversion von Laser- in Terahertz-Leistung. Diese resultiert aus dem spektral relativ flachen jedoch sehr breitbandigen Antennengewinn. Die Antennen können in Abhängigkeit von der Laserquelle THz-Wellen in einem Frequenzbereich von 0,1 THz bis hin zu einigen 10 THz emittierten, ohne dass der Antennengewinn in einzelnen Frequenzbereichen eine merkliche, durch die Metallisierungsstruktur verursachte Erhöhung erfährt.

[0010] Weiterhin nachteilig an Terahertzantennen gemäß dem Stand der Technik sind der statische, nicht modulierbare Charakter des Antennengewinns und das statische, nicht modulierbare räumliche Abstrahlprofil.

[Aufgabe]

[0011] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die

Nachteile gemäß dem Stand der Technik zu überwinden.

[Lösung der Aufgabe]

[0012] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Antenne gemäß Anspruch 1.

[0013] Überraschenderweise wurde gefunden, dass eine solche Antenne, die neben den Merkmalen einer photoleitenden Terahertz-Antenne gemäß dem Stand der Technik zusätzlich in der Nähe des photoleitenden Anregungsorts mindestens einen angeordneten Resonator aufweist, dazu geeignet ist den frequenzselektiven Antennengewinn und/oder die Abstrahlcharakteristik zu verbessern. Dazu ist mindestens einer der Resonatoren, gemessen vom Anregungsort, in einem Radius, welcher maximal dem zweifachen der Resonanzwellenlänge entspricht, entfernt anzuordnen.

[0014] Die Resonatoren bestehen erfindungsgemäß aus leitfähigen Bereichen (Widerstandsbelag unter 1 k Ω /cm), die zu einer elektrischen Schwingung bei einer oder mehreren Resonanzfrequenzen angeregt werden können. Die laterale Dimension der im Wesentlichen planar ausgeführten Resonatoren beträgt mindestens 1/50, jedoch höchstens eine, bevorzugt 1/2 und besonders bevorzugt ein Drittel bis ein Viertel der Resonanzwellenlänge.

[0015] Bei einer Antenne für 300 GHz ergibt sich eine Resonanzwellenlänge von 1 mm und bei einer Antenne für 1 THz ergibt sich eine Resonanzwellenlänge von 300 μ m. Entsprechend ergeben sich damit erfindungsgemäß die Abmessungen des mindestens einen Resonators und die räumliche Nähe zum Abstrahlungsort. Es sind mehrere Resonator-Typen, auch in Kombination, einsetzbar. Insbesondere können auch periodische Anordnungen von Resonatoren (auch als Frequenzselektive-Oberflächen oder Elektronische-Bandlücken Strukturen bekannt) erfindungsgemäß verwendet werden um die Konversionseffizienz von Laser- zu Terahertz-Leistung bei der Resonanzfrequenz noch weiter zu erhöhen. Ausführungsformen der Resonatorelemente umfassen unter anderem symmetrische und asymmetrische Einzel- und Doppel-Spalt-Ring-, sowie Rechteck-Resonatoren.

[0016] Die Leitfähigkeit der Bereiche, welche die Resonator-Strukturen bilden, wird bevorzugt durch Metallisierung (beispielsweise mit Gold, Titan, Kupfer, Platin, Silber, Aluminium, Nickel, Eisen oder einer Kombination dieser Elemente) erreicht. Diese können unter anderem nass-, elektrochemisch, durch Verdampfung (CVD, PVD, MOCVD), durch Dotierung oder mittels Druckverfahren (Sieb-, Tiefdruck, Inkjet-Printing, Laserdruck) aufgebracht werden.

[0017] Besonders bevorzugt liegen die Resonatoren in der gleichen räumlichen Ebene wie die Zuleitungen, so dass kein zusätzlicher Aufwand in der Strukturierung der Antenne entsteht.

[0018] Mittels Dotierung sind schaltbare, elektrisch leitfähige Resonatoren direkt im Halbleiter realisierbar. Die Schaltung wird elektrisch und oder photoelektrisch

durchgeführt.

[0019] Als halbleitendes Material wird bevorzugt einzeln oder in Kombination Gallium-Arsenid, Indium-Gallium-Arsenid, Indium-Aluminium-Arsenid, Indium-Antimonid oder auf Saphir gewachsene Siliziumfilme verwendet. Andere III/V oder II/VI Halbleiter können ebenfalls eingesetzt werden insofern sie über kurze Ladungsträgerlebensdauern verfügen und eine Bandlückenenergie, die geringer als die Photonenenergie des verwendeten Lasers ist, aufweisen. Die halbleitenden Materialien werden bevorzugt tieftemperaturgewachsen (eng. lowtemperaturegrown) oder ionenimplantiert, um eine kurze Ladungsträgerlebensdauer zu erzielen.

[0020] Die erfindungsgemäße Antenne ist zum Senden und zum Empfang von Terahertz-Strahlung geeignet. Vorteilhaft beim Aussenden von Terahertz-Strahlung ist, dass durch den Einsatz der Resonatoren die Sendeleistung der Antenne in einem oder mehreren schmalen Frequenzband/bändern (Bandbreite von 1 bis 100 GHz) deutlich verstärkt wird. Hierdurch kann in diesen spektralen Bereichen das Signal/Rausch-Verhältnis erhöht werden. Nutzt man eine erfindungsgemäße Antenne zum Empfangen von Terahertz-Strahlung so weist diese in einem oder mehreren schmalen Frequenzband/bändern (Bandbreite von 1 bis 100 GHz) eine erhöhte Empfangssensitivität auf wodurch ebenfalls eine Verbesserung des Signal zu Rausch Verhältnisses erreicht wird.

[0021] Wird die Antenne mit Dauerstrich-Laserstrahlung angeregt so ist es besonders vorteilhaft wenn die Resonanzfrequenz der Resonatoren nahe der Differenzfrequenz der anregenden Lasermoden liegt, da dann eine besonders effiziente Konversion von Laser- zu Terahertz-Leistung möglich ist.

[0022] Günstig ist, wenn die resonante Struktur den Antennengewinn in denjenigen Bereichen abschwächt, in denen ungewünschte Frequenzkomponenten entstehen würden, welche die Signaldetektion und/oder Auswertung erschweren.

[0023] Besonders bevorzugt umfassen die resonanten Strukturen solche, welche in ihrer Güte (ihrer spektralen Resonanzbreite) modulierbar sind, etwa über eine Veränderung der Impedanz zwischen zwei Teilsegmenten des Resonators oder eine Veränderung der Impedanz zwischen benachbarten Resonator-Elementen, und somit eine Modulation des resultierenden Antennengewinns der photoleitenden Antenne ermöglichen.

[0024] Weiterhin vorteilhaft sind Ausführungen der erfindungsgemäßen Terahertz-Antenne, welche die Hauptabstrahl- und Empfangsrichtung der Antenne um einen räumlichen Winkel durchstimmen können. Diese Durchstimmbarkeit kann beispielsweise durch Einflußnahme auf die Impedanz zwischen einzelnen Resonator-Segmenten oder zwischen einer Mehrzahl von Resonatoren erreicht werden.

[0025] Diese Impedanzänderungen können durch eine optische Anregung eines photoleitenden Anregungsortes innerhalb der Resonator-Struktur oder durch ein

elektronisches Bauelement erfolgen, welches sich in Hinblick auf seine Kapazität, seine Induktivität oder seinen ohmschen Widerstand durch Anlegen eines Steuerungssignals verändern lässt.

[0026] Weiterhin vorteilhaft sind Ausführungen der erfindungsgemäßen Terahertz-Antenne mit durchstimmbarer Resonanzfrequenz. Ein Durchstimmen der Resonanzfrequenz ist unter anderem über elektrische oder optische Schaltbereiche möglich. Beispielsweise können die Resonatoren aus mehreren Ringsegmenten bestehen, wobei über einen Schaltbereich zwei Ringe zueinander kurzgeschlossen werden können um somit eine Änderung der Resonanzbedingung zu ermöglichen. In diesem Ausführungsbeispiel würde die effektive Länge des Resonators vergrößert, so dass die Resonanzfrequenz zu tieferen Frequenzen verschoben würde. Durch mehrere zuschaltbare Resonatorelemente ist es somit möglich verschiedene Resonanzfrequenzen einzustellen.

[0027] Ebenfalls möglich ist ein Durchstimmen der Resonanzfrequenz durch auf die Resonatoren aufgebraachte Dielektrika wie Öle oder Polymere zu erreichen. Die aufgebraachten Dielektrika weisen eine von Luft verschiedene Permittivität auf, so dass die Resonanzbedingung der Resonatoren zu kleineren Frequenzen hin verschoben wird. Bei Verwendung eines Ölgemisches aus wenigstens zwei Anteilen mit verschiedenen Permittivitäten ist ein kontinuierliches Durchstimmen der Resonanzfrequenz möglich.

[0028] Weiterhin können Flüssigkristalle (engl. Liquid Crystals) auf die Resonatoren aufgebracht werden. Diese verändern, bei Anlegen eines elektrischen Feldes, ihre dielektrischen Eigenschaften. Hierdurch wird eine Änderung der Resonanzbedingung der Resonatoren und somit eine Verschiebung der Resonanzfrequenz bewirkt.

[0029] Weiterhin können erfindungsgemäße Strukturen als Sensoren eingesetzt werden, die durch die Veränderung der Resonanzeigenschaften bei Aufbringung einer Probe Rückschlüsse auf das Probenmaterial ermöglichen. Insbesondere verändern sich die Resonanzfrequenz und die Resonanzbreite gemäß der Materialeigenschaften der Probe je nach Probenmaterial charakteristisch. Besonders bevorzugt weisen die Zuleitungen der Antennenstruktur ferner Anpassglieder auf, welche die parasitären Resonanzen durch Rückreflexe von den elektrischen Kontakten minimieren. Weiterhin können die Anpassglieder zusätzlich mit Verlustelementen, wie absorbierende Beschichtungen und/oder niederohmigen Metallstrukturen, versehen werden, um die Rückreflexionen weiter zu minimieren.

[0030] Die erfindungsgemäße Ausführung ist nachfolgend erläutert, wobei die Erfindung alle nachfolgend aufgeführten bevorzugten Ausführungsformen einzeln und in Kombination umfasst.

[Ausführungsbeispiele]

[0031] Es wird eine Anordnung aus Bauteilen (Sender

und Empfänger) aufgebaut, die THz-Strahlung emittiert und detektiert.

[0032] In Fig. 1 ist eine photoleitende Terahertzantenne skizziert. Diese besteht aus einem halbleitenden Substrat (z.B. Gallium-Arsenid, Silizium auf Saphir oder Indium-Gallium-Arsenid) **101**, auf dem eine oder mehrere elektrische Zuleitungen **102** aufgebracht sind. Um die Antenne zu betreiben, wird Laserstrahlung **104** auf einen photoleitenden Bereich **106** gerichtet. Die erfindungsgemäßen Antennenstrukturen beinhalten zusätzlich einen oder mehrere leitfähige Resonatoren **105** (siehe Fig. 2).

[0033] Die Antenne kann als Empfänger oder als Sender geschaltet werden. Durch das Anlegen einer Spannung **109** an die elektrischen Zuleitungen **102** emittiert die Antenne Terahertzstrahlung und arbeitet als Sender. Alternativ kann ein Messgerät **103** an die Zuleitungen **102** angeschlossen werden, um Terahertzwellen zu detektieren.

[0034] Die Teilflächen der leitfähigen Resonatoren **105** können über Schaltbereich **107** verbunden werden. Die Leitfähigkeit der Schaltbereiche ist modulierbar indem eine Spannung oder ein Strom an diese angelegt wird. Ferner können die Schaltbereiche **107** in Form von photoleitenden Bereichen realisiert werden, deren Leitfähigkeit optisch (z.B. durch einen Laser) geschaltet werden kann. Durch eine Modulation der Schaltbereiche kann die spektrale Charakteristik der Resonatoren verändert und damit der spektrale Antennengewinn oder die Abstrahlcharakteristik der Antenne beeinflusst werden.

[0035] Besonders bevorzugt werden Spalt-Ring-Resonatoren (Figur 2 bis 5), eine periodischen Anordnung von Rechteckleitern (Figur 6) oder einer periodische Anordnung von Spalt-Ring-Resonatoren (frequenzselektive Oberfläche (engl. Frequency-Selective-Surface (FSS)) (Figur 7) verwendet. Die Resonatoren können sowohl eckig als auch runde Formen aufweisen und entweder seitlich zu den elektrischen Zuleitungen (Figur 2 bis 4) angeordnet oder aber als Teil von diesen (Figur 5) ausgeführt werden.

[0036] Figur 9 zeigt die spektrale Intensität eines in einem THz-Zeitbereichsspektrometer gemessenen Signals, wobei zum einen eine photoleitende Antenne mit resonanter Struktur gemäß der Erfindung und zum anderen eine Referenzantenne gemäß dem Stand der Technik als Emitter eingesetzt wurde. In dem Frequenzbereich um 500 GHz ist eine deutliche Erhöhung der emittierten Strahlung, hervorgerufen durch die resonante Struktur, zu erkennen.

[0037] Figur 10 zeigt schematisch die spektrale Intensität des Signals eines THz-Zeitbereichsspektrometers, in dem eine photoleitende Antenne mit resonanter Struktur gemäß der Erfindung als Sensor eingesetzt wird. Durch das Aufbringen einer Probe **108** kann die Resonanzfrequenz der Resonatorstruktur verändert werden. Anhand der Signalform kann auf die dielektrischen Eigenschaften des Probenmaterials rückgeschlossen werden.

[Abbildungslegenden und Bezugszeichenliste]

[0038]

Fig. 1: seitliches Schema des Detektors (ohne 109) oder des Senders (ohne **103**) ohne Resonatoren 5

Fig. 2: vordere Ansicht der Antenne - symmetrische Resonatoren mit Schaltbereichen: seitlich angeordnet von der photoleitenden Lücke, rechteckige Resonator-Ausführung 10

Fig. 3: vordere Ansicht der Antenne - Spalt-Ring Resonatoren als Sensorkonfiguration mit aufgebracht Probe, seitlich angeordnet von der photoleitenden Lücke, runde Ausführung

Fig. 4: vordere Ansicht der Antenne - asymmetrische Resonatoren mit Schaltbereichen: seitlich angeordnet von der photoleitenden Lücke, rechteckige Resonator-Ausführung 15

Fig. 5: seitliche Ansicht der Antenne -Sensorkonfiguration mit aufgebracht Probe auf die Resonatoren 20

Fig. 6: vordere Ansicht der Antenne - Resonatoren integriert in die elektrischen Zuleitungen, rechteckige Ausführung

Fig. 7: vordere Ansicht der Antenne - Resonatoren integriert in die elektrischen Zuleitungen, Streifenform 25

Fig. 8: vordere Ansicht der Antenne - Resonatoren seitlich angeordnet von der photoleitenden Lücke. Mehrere Resonatoren in einer periodischen Anordnung (Frequenzselektive Oberfläche) mit Schaltbereichen. 30

Fig. 9: Diagramm mit Messdaten der emittierten Strahlung als Funktion der Frequenz einer erfindungsgemäßen Antenne im Vergleich zu der emittierten Strahlung von einer Struktur gemäß dem Stand der Technik. 35

Fig. 10: Diagramm mit Simulationsdaten der emittierten Strahlung als Funktion der Frequenz einer erfindungsgemäßen Antenne in Sensorkonfiguration. Durch aufbringen der Probe verändern sich die Resonanzeigenschaften. 40

Patentansprüche

1. Photoleitende Antenne zum Senden und Empfangen von elektromagnetischer Strahlung im Terahertz-Frequenzbereich, mindestens bestehend aus einem Substratmaterial, einer darauf aufgebracht, widerstandsarmen Struktur zur Spannungsversorgung bzw. Stromführung und einem photoleitenden Anregungsort, die **dadurch gekennzeichnet ist, dass** neben der widerstandsarmen Struktur zur Spannungsversorgung bzw. Stromführung zusätzlich ein Resonator oder mehrere Resonatoren in der Nähe des photoleitenden Anregungsorts auf dem Substratmaterial aufgebracht sind, welche den fre-

quenzselektiven Antennengewinn und/oder die Abstrahlcharakteristik der Antenne verbessern.

2. Eine Antenne nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens einer der Resonatoren in Hinblick auf die Güte und/oder die Resonanzfrequenz schaltbar sind.
3. Eine Antenne nach Ansprüchen 1 bis 2 **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens einer der Resonatoren in der gleichen räumlichen Ebene wie die Zuleitungen angeordnet ist.
4. Eine Antenne nach Ansprüchen 1 bis 3 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schaltung mindestens eines Resonators über Schaltbereiche erfolgt, die aus halbleitenden Materialien bestehen, welche durch das Anlegen einer Spannung oder durch Bestrahlung mittels Licht in einen elektrisch leitenden Zustand überführt werden.
5. Eine Antenne nach Ansprüchen 1 bis 4 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schaltung mindestens eines Resonators durch das Aufbringen einer dielektrischen Substanz, beispielsweise einem Öl, einem Polymer oder einem Flüssigkristall, erfolgt.
6. Eine Antenne nach Ansprüchen 1 bis 5 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schaltung mindestens eines Resonators so ausgeführt ist, dass diese eine Modulation des frequenzselektiven Antennengewinns der Antenne ermöglicht.
7. Eine Antenne nach Ansprüchen 1 bis 6 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schaltung mindestens eines Resonators so ausgeführt ist, dass diese eine Modulation des räumlichen Abstrahlbereichs der Antenne ermöglicht.
8. Eine Antenne nach Ansprüchen 1 bis 7 **dadurch gekennzeichnet, dass** als Resonatoren symmetrische oder asymmetrische Einzel- oder Mehrfach-Spalt-Ring- oder Rechteck-Resonatoren verwendet werden.
9. Eine Antenne nach Ansprüchen 1 bis 8 **dadurch gekennzeichnet, dass** eine periodische oder aperiodische Anordnung von mehreren gleichen oder unterschiedlichen Resonatorelementen verwendet wird.
10. Eine Antenne nach einem der Ansprüche 1 bis 9 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anordnung mindestens einen Resonator mit einer laterale Dimension aufweist, welche maximal der Resonanzwellenlänge, bevorzugt maximal der halben Resonanzwellenlänge und besonders bevorzugt maximal einem Drittel bis einem Viertel der Resonanzwellen-

länge, entspricht.

11. Verwendung einer Antenne gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10 als Sensor für eine Probe, wobei durch Aufbringen der Probe auf die Antenne die Resonanzeigenschaften und somit sowohl die Sendeeigenschaften als auch die Empfangseigenschaften der Antenne verändert werden.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

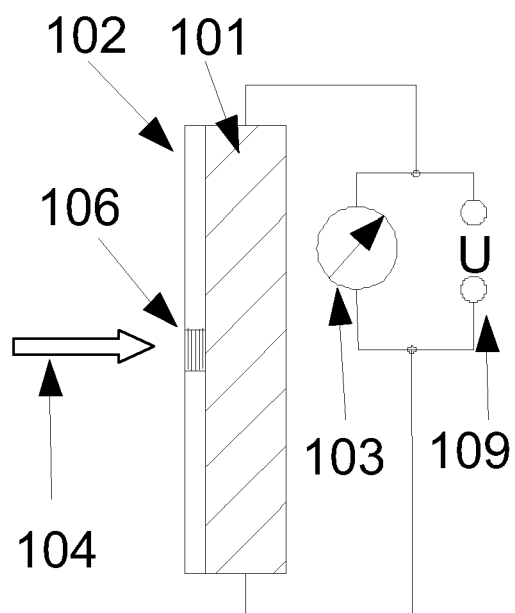


Fig. 1

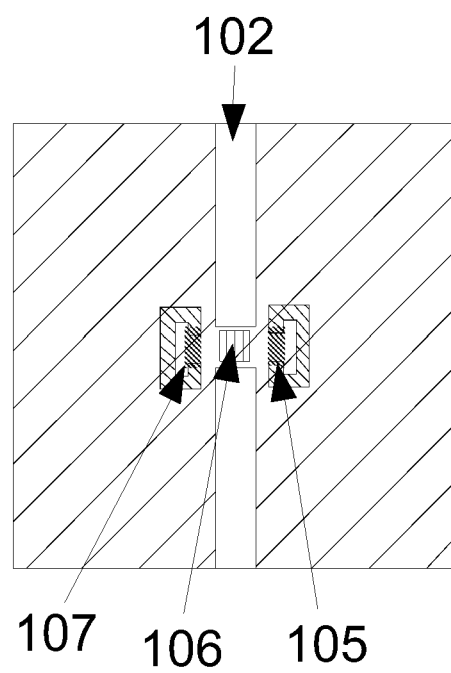


Fig. 2

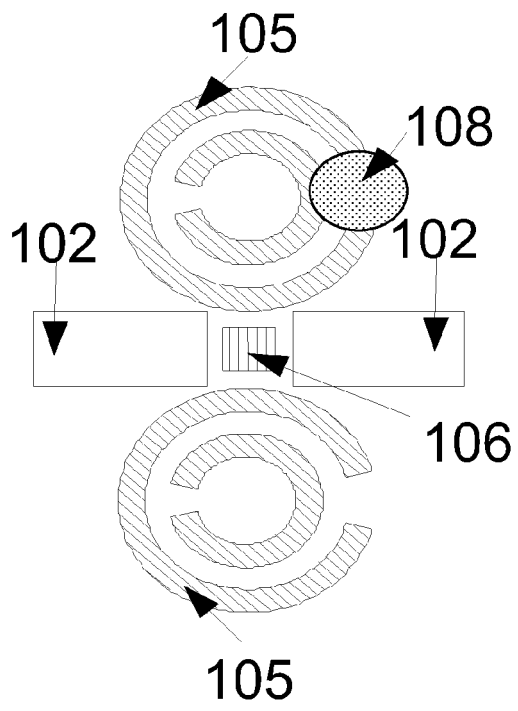


Fig. 3

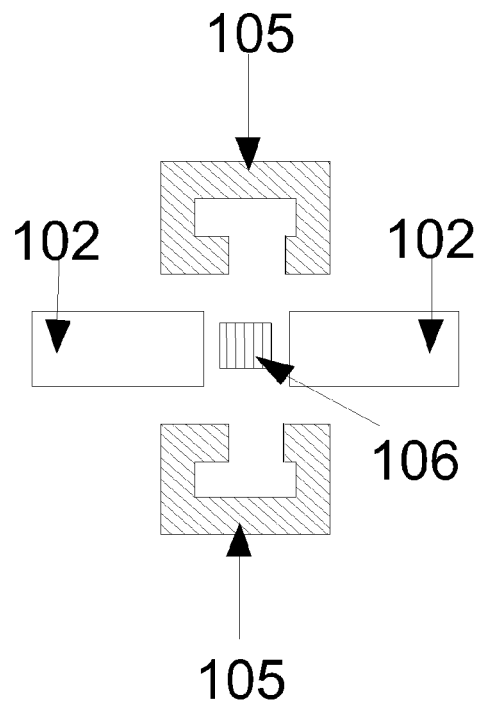
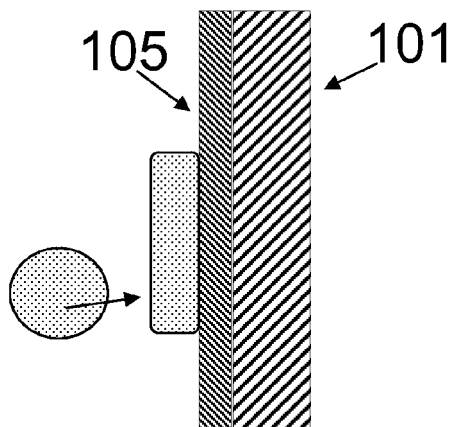


Fig. 4



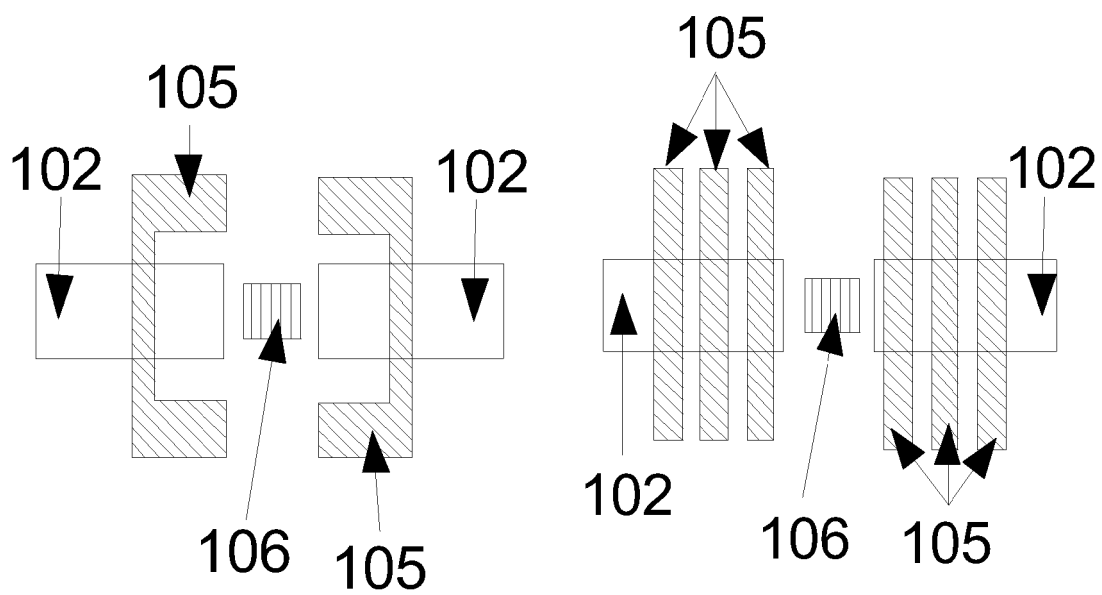


Fig. 6

Fig. 7

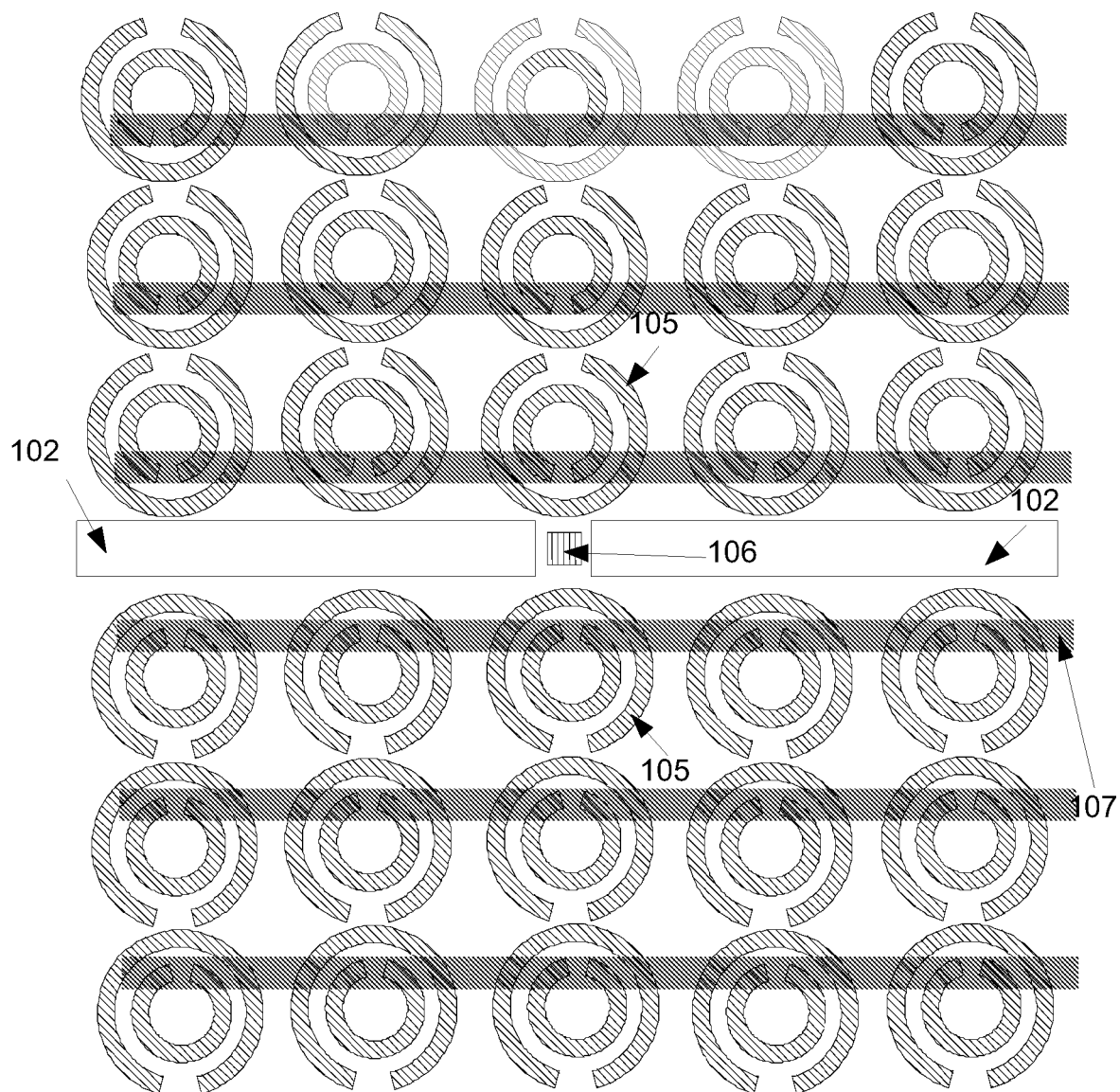


Fig. 8

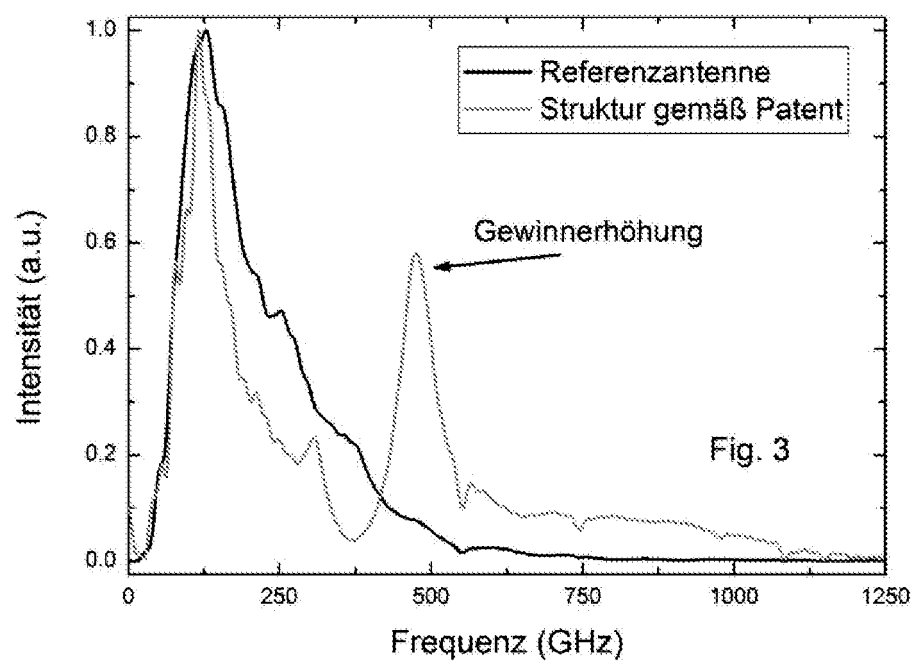


Fig. 9

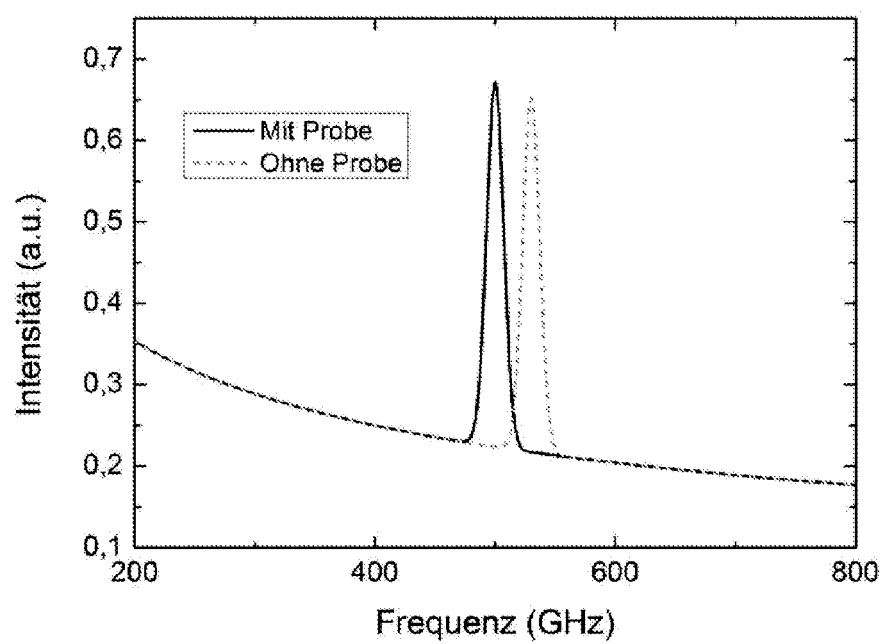


Fig. 10



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 10 19 5245

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	TAKANO K ET AL: "Enhanced terahertz emission from metaatom-loaded photoconductive antennas", 35TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFRARED MILLIMETER AND TERAHERTZ WAVES (IRMMW-THZ), 5. September 2010 (2010-09-05), Seiten 1-2, XP031782897, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA ISBN: 978-1-4244-6655-9	1,3,8-10	INV. H01Q9/28
Y	* das ganze Dokument *	2,4-7	
X	WO 2007/006552 A1 (UNIV BRAUNSCHWEIG TECH [DE]; ENDERS ACHIM [DE]; KOCH MARTIN [DE]; JOER) 18. Januar 2007 (2007-01-18) * Zusammenfassung; Abbildungen 5-8 * * Seite 1, Zeile 1 - Seite 19, Zeile 25 *	1,3,9-11	
Y	O'HARA J F ET AL: "Active THz metamaterials", 33RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFRARED, MILLIMETER AND TERAHERTZ WAVES. IRMMW-THZ 2008., 15. September 2008 (2008-09-15), Seiten 1-3, XP031398253, ISBN: 978-1-4244-2119-0 * das ganze Dokument *	2,4,6,7	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) H01Q
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 19. Mai 2011	Prüfer Hüschelrath, Jens
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

2

EPO FORM 1503 03-82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 10 19 5245

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	LI-MING SI ET AL: "Characterization and application of planar terahertz narrow bandpass filter with metamaterial resonators", INTERNATIONAL WORKSHOP ON METAMATERIALS, 2008, 9. November 2008 (2008-11-09), Seiten 351-354, XP031378613, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA DOI: DOI:10.1109/META.2008.4723612 ISBN: 978-1-4244-2608-9 * das ganze Dokument *	5	
A	HOU-TONG CHEN: "Active Terahertz metamaterial devices", PHOTONICS SOCIETY WINTER TOPICALS MEETING SERIES (WTM), 2010, 11. Januar 2010 (2010-01-11), Seiten 28-29, XP031643083, IEEE, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA ISBN: 978-1-4244-5240-8 * das ganze Dokument *	1-11	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
A	J. F. O'HARA, H. CHEN, A. J. TAYLOR, R. D. AVERITT, AND W. J. PADILLA: "Split-Ring Resonator Enhanced Terahertz Antenna", NONLINEAR OPTICS: MATERIALS, FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS, OSA TECHNICAL DIGEST (CD), Nr. paper TuB2, 30. Juli 2007 (2007-07-30), XP002637844, Kona, Hawaii * das ganze Dokument *	1-11	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 19. Mai 2011	Prüfer Hüschelrath, Jens
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 10 19 5245

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	AL-NAIB IBRAHEEM ET AL: "Thin-film sensing with planar asymmetric metamaterial resonators", APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US, Bd. 93, Nr. 8, 27. August 2008 (2008-08-27), Seiten 83507-83507, XP012113707, ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.2976636 * das ganze Dokument *	1-11	
A	JANSEN C ET AL: "Terahertz metasurfaces with high Q-factors", APPLIED PHYSICS LETTERS, Bd. 98, Nr. 5, 051109, Januar 2011 (2011-01), XP002637845, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS USA ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.3553193 * das ganze Dokument *	1-11	
A	SINGH R ET AL: "Asymmetric planar terahertz metamaterials", OPTICS EXPRESS, Bd. 18, Nr. 12, 2. Juni 2010 (2010-06-02), Seiten 13044-13050, XP002637846, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA USA ISSN: 1094-4087, DOI: 10.1364/OE.18.013044	1-11	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 19. Mai 2011	
		Prüfer Hüschelrath, Jens	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

 2
EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 10 19 5245

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

19-05-2011

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2007006552 A1	18-01-2007	AT 444577 T	15-10-2009
		DE 102005032900 B3	15-02-2007
		EP 1905125 A1	02-04-2008

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 5789750 A [0005]
- WO 2008054846 A2 [0006]
- KR 1020050015364 A [0006]
- JP 2001060821 A [0006]
- JP 2008028872 A [0006]
- JP 58123203 A [0006]
- CA 2292635 [0006]
- CA 2575130 [0006]
- US 20060152412 A1 [0006]
- US 5729017 A [0006]
- WO 02060017 A1 [0006]
- WO 03047036 A1 [0006]