

(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
01. Oktober 2020 (01.10.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/192979 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H01Q 1/38 (2006.01) G01N 21/3581 (2014.01)
H01Q 9/28 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/051315

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. Januar 2020 (20.01.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
19165658.6 27. März 2019 (27.03.2019) EP

(71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG
E.V.** [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).

(72) **Erfinder: NELLEN, Simon**; c/o Fraunhofer Institut für
Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, Einsteinufer
37, 10587 Berlin (DE). **GLOBISCH, Björn**; c/o Fraunhofer
Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut,
Einsteinufer 37, 10587 Berlin (DE).

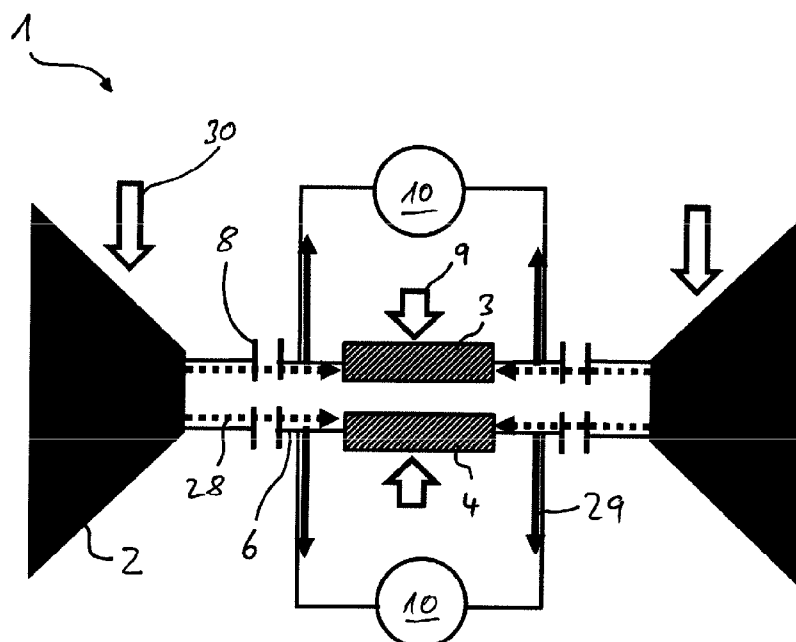
(74) **Anwalt: PFENNING, MEINIG & PARTNER MBB**;
Joachimsthaler Str. 10-12, 10719 Berlin (DE).

(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, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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,

(54) **Title:** PHOTOCONDUCTIVE MULTICHANNEL TERAHERTZ RECEIVING ANTENNA, RECEIVER, TERAHERTZ
SYSTEM AND TERAHERTZ METHOD

(54) **Bezeichnung:** PHOTOLEITENDE MEHRKANAL-TERAHERTZ-EMPFANGSANTENNE, EMPFÄNGER,
TERAHERTZSYSTEM UND TERAHERTZVERFAHREN

Fig. 1A



(57) **Abstract:** The invention relates to a receiving antenna (1) for terahertz radiation (30), comprising an antenna conductor (2) and a first photoconductor (3), which is interconnected with the antenna conductor (2), can be activated by light (9) and, in an activated state, enables an antenna current (28) flowing through the antenna conductor (2) and the first photoconductor (3), characterized in that the receiving antenna (1) has at least one second photoconductor (4), which likewise is interconnected with the antenna conductor (2) and can be activated by light (9), is connected in parallel with the first photoconductor (3) and, in an activated state, enables an antenna current (28) flowing through the antenna conductor (2) and the second photoconductor (4), at least one high-pass filter (8) being connected between each of the photoconductors (3, 4) and the antenna conductor (2). The invention further relates to a receiver for

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, ST, 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).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

terahertz radiation (30), to a terahertz system and to a method for generating and detecting terahertz radiation (30) using a corresponding terahertz system.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Empfangsantenne (1) für Terahertzstrahlung (30), umfassend einen Antennenleiter (2) und einen mit dem Antennenleiter (2) verschalteten und durch Licht (9) aktivierbaren ersten Photoleiter (3), der in einem aktivierten Zustand einen durch den Antennenleiter (2) und den ersten Photoleiter (3) fließenden Antennenstrom (28) ermöglicht, dadurch gekennzeichnet, dass die Empfangsantenne (1) mindestens einen ebenfalls mit dem Antennenleiter (2) verschalteten und durch Licht (9) aktivierbaren zweiten Photoleiter (4) aufweist, der mit dem ersten Photoleiter (3) parallel geschaltet ist und in einem aktivierten Zustand einen durch den Antennenleiter (2) und den zweiten Photoleiter (4) fließenden Antennenstrom (28) ermöglicht, wobei zwischen jeden der Photoleiter (3, 4) und den Antennenleiter (2) jeweils mindestens ein Hochpassfilter (8) geschaltet ist. Die Erfindung betrifft weiterhin einen Empfänger für Terahertzstrahlung (30), ein Terahertzsystem und ein Verfahren zum Erzeugen und Detektieren von Terahertzstrahlung (30) unter Verwendung eines entsprechenden Terahertzsystems.

Photoleitende Mehrkanal-Terahertz-Empfangsantenne, Empfänger,
Terahertzsystem und Terahertzverfahren

5 Die Erfindung betrifft eine Empfangsantenne und einen Empfänger für Terahertzstrahlung, ein Terahertzsystem und ein Verfahren zum Erzeugen und Detektieren von Terahertzstrahlung unter Verwendung eines entsprechenden Terahertzsystems.

10 Eine Empfangsantenne für Terahertzstrahlung der Art, die Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist, umfasst einen Antennenleiter und einen mit dem Antennenleiter verschalteten und durch Licht aktivierbaren ersten Photoleiter, der in einem aktivierten Zustand einen durch den Antennenleiter und den ersten Photoleiter fließenden Antennenstrom ermöglicht.

15 Empfangsantennen dieser Art, welche auch als photoleitende Terahertzantennen bezeichnet werden, sind zum Beispiel aus der Druckschrift

DE 10 2010 049 658 A1 bekannt. Um die Amplitude und/oder die Phase der empfangenen Terahertzstrahlung in einem gegebenen Messintervall bestimmen zu können, müssen bei Empfangsantennen nach dem Stand der Technik stets sequentielle Antennenstrommessungen vorgenommen werden, bei denen die Zeitlage der optischen Anregung relativ zu der empfangenen Terahertzstrahlung variiert wird. Die sequentielle Messung mindestens zweier solcher Messpunkte ist selbst dann nötig, wenn nur eine Amplitude der Terahertzstrahlung gemessen werden soll, da diese ohne die Information der Phasenlage nicht eindeutig bestimmt werden kann. Mit der sequentiellen Messung geht ein entsprechender Zeitaufwand einher, welcher die Anwendung erschweren kann; ferner erhöht die nötige Verstellbarkeit der Zeitlage der optischen Anregung die Komplexität des Empfängers und der entsprechenden Terahertzverfahren.

Der vorliegenden Erfindung liegt dementsprechend die Aufgabe zugrunde, eine Empfangsantenne und einen Empfänger für Terahertzstrahlung sowie ein Terahertzsystem bereitzustellen, mit welchen das Empfangen von Terahertzstrahlung sowie das Analysieren der darin enthaltenen Informationen schneller und einfacher vorgenommen werden können, und entsprechend ein schnelleres und einfacheres Verfahren zum Erzeugen und Detektieren von Terahertzstrahlung unter Verwendung eines solchen Terahertzsystems vorzuschlagen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Empfangsantenne für Terahertzstrahlung mit den Merkmalen des Anspruchs 1, einen Empfänger für Terahertzstrahlung mit den Merkmalen des Anspruchs 5, ein Terahertzsystem mit den Merkmalen des Anspruchs 10 und ein Verfahren zum Erzeugen und Detektieren von Terahertzstrahlung unter Verwendung eines entsprechenden Terahertzsystems mit den Merkmalen des Anspruchs 14. Vorteilhafte Ausgestaltungen, Weiterentwicklungen und Verwendungen der Erfindung ergeben sich mit den Merkmalen der Unteransprüche.

Eine erfindungsgemäße Empfangsantenne für Terahertzstrahlung weist außer dem eingangs genannten ersten Photoleiter mindestens einen ebenfalls mit dem Antennenleiter verschalteten und durch Licht aktivierbaren zweiten Photoleiter auf, der mit dem ersten Photoleiter parallel geschaltet ist und in ei-

nem aktivierten Zustand einen durch den Antennenleiter und den zweiten Photoleiter fließenden Antennenstrom ermöglicht, wobei zwischen jeden der Photoleiter und den Antennenleiter jeweils mindestens ein Hochpassfilter geschaltet ist.

5

Mit dem Einbringen von mindestens einem zweiten Photoleiter zusammen mit dem ersten Photoleiter wird ein gleichzeitiges Abtasten eines empfangenen Terahertzsignals mit mehreren optischen Signalen mit unterschiedlicher Zeitlage, also ein gleichzeitiges Messen der entsprechenden Antennenströme, ermöglicht, was den Messvorgang gegenüber der Verwendung nur eines Photoleiters entsprechend beschleunigen und die Verwendung einer Vorrichtung zum Verstellen der Zeitlage unnötig machen kann. Dafür genügt es, wenn zum Anregen oder Aktivieren der jetzt mindestens zwei Photoleiter zwei zeitlich versetzte optische Signale oder Signalanteile verwendet werden.

10

15

Es ist besonders auf die Funktion der Hochpassfilter hinzuweisen, die erfindungsgemäß jeweils zwischen den Photoleitern und den Antennenleiter geschaltet sind und zusammen mit den mehreren Photoleitern das gleichzeitige Messen mehrerer Antennenströme ermöglichen. Ohne die Hochpassfilter wären die Photoleiter miteinander elektrisch kurzgeschlossen, was eine individuelle Messung der Antennenströme unmöglich machen würde.

20

Typischerweise sind die Photoleiter an einem Fußpunkt des Antennenleiters angeordnet. Als Fußpunkt wird hierbei ein Teil des Antennenleiters bezeichnet, an dem beim Empfangen von Terahertzstrahlung eine durch die empfangene Terahertzstrahlung verursachte Wechselspannung anliegt, welcher also als ein mit einem Eingangswiderstand oder Fußpunktwideerstand der Antenne korrespondierender Punkt betrachtet werden kann.

25

Ein Antennenstrom fließt dann durch einen der Photoleiter, wenn es einen zeitlichen Überlapp zwischen dem aktivierten Zustand des Photoleiters und der durch die empfangene Terahertzstrahlung verursachten Wechselspannung gibt. Entsprechend kann ein messbarer Anteil des Antennenstroms ein Wechselstrom mit der auch Zwischenfrequenz genannten Frequenz f_z sein, die einer Differenzfrequenz $f_z = |f_{\text{THz}} - f_{\text{LO}}|$ zwischen einer als Terahertzfrequenz f_{THz} bezeichneten Frequenz der Terahertzstrahlung und einer auch Lokaloszil-

30

35

latorfrequenz genannten Frequenz f_{LO} einer optischen Anregung des jeweiligen Photoleiters entspricht. Entsprechend wird ein Signal, das etwa der Amplitude und/oder der Phase der Terahertzstrahlung aufmoduliert ist, durch die Empfangsantenne demoduliert. In dem Spezialfall, dass f_{THz} und f_{LO} identisch sind, ist der Antennenstrom ein Gleichstrom.

Die Frequenzkanten der Hochpassfilter können so gelegt werden, dass Terahertzfrequenzen transmittiert, geringere Frequenzen aber nicht transmittiert werden. Die Frequenzkante kann entsprechend zwischen f_z und f_{THz} liegen. Terahertzfrequenzen f_{THz} können dabei Frequenzen etwa in einem Frequenzbereich von 0,05 THz bis 20 THz, typischerweise in einem Frequenzbereich von 0,1 THz bis 10 THz sein. Entsprechend kann mindestens einer der Hochpassfilter z. B. eine Transmissionskante zwischen 50 GHz und 100 GHz aufweisen.

Zwischen jedem der Photoleiter und dem mindestens einen Hochpassfilter, der zwischen diesen Photoleiter und den Antennenleiter geschaltet ist, kann jeweils eine Kontaktierung zur Abnahme eines Messsignals vorgesehen sein. Ein solches Messsignal kann einem niederfrequenten Anteil des Antennenstroms entsprechen, also einem solchen Anteil des Antennenstroms, der Frequenzen unterhalb einer bestimmten Frequenzkante, insbesondere unterhalb der Transmissionskante des Hochpassfilters aufweist.

Zur Realisierung des Photoleiters kommt jedes Material oder jede Materialkombination in Frage, deren elektrische Leitfähigkeit sich beim Absorbieren von elektromagnetischer Strahlung, beispielsweise sichtbarem, ultravioletterem oder infrarotem Licht, also eines optischen Signals, verändert, typischerweise vergrößert. Dabei spricht man auch von optischer Anregung oder Aktivierung des Photoleiters. Mindestens einer der Photoleiter kann eine aktive Schicht aufweisen, die auf einem Substrat angeordnet ist. Beispielsweise kann ein solcher Photoleiter unter Verwendung von III-V-Verbindungshalbleitern realisiert werden. Dabei kann die aktive Schicht beispielsweise im Materialsystem In-Ga-Al-As-P realisiert sein, das Substrat kann beispielsweise aus InP oder GaAs bestehen.

Der Antennenleiter kann eine auf einem Substrat angeordnete strukturierte

Metallschicht sein. Dies ermöglicht insbesondere, die Empfangsantenne als optoelektronischen Chip zu realisieren, auf dem die optischen und elektronischen Elemente der Empfangsantenne integriert sind, was eine robuste und kompakte Bauform darstellt. Als Form des Antennenleiters kommen dabei etwa eine Bowtie-Form, also eine zweigeteilte Leiterform, umfassend zwei spiegelsymmetrisch angeordnete dreiecks- oder trapezförmige Leitersegmente, die sich zur Symmetrieachse hin verjüngen, oder auch eine Anordnung aus rechteckigen Streifen in Frage. Der Antennenleiter kann jedoch auch in dreidimensionalen Geometrien realisiert werden, beispielsweise als Hornantenne.

Die Hochpassfilter können ebenfalls auf verschiedene Weise realisiert sein. Mindestens einer der Hochpassfilter kann eine Kapazität sein oder umfassen, die mit einem der Photoleiter in Reihe geschaltet ist. Die Kapazität kann dabei beispielsweise durch eine dielektrische Schicht zwischen einer mit einem der Photoleiter verbundenen Leiterfläche und einer mit dem Antennenleiter verbundenen Leiterfläche realisiert sein. Diese Ausführungsform kann in vorteilhafter Weise auf einem optoelektronischen Chip integriert werden, sofern dieser als Bauform der Antenne verwendet wird.

Das ist jedoch nicht die einzige Möglichkeit. So kann auch – stattdessen oder zusätzlich – mindestens einer der Hochpassfilter eine Induktivität aufweisen, die zwischen einem der Photoleiter und ein Bezugspotential geschaltet ist. Die Induktivität kann dabei beispielsweise eine mäanderförmig angeordnete Leiterbahn sein. Auch diese Ausführungsform kann in vorteilhafter Weise auf einem optoelektronischen Chip integriert werden.

Die mehreren Photoleiter können an gleichwertigen Orten angeordnet sein, also so nahe beieinander liegen, dass an den Orten aller Photoleiter zumindest annähernd dasselbe elektrische Feld vorliegt. Dies ist gegeben, wenn der Abstand der Photoleiter kleiner als die kleinste zu detektierende Terahertzwellenlänge ist. Eine typische kleinste zu detektierende Terahertzwellenlänge kann beispielsweise 300 μm oder 50 μm betragen, was einer Bandbreite von 1 THz oder 5 THz entspricht. Der erste Photoleiter und der zweite Photoleiter können einen Abstand von weniger als 300 μm haben, vorzugsweise einen Abstand von weniger als 200 μm , weniger als 100 μm oder weniger als 50 μm .

Der vorgeschlagene Empfänger für Terahertzstrahlung, in dem eine Empfangsantenne beschriebener Art ihre Vorteile entfaltet, umfasst eine Empfangsantenne für Terahertzstrahlung gemäß der Erfindung und mindestens eine Lichtquelle, eingerichtet zum Erzeugen mindestens eines Lichtsignals zum Aktivieren des ersten Photoleiters und des mindestens einen zweiten Photoleiters der Empfangsantenne, wobei die mindestens eine Lichtquelle mit dem ersten Photoleiter und/oder dem mindestens einen zweiten Photoleiter der Empfangsantenne optisch gekoppelt ist zum Beaufschlagen des ersten Photoleiters und des zweiten Photoleiters mit Licht aus dem mindestens einen Lichtsignal.

Das mindestens eine Lichtsignal kann zeitlich, im Frequenzraum oder in der Phase moduliert sein. Beispielsweise kann es durch mindestens ein Schwebungssignal oder durch vorzugsweise mehrere Lichtpulse gegeben sein.

Der Empfänger kann weiterhin mindestens einen Strahlteiler umfassen, eingerichtet, um das von der Lichtquelle erzeugte Lichtsignal in einen ersten Anteil und einen zweiten Anteil aufzuteilen, wobei die Lichtquelle mit dem ersten Photoleiter und dem mindestens einen zweiten Photoleiter der Empfangsantenne optisch gekoppelt ist zum Beaufschlagen des ersten Photoleiters mit dem ersten Anteil des Lichtsignals und zum Beaufschlagen des zweiten Photoleiters mit dem zweiten Anteil des Lichtsignals, so dass der zweite Anteil des Lichtsignals den zweiten Photoleiter mit einer definierten Phasenverschiebung und/oder Laufzeitdifferenz gegenüber dem den ersten Photoleiter erreichenden ersten Anteil des Lichtsignals erreicht.

Die Photoleiter können also durch verschiedene Anteile desselben Lichtsignals, die durch mindestens einen Strahlteiler gebildet werden, aktiviert werden. Dieses Lichtsignal kann seinerseits als Schwebungssignal durch Überlagern mehrerer Lichtsignale mittels mindestens eines Kopplers gebildet werden, wobei es unerheblich ist, ob der oder die Koppler vor oder hinter dem oder den Strahlteilern angeordnet sind. Auch im letztgenannten Fall, wenn das Schwebungssignal erst nach der Aufteilung zweier Lichtsignale in jeweils zwei Anteile durch Überlagern jeweils eines der Anteile beider Lichtsignale mit jeweils einem von zwei Kopplern gebildet wird, seien die die zwei Koppler verlassenden Lichtsignale also als zwei Anteile desselben Lichtsignals, nämlich

desselben Schwebungssignals, bezeichnet.

In manchen Ausführungsformen des Empfängers kann die mindestens eine Lichtquelle mittels eines planaren integrierten Wellenleiter-Chips mit dem Photoleiter verbunden sein. Das Material der Wellenleiter eines solchen Chips kann beispielsweise ein Polymer, ein Nitrid, ein Phosphid oder ein Glas sein. Ist dies der Fall, können auch die Lichtquelle, die Empfangsantenne und der integrierte Wellenleiter auf einem gemeinsamen Substrat angeordnet sein, wodurch eine robuste und kompakte Bauform erzielt wird. Die Ausführung als integrierter Wellenleiter hat den Vorteil, dass dadurch geringere Dimensionen der Lichtkopplung an die Photoleiter erzielt werden können als mit optischen Faser, was insbesondere bei Abständen der Photoleiter von weniger als 50 µm wichtig ist.

Die erwähnte Phasenverschiebung und/oder Laufzeitdifferenz der die Photoleiter erreichenden Anteile des Lichtsignals oder eine entsprechende Verschiebung zwischen mehreren Lichtsignalen, die zum Aktivieren der verschiedenen Photoleiter verwendet werden können, stellt sicher, dass auch die gleichzeitig abgetasteten Anteile der empfangenen Terahertzstrahlung bezüglich ihrer Phasenlage bzw. Zeitlage verschieden sind. Damit ist es möglich, die Amplitude und/oder Phase der empfangenen Terahertzstrahlung – auch gleichzeitig – ohne sequentielle Messungen zu bestimmen.

Dies ermöglicht es unter anderem, den beschriebenen Empfänger für das im Bereich der Kommunikationstechnik verbreitete In-Phase-Quadratur-Verfahren (IQ-Verfahren) zu verwenden, wodurch beispielsweise die Methode der Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM) auch für Terahertzkommunikation erschlossen wird. Dies ist mit aus dem Stand der Technik bekannten Empfängern nicht möglich, da erst die hier vorgeschlagene Empfangsantenne die Möglichkeit bietet, zwei Komponenten des Signals gleichzeitig abzutasten. Bei der QAM-Kommunikation wird dem Signal senderseitig eine Information aufgeprägt, wobei sowohl die Amplitude als auch die Phase des Trägersignals moduliert werden. Dadurch lassen sich zur digitalen Kommunikation Symbole in einem zweidimensionalen Raster definieren. Die beiden Komponenten werden hierbei als In-Phase- Komponente und Quadratur-Komponente (I- und Q-Komponente) bezeichnet. Die I- und Q-

Komponenten werden empfängerseitig aus zwei gleichzeitigen Messungen des Signals mit definierter Phasenverschiebung, typischerweise von 90° ($\pi/2$), bestimmt.

5 Die Phasenverschiebung und/oder Laufzeitdifferenz kann beispielsweise durch unterschiedlich lange optische Pfadlängen bei der optischen Kopplung der jeweiligen Lichtsignale oder Anteile des Lichtsignals an die Photoleiter realisiert werden. Dies kann durch unterschiedliche optische Faserlängen oder, im Fall der Ausführung als integriertem Wellenleiter-Chip, durch unter-
10 unterschiedliche Längen oder unterschiedliche Brechungsindizes der entsprechenden Wellenleiter verwirklicht werden.

Als Lichtquelle kann vorteilhaft eine Laserlichtquelle verwendet werden, wo-
bei die Laserlichtquelle einen oder mehrere Laser, beispielsweise Diodenlaser
15 enthalten kann.

Die mindestens eine Lichtquelle kann mindestens zwei gegeneinander ver-
stimmte oder verstimmbare Dauerstrichlaser zum Erzeugen mindestens eines
optischen Schwebungssignals und/oder einen Pulslaser zum Erzeugen von
20 Lichtpulsen aufweisen.

Dabei ist die Erzeugung eines Schwebungssignals, welches dann in zwei Antei-
le mit bekannter Phasenverschiebung aufgeteilt wird, besonders vorteilhaft
für die oben skizzierte Verwendung des Empfängers als IQ-Empfänger, bei-
25 spielsweise in der Kommunikation. Auch in der Sensorik kann eine solche
Verwendung des Empfängers zum Messen der Eigenschaften einer Probe vor-
teilhaft sein. Hierbei ist es manchmal von Interesse, die optische Dicke eines
Objekts anhand von Phasenverschiebungen zu messen, die mehrere Phasen-
perioden umfassen können. Um diese eindeutig bestimmen zu können, wird
30 im Stand der Technik die Terahertzfrequenz in einem bestimmten Bereich
verstimmt. Der hier vorgeschlagene Empfänger kann auch diese Methode
beschleunigen, indem mindestens zwei Schwebungssignale verschiedener
Frequenz gleichzeitig erfasst werden.

35 Auch bei Verwendung eines Pulslasers ergeben sich vorteilhafte Anwendun-
gen des Empfängers in der Sensorik. Bei solchen Anwendungen geht es bei-

spielsweise um Laufzeitmessungen, etwa bei der Bestimmung der Dicke eines Objekts, bei der die Zeitlage von Reflexionen an Vorder- und Rückseite des Objekts bestimmt wird. Im Stand der Technik wird hierzu die Zeitlage des Ab-
tastpulses über einen Bereich verstellt, der mindestens der einfachen oder
5 doppelten optischen Dicke des Objekts entspricht, etwa mittels mechanischer Verzögerungsstrecken. Mit dem hier beschriebenen Empfänger können bei-
spielsweise zwei Abtastpulse bereits in der erwarteten Zeitlage zueinander
eingestellt werden, wodurch nur noch die Laufzeitdifferenz in einem wesent-
lich kleineren Bereich verstellt werden muss. Dies spart wiederum Zeit bei der
10 Messung.

Der Empfänger kann weiterhin eine verstellbare optische Verzögerungseinheit aufweisen, dazu eingerichtet, die Phasenverschiebung und/oder Laufzeitdiffe-
renz des zweiten Anteils des Lichtsignals am zweiten Photoleiter gegenüber
15 dem ersten Anteil des Lichtsignals am ersten Photoleiter verstellbar zu ma-
chen.

Eine solche verstellbare Verzögerungseinheit kann beispielsweise als mecha-
nische Verzögerungstrecke oder als elektrooptisches Element realisiert wer-
20 den. Wie oben beschrieben ist eine verstellbare Verzögerungseinheit bei-
spielsweise bei der Verwendung des Empfängers in der Sensorik vorteilhaft.

Der Empfänger kann eine Auswerteeinheit aufweisen, eingerichtet zum Aus-
werten eines ersten Messsignals, entsprechend dem durch den ersten Photo-
25 leiter fließenden Antennenstrom oder genauer einem niederfrequentem An-
teil dieses Antennenstroms, und eines zweiten Messsignals, entsprechend
dem durch den zweiten Photoleiter fließenden Antennenstrom oder genauer
einem niederfrequentem Anteil dieses Antennenstroms, zum Bestimmen ei-
ner Amplitude und/oder einer Phasenlage einer empfangenen
30 Terahertzstrahlung unter Verwendung der definierten Phasenverschiebung
und/oder Laufzeitdifferenz.

Durch das Auswerten wird die in der Terahertzstrahlung enthaltene Informa-
tion, die der Strahlung etwa durch den Sender oder eine Probe aufgeprägt
35 sein kann, zur weiteren Verwendung bereitgestellt.

Die Messsignale können dabei durch Messen der Ströme durch die Photoleiter beispielsweise mittels Transimpedanzverstärkern (TIA) erzeugt werden. Solche TIAs sind als rauscharme Verstärker für kleine Ströme besonders geeignet; andere Strommessgeräte können ebenfalls verwendet werden.

5

Das vorgeschlagene Terahertzsystem, das einen Sender, eingerichtet zum Erzeugen von Terahertzstrahlung, und einen Empfänger für Terahertzstrahlung zuvor beschriebener Art, eingerichtet zum Empfangen der mittels des Senders erzeugten Terahertzstrahlung, umfasst, bildet eine vorteilhafte Anwendung des beschriebenen Empfängers bzw. der beschriebenen Empfangsantenne.

10

Durch das Zusammenspiel von Sender und Empfänger des Terahertzsystems können die oben skizzierten vorteilhaften Anwendungen realisiert werden. Dafür kann das System in verschiedener Weise anwendungsbezogen spezifiziert sein.

15

Der Sender kann einen Antennenleiter und ein lichtempfindliches Element aufweisen, das so mit dem Antennenleiter optisch gekoppelt ist, dass es in einem aktivierten Zustand und bei Anliegen einer Vorspannung einen durch den Antennenleiter und das lichtempfindliche Element fließenden Antennenstrom verursacht.

20

Damit können die bereits bekannten Vorteile einer photoleitenden Terahertz-Sendeantenne mit denen des hier beschriebenen photoleitenden Mehrkanal-Empfängers kombiniert werden.

25

Die mindestens eine Lichtquelle des Empfängers kann dann ferner optisch mit dem lichtempfindlichen Element des Senders gekoppelt sein, so dass das lichtempfindliche Element des Senders durch einen weiteren Anteil des von der Lichtquelle erzeugten Lichtsignals aktivierbar ist.

30

Damit können Senden und Empfangen kohärent eingerichtet sein. Ein solches Terahertzsystem eignet sich besonders dazu, Messungen an einer Probe vorzunehmen, wobei die Probe zwischen dem Sender und dem Empfänger angeordnet wird und einer übertragenen Terahertzstrahlung Informationen aufprägt, welche nach entsprechender Auswertung Rückschlüsse auf Eigenschaf-

35

ten der Probe zulassen.

Unabhängig davon, wie der Sender aktiviert wird, kann der Sender einen Modulator aufweisen, der dazu eingerichtet ist, die durch den Sender erzeugte Terahertzstrahlung durch Phasenmodulation oder Amplitudenmodulation mit einer Information zu beaufschlagen. Dabei kann die Modulation vorteilhaft im optischen Bereich realisiert werden.

Die somit realisierte Ausführungsform eignet sich, besonders in Verbindung mit einem als IQ-Empfänger eingerichteten Empfänger, insbesondere zur Kommunikation. Dabei muss, sofern als Sender wie oben beschrieben ebenfalls eine photoleitende Antenne verwendet wird, das Anregungslicht für das lichtempfindliche Element des Senders nicht notwendigerweise von der selben Lichtquelle stammen wie das Anregungslicht für die Photoleiter der Empfangsantenne des Empfängers, da für die digitale Kommunikation mit QAM jeweils nur die Änderung des Signals zwischen diskreten Zuständen innerhalb bestimmter Zeitintervalle erfasst werden muss. Dazu genügt es, auf Sender- und Empfängerseite Anregungssignale mit im Wesentlichen gleicher Frequenz zu verwenden, so dass ausreichende Kohärenz der Lichtsignale in den relevanten Zeitintervallen gegeben ist.

Der Modulator kann dabei durch eine photoleitende Senderantenne in Verbindung mit einer verstellbaren optischen Verzögerungseinheit realisiert sein.

Ein Verfahren zum Erzeugen und Detektieren von Terahertzstrahlung unter Verwendung eines Terahertzsystems gemäß der Erfindung umfasst die Schritte:

Erzeugen eines Terahertzsignals mittels des Senders des Terahertzsystems;
Empfangen des mittels des Senders erzeugten Terahertzsignals mittels des Empfängers des Terahertzsystems, wobei das Empfangen die Schritte umfasst:

Aktivieren des ersten Photoleiters der Empfangsantenne des Empfängers durch den ersten Anteil des von der mindestens einen Lichtquelle des Empfängers erzeugten Lichtsignals,

Aktivieren des mindestens einen zweiten Photoleiters der Empfangsantenne des Empfängers durch den zweiten Anteil des von der mindestens einen Lichtquelle des Empfängers erzeugten Lichtsignals,

gleichzeitiges Messen des ersten Messsignals, entsprechend dem durch den ersten Photoleiter fließenden Antennenstrom oder genauer einem niederfrequenten Anteil dieses Antennenstroms, und des zweiten Messsignals, entsprechend dem durch den zweiten Photoleiter fließenden Antennenstrom oder genauer einem niederfrequenten Anteil dieses Antennenstroms, während des Aktivierens des ersten Photoleiters und des zweiten Photoleiters;

und Bestimmen der Amplitude und/oder der Phase des empfangenen Terahertzsignals aus dem ersten Messsignal und dem zweiten Messsignal unter Verwendung der definierten Phasenverschiebung und/oder Laufzeitdifferenz zwischen dem ersten und dem zweiten Anteil des Lichtsignals.

Im letzten Schritt kann dabei zum Bestimmen der Amplitude und/oder der Phase die Auswerteeinheit des Empfängers verwendet werden. Mit dem vorgeschlagenen Verfahren wird es möglich, die oben beschriebenen Vorteile der Empfangsantenne, des Empfängers und des Terahertzsystems für Kommunikation oder Sensorik verfahrensmäßig nutzbar zu machen.

In manchen Beispielen des Verfahrens können der erste Anteil des von der mindestens einen Lichtquelle des Empfängers erzeugten Lichtsignals und der zweite Anteil des von der Lichtquelle des Empfängers erzeugten Lichtsignals optische Schwebungen oder Lichtpulse sein.

Bei der Verwendung von optischen Schwebungen eignet sich das Verfahren, wie oben ausgeführt, besonders für die Kommunikation mittels QAM oder für die Sensorik. Bei der Verwendung von Lichtpulsen eignet sich das Verfahren besonders für Laufzeitmessungen.

Weiterhin kann das vorgeschlagene Verfahren, sofern der Sender einen Modulator aufweist, die Schritte umfassen: Beaufschlagen des mittels des Senders des Terahertzsystems erzeugten Terahertzsignals mit einer Information durch Modulation der Phase und/oder der Amplitude des Terahertzsignals mittels des Modulators und Erfassen der Information, mit welcher das Terahertzsignal beaufschlagt ist

In dieser Form eignet sich das Verfahren besonders gut für die Kommunikati-

on.

In einem solchen Verfahren kann weiterhin beim Beaufschlagen des mittels
des Senders des Terahertzsystems erzeugten Terahertzsignals mit einer In-
formation sowohl die Phase als auch die Amplitude des Terahertzsignals unter
Verwendung von Quadraturamplitudenmodulation moduliert werden und
beim Erfassen der Information, mit welcher das Terahertzsignal beaufschlagt
ist, das erste Messsignal und das zweite Messsignal als In-Phase-Komponente
und Quadratur-Komponente verwendet werden.

Das Verfahren eignet sich somit besonders gut für die digitale Kommunikati-
on. In diesem Zusammenhang ermöglicht das Verfahren eine hohe Bandbreite
und entsprechend eine hohe Datenübertragungsrate unter Ausnutzung eines
Frequenzbereichs des elektromagnetischen Spektrums, der für solche An-
wendungen noch wenig erschlossen ist.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren kann ebenfalls weiterhin die Schritte um-
fassen: Anordnen einer Probe in einem Strahlengang zwischen dem Sender
und dem Empfänger des Terahertzsystems, wobei ein Anteil des von dem
Sender erzeugten Terahertzsignals durch Wechselwirken mit der Probe mit
einer geänderten Phase und/oder Amplitude und/oder einer zweiten Lauf-
zeitdifferenz beaufschlagt wird, Erfassen der durch Wechselwirken mit der
Probe geänderten Phase und/oder Amplitude und/oder einer von der Probe
verursachten zweiten Laufzeitdifferenz des von dem Empfänger empfangenen
Terahertzsignals und Bestimmen einer Eigenschaft oder mehrerer Eigenschaf-
ten der Probe aus der so erfassten geänderten Phase und/oder Amplitude
und/oder Frequenz und/oder zweiten Laufzeitdifferenz.

In dieser Form eröffnet das Verfahren die Möglichkeit, Eigenschaften der Pro-
be, welche Terahertzmessungen zugänglich sind, besonders schnell und ein-
fach zu bestimmen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand Fig. 1A bis
Fig. 6 erläutert. Dabei zeigen, jeweils schematisch,

Fig. 1A eine Empfangsantenne für Terahertzstrahlung,

Fig. 1B eine Aufsicht und eine Seitenansicht einer Empfangsantenne der in Fig. 1A gezeigten Art, wobei diese als optoelektronischer Chip realisiert ist,

5 Fig. 2 eine Detailansicht eines Empfängers für Terahertzstrahlung mit einer Empfangsantenne der in Fig. 1B gezeigten Art,

Fig. 3 eine Skizze eines Funktionsprinzips eines IQ-Empfängers für Terahertzstrahlung mit einer Empfangsantenne gemäß Fig. 1A oder 1B,

10

Fig. 4 ein homodynes Terahertzsystem mit Dauerstrichlasern, das einen IQ-Empfänger der in Fig. 3 skizzierten Art aufweist,

15

Fig. 5 ein homodynes Terahertzsystem mit einem Puls laser, das ein weiteres Beispiel eines Empfängers für Terahertzstrahlung mit einer Empfangsantenne der in Fig. 1A oder 1B gezeigten Art aufweist,

Fig. 6 ein heterodynes Terahertzsystem mit einem Empfänger wie in Fig. 4, aber mit einer anderen Ausführungsform eines Senders.

20

Die in Fig. 1A skizzierte Empfangsantenne 1 für Terahertzstrahlung 30 weist, wie auch das konkrete Ausführungsbeispiel aus Fig. 1B, einen zweigeteilten Antennenleiter 2 und einen mit dem Antennenleiter 2 verschalteten und durch Licht 9 aktivierbaren ersten Photoleiter 3 auf, der in einem aktivierten Zustand einen durch den Antennenleiter 2 und den ersten Photoleiter 3 fließenden Antennenstrom 28 ermöglicht.

25

Weiterhin weist die Empfangsantenne 1 einen ebenfalls mit dem Antennenleiter 2 verschalteten und durch Licht 9 aktivierbaren zweiten Photoleiter 4 auf, der mit dem ersten Photoleiter 3 parallel geschaltet ist und in einem aktivierten Zustand einen durch den Antennenleiter 2 und den zweiten Photoleiter 4 fließenden Antennenstrom 28 ermöglicht. Zwischen jeden der Photoleiter 3, 4 und jeden der beiden Teile des zweigeteilten Antennenleiter 2 ist mittels elektrischer Kontaktierungen 6 jeweils ein Hochpassfilter 8 geschaltet.

30

Mittels der Kontaktierungen 6 ist jeder der Photoleiter 3, 4 mit jeweils einem

35

Messverstärker 10 verbunden. Die Kontaktierungen 6 ermöglichen es, mittels der Messverstärker 10 jeweils ein Messsignal, etwa einen niederfrequenten Anteil 29 des durch den jeweiligen Photoleiter 3, 4 fließenden Antennenstroms 28, abzunehmen.

5 Wiederkehrende Merkmale sind in den Figuren jeweils mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Die in Fig. 1B gezeigte Empfangsantenne 1 ist als optoelektronischer Chip auf einem Substrat 5, bestehend aus InP oder GaAs, ausgeführt.

10 Auf dem Substrat 5 sind aufgebracht: der erste Photoleiter 3 und der zweite Photoleiter 4; die Kontaktierungen 6, die mit den Photoleitern 3 und 4 elektrisch verschaltet sind; der zweigeteilte Antennenleiter 2, ausgeführt als metallische Schicht und von den elektrischen Kontaktierungen 6 durch eine dielektrische Schicht 7 getrennt, wobei die dielektrische Schicht 7 zusammen mit
15 einem darüber liegenden Teil des Antennenleiters 2 und jeweils einer der Kontaktierungen 6 jeweils einen Kondensator bildet, der als Hochpassfilter 8 zwischen dem Antennenleiter 2 und dem jeweiligen Photoleiter 3 oder 4 wirkt. Die beiden Photoleiter 3 und 4 sind in dieser Anordnung parallel geschaltet.

20 Die Kondensatoren, gebildet aus der dielektrischen Schicht 7, den Kontaktierungen 6 und dem Antennenleiter 2, sind dabei so dimensioniert, dass sich für den Hochpassfilter 8 eine Transmissionskante zwischen 50 GHz und 100 GHz ergibt.

25 Die Photoleiter 3 und 4 sind als epitaktische Schichten im Materialsystem In-Ga-Al-As-P realisiert. Der Abstand zwischen den Photoleitern 3 und 4 beträgt weniger als 50 μm . Die Photoleiter 3 und 4 sind durch Licht 9 (als Pfeile angedeutet) aktivierbar, wodurch in einem aktivierten Zustand jeweils ein durch
30 den Antennenleiter 2 und einen aktivierten Photoleiter 3 oder 4 fließender Antennenstrom 28 ermöglicht wird. Die Photoleiter 3 und 4 sind dabei so angeordnet, dass zwischen ihnen ein Abstand von weniger als 50 μm besteht, möglicherweise sogar weniger als 20 μm oder 10 μm .

35 Die Empfangsantenne 1 weist weiterhin zwei Messverstärker 10 auf, wobei jeder der Messverstärker über Zuleitungen 11 mit den Kontaktierungen 6 ei-

nes der Photoleiter 3 und 4 verbunden ist. Der mit dem ersten Photoleiter 3 verbundene Messverstärker 10 ist eingerichtet zum Erfassen eines ersten Messsignals, das dem niederfrequenten Anteil des durch den ersten Photoleiter 3 fließenden Antennenstroms entspricht; der mit dem zweiten Photoleiter 4 verbundene Messverstärker 10 ist eingerichtet zum Erfassen eines zweiten Messsignals, das dem niederfrequenten Anteil des durch den zweiten Photoleiter 4 fließenden Antennenstroms entspricht. Als Messverstärker werden Transimpedanzverstärker (TIAs) verwendet, die sich durch ihre gute Eignung zum Messen kleiner Ströme auszeichnen.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel der Empfangsantenne 1 (nicht gezeigt), kann die dielektrische Schicht 7 entfallen, können die Kontaktierungen 6 also direkt mit dem Antennenleiter 2 elektrisch verschaltet sein. Die Hochpassfilter 8 können dann durch mäanderförmige Leiterbahnen als Induktivitäten realisiert sein, die von den Kontaktierungen 6 abzweigen und mit einem Bezugspotential verschaltet sind.

Eine Anwendung der Empfangsantenne aus Fig. 1A oder 1B ist in Fig. 4 zu sehen, die einen Empfänger 12 für Terahertzstrahlung im Kontext eines Terahertzsystems 21 zeigt. Der Empfänger 12 weist außer der Empfangsantenne 1 eine Lichtquelle 13, zwei Strahlteiler 14 und zwei Koppler 14' auf. Die Lichtquelle 13 ist zum Erzeugen eines Lichtsignals zum Aktivieren des ersten Photoleiters 3 und des zweiten Photoleiters 4 eingerichtet.

Die Lichtquelle 13 enthält zwei gleichartige Dauerstrichlaser L1 und L2, die gegeneinander so verstimmt oder verstimmbar sind, dass durch Kombinieren von Licht der beiden Laser L1 und L2 ein optisches Schwebungssignal erzeugt werden kann.

Die Dauerstrichlaser L1 und L2 sind dazu mit Strahlteilern 14 gekoppelt. Zur Aktivierung der Empfangsantenne vorgesehene Lichtanteile des von den Lasern L1 und L2 erzeugten Lichts werden zunächst mittels der Strahlteiler 14 in jeweils zwei Anteile aufgeteilt. Einer dieser Anteile wird mit einer Phasenverschiebung $\Delta\Phi$ beaufschlagt. Mittels der Koppler 14' wird nun jeweils einer der auf den Laser L1 und einer der auf den Laser L2 zurückgehenden Anteile überlagert, wodurch zwei getrennte Anteile desselben mittels der beiden Laser L1

und L2 der Lichtquelle erzeugten Schwebungssignals gebildet werden.

Auf diese oder ähnliche Weise kann ein erster Anteil eines Lichtsignals dem ersten Photoleiter 3 und ein demgegenüber mit einer definierten Phasenverschiebung und/oder Laufzeitdifferenz beaufschlagter zweiter Anteil desselben Lichtsignals dem zweiten Photoleiter 4 zugeführt werden. Durch Wellenleiter 15 wird ein erster dieser Anteile des Schwebungssignals zum ersten Photoleiter 3 und ein zweiter dieser Anteile zum zweiten Photoleiter 4 geleitet.

Wie in Fig. 2 gezeigt, können die Wellenleiter 15 dabei durch einen planaren integrierten Wellenleiter-Chip 18 realisiert sein. Die Anteile des Lichtsignals werden bei diesem Ausführungsbeispiel über optische Fasern 24 in die Wellenleiter 15 eingekoppelt. Derjenige Wellenleiter 15 oder diejenige optische Faser 24, der bzw. die den zweiten Anteil des Lichtsignals dem zweiten Photoleiter 4 zuführt, ist durch einen Längenunterschied gegenüber dem Wellenleiter 15 bzw. der optischen Faser 24, der bzw. die den ersten Anteil des Lichtsignals dem ersten Photoleiter 3 zuführt, dazu eingerichtet, den zweiten Anteil des Lichtsignals mit einer festen Phasenverschiebung von 90° zu beaufschlagen. Durch den integrierten Wellenleiter-Chip 18 kann die Dimension der Fasern 24 an die Dimension und den Abstand der Photoleiter 3 und 4 angepasst werden.

Der Empfänger 12 weist ferner einen digitalen Prozessor (nicht gezeigt) als Auswerteeinheit auf, welche die von den Messverstärkern 10 erfassten Messsignale auswertet und daraus – durch Ausnutzen der bekannten Phasenverschiebung – die Amplitude und die Phase der empfangenen Terahertzstrahlung bestimmt.

In dem in Fig. 2 gezeigten Beispiel ist der integrierte Wellenleiter-Chip 18 als separates Element ausgeführt. Stattdessen können die Wellenleiter 15 auch ebenso wie die Lichtquelle 13 auf dem Substrat 5 des optoelektronischen Chips der Empfangsantenne 1 integriert sein.

Außerdem kann der Empfänger 12, wie in Fig. 2 gezeigt, eine verstellbare optische Verzögerungseinheit 17 aufweisen, die in einen der Wellenleiter 15

integriert und dazu eingerichtet ist, den zweiten Anteil des Lichtsignals mit einer verstellbaren Phasenverschiebung zu beaufschlagen.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel des Empfängers 12, das in Fig. 5 im Kontext eines weiteren Terahertzsystems 21' abgebildet ist, tritt an die Stelle der beiden Dauerstrichlaser L1 und L2 ein Puls laser L, der zum Erzeugen eines optischen Lichtpulses eingerichtet ist. Dieser Empfänger 12 weist ebenfalls eine verstellbare optische Verzögerungseinheit 17 auf, wobei diese dazu eingerichtet ist, den zweiten Anteil des Lichtsignals mit einer verstellbaren Laufzeitdifferenz zu beaufschlagen.

Der in Fig. 4 als Bestandteil des Terahertzsystems 21 gezeigte Empfänger 12 kann – wie weiter oben beschrieben – als IQ-Empfänger verwendet werden. Das entsprechende Funktionsprinzip ist in Fig. 3 dargestellt. Der Antennenleiter 2 des Empfängers 12 ist, wie oben beschrieben, über die Hochpassfilter 8 (hier nicht gezeigt) mit dem ersten Photoleiter 3 und dem zweiten Photoleiter 4 verbunden. Diese werden durch das periodische Schwebungssignal 9' aktiviert, wobei der zweite Anteil des Schwebungssignals 9' gegenüber dem ersten Anteil eine Phasenverschiebung von 90° aufweist. Das in Fig. 1A und 1B veranschaulichte Licht 9 zum Anregen oder Aktivieren der Photoleiter 3 und 4 entspricht in diesem Fall den zwei Anteilen des Schwebungssignals 9'. Das bei gegebener Frequenz durch seine Phase und seine Amplitude bestimmte Terahertzsignal 19 kann – wie abgebildet – im Zeigerdiagramm in eine I-Komponente 19' und eine dazu orthogonale Q-Komponente 19'' zerlegt werden. Aufgrund der Phasenverschiebung von 90° zwischen den beiden Anteilen des Schwebungssignals 9' können die durch die entsprechenden Photoleiter 3 und 4 fließenden Ströme mit den Komponenten 19' und 19'' identifiziert werden, was die Bestimmung der Phase und Amplitude des Terahertzsignals 19 ermöglicht.

Das in Fig. 4 gezeigte Terahertzsystem 21 umfasst auch einen Sender 20, eingerichtet zum Erzeugen von Terahertzstrahlung, wobei der Empfänger 12 zum Empfangen von mittels des Senders 20 erzeugter Terahertzstrahlung eingerichtet ist.

Der Sender 20 weist einen Antennenleiter 2 und ein mit dem Antennenleiter 2

optisch gekoppeltes lichtempfindliches Element 27 auf, wobei das lichtempfindliche Element 27 in einem aktivierten Zustand und bei Anlegen einer Vorspannung einen durch den Antennenleiter 2 und das lichtempfindliche Element 27 fließenden Antennenstrom verursacht. Der Sender 20 gleicht somit in seinem Aufbau weitgehend dem Empfänger 12, wobei der Sender 20 nur ein lichtempfindliches Element 27 aufweist. Die Vorspannung wird von einer Spannungsquelle 22 geliefert.

Sender 20 und Empfänger 12 werden in diesem Ausführungsbeispiel ferner von derselben Lichtquelle 13 gespeist, d.h. die Lichtquelle 13 des Empfängers 12 ist optisch mit dem lichtempfindlichen Element 27 des Senders 20 gekoppelt und zum Erzeugen eines Lichtsignals zum Aktivieren des lichtempfindlichen Elements 27 des Senders 20 eingerichtet. Das Terahertzsystem 21 wird daher auch als homodynes System bezeichnet.

Empfängerseitig wird das optische Schwebungssignal 9' durch den Strahlteiler 14 in den ersten Anteil und den zweiten Anteil aufgeteilt, welche durch die Wellenleiter 15 zu den Photoleitern 3 und 4 geleitet werden, wobei der zweite Anteil beim Erreichen des zweiten Photoleiters 4 die Phasenverschiebung $\Delta\Phi$ gegenüber dem ersten Anteil beim Erreichen des ersten Photoleiters 3 aufweist.

Das Terahertzsystem 21 ermöglicht ein Verfahren zum Erzeugen und Detektieren von Terahertzstrahlung unter Verwendung des Terahertzsystems 21. Hierbei wird mittels des Senders 20 ein Terahertzsignal 19 erzeugt. Dazu wird an den Antennenleiter 2 des Senders 20 mittels der Spannungsquelle 22 eine Vorspannung angelegt. Das lichtempfindliche Element 27 des Senders 20 wird durch das von der Lichtquelle 13 erzeugte Lichtsignal aktiviert, wodurch ein Antennenstrom als Wechselstrom mit der Periode des Schwebungssignals durch das lichtempfindliche Element 27 fließt, was das Abstrahlen des Terahertzsignals 19 durch den Antennenleiter 2 zur Folge hat.

Das mittels des Senders 20 erzeugte Terahertzsignal 19 wird mittels des Empfängers 12 empfangen. Dazu wird der erste Photleiter 3 der Empfangsantenne 1 des Empfängers 12 durch den ersten Anteil des von der Lichtquelle 13 des Empfängers 12 erzeugten Lichtsignals aktiviert. Der zweite Photleiter 4

der Empfangsantenne 2 des Empfängers 12 wird durch den zweiten Anteil des von der Lichtquelle 13 des Empfängers 12 erzeugten Lichtsignals aktiviert, wobei der zweite Anteil gegenüber dem ersten Anteil eine Phasenverschiebung $\Delta\Phi$ von 90° aufweist. Gleichzeitig mit dem Aktivieren der Photoleiter 3 und 4 wird mittels der Messverstärker 10 das erste Messsignal, entsprechend dem niederfrequenten Anteil des durch den ersten Photoleiter 3 fließenden Antennenstroms, und das zweite Messsignal, entsprechend dem niederfrequenten Anteil des durch den zweiten Photoleiter 4 fließenden Antennenstroms, gemessen.

Durch Ausnutzen der bekannten Phasenverschiebung $\Delta\Phi$ wird unter Verwendung der Auswerteeinheit die Amplitude und Phase des empfangenen Terahertzsignals 19 aus dem ersten Messsignal und dem zweiten Messsignal bestimmt.

Eine beispielhafte Anwendung des beschriebenen Verfahrens eignet sich besonders zur Untersuchung einer Probe 23. Die Probe 23 wird hierbei in einem Strahlengang zwischen dem Sender 20 und dem Empfänger 12 angeordnet (in Fig. 4 durch Pfeil angedeutet). Ein Anteil des von dem Sender 20 erzeugten Terahertzsignals 19 wird durch Wechselwirken mit der Probe 23 mit einer geänderten Phase und/oder Amplitude beaufschlagt.

Die durch Wechselwirken mit der Probe 23 geänderte Phase/und oder Amplitude des Terahertzsignals 19 wird durch die Auswerteeinheit erfasst. Aus der so erfassten Phase und/oder Amplitude wird eine Eigenschaft oder mehrere Eigenschaften der Probe 23 bestimmt. Je nach Anordnung der Probe 23 kann dabei von der Probe 23 transmittierte oder reflektierte Terahertzstrahlung detektiert werden.

Das in Fig. 5 gezeigte Terahertzsystem 21' entspricht in seinem Aufbau in weiten Teilen dem Terahertzsystem 21 in Fig. 4. Daher werden hier nur die Unterscheidungsmerkmale gegenüber dem Terahertzsystem 21 aus Fig. 4 beschrieben. Auch dieses Terahertzsystem 21' ist ein homodynes System, bei dem also Sender 20 und Empfänger 12 von derselben Lichtquelle 13 gespeist werden. Anstelle der beiden Dauerstrichlaser L1 und L2 weist die Lichtquelle 13 des Empfängers 12 hier den Puls laser L auf, der zum Erzeugen optischer Lichtpulse

eingerrichtet ist. Der zweite Anteil des Lichtpulses weist beim Erreichen des zweiten Photoleiters 4 die Laufzeitdifferenz ΔT gegenüber dem ersten Anteil beim Erreichen des ersten Photoleiters 3 auf.

5 Zusätzlich ist zwischen die Lichtquelle 13 und das lichtempfindliche Element 27 des Senders 20 eine zweite verstellbare optische Verzögerungseinheit 25 optisch geschaltet, welche eine Einstellung der relativen Zeitlage der Sende- und Abtastpulse erlaubt.

10 Das Terahertzsystem 21' nach Fig. 5 eignet sich für ein weiteres Beispiel des oben beschriebenen Verfahrens. Auch in diesem Beispiels wird eine Probe 23 in einem Strahlengang zwischen dem Sender 20 und dem Empfänger 12 angeordnet (durch Pfeil angedeutet). Die Probe 23 kann dabei so angeordnet sein, dass den Empfänger 12 ein transmittierter Anteil des Terahertzsignals 19

15 trifft, aber auch so, dass den Empfänger 12 mindestens ein reflektierter Anteil des Terahertzsignals 19 trifft, wobei wenigstens ein Anteil des Terahertzsignals 19, der den Empfänger 12 trifft, durch Wechselwirken mit der Probe 23 mit einer zweiten Laufzeitdifferenz beaufschlagt wird.

20 Die zweite Laufzeitdifferenz wird durch die Auswerteeinheit erfasst, wozu in manchen Verfahrensformen die verstellbare optische Verzögerungseinheit 17 und/oder die zweite verstellbare optische Verzögerungseinheit 25 verstellt wird. Aus der so erfassten zweiten Laufzeitdifferenz und/oder einer Abschwächung der Terahertzstrahlung durch die Probe 23 wird eine Eigenschaft oder

25 mehrere Eigenschaften der Probe 23 bestimmt, beispielsweise eine Dicke.

Fig. 6 zeigt ein weiteres Terahertzsystem 21'', ausgeführt als heterodynes System, bei dem also Sender 20 und Empfänger 12 von unterschiedlichen Lichtquellen 13' und 13 gespeist werden. Der Empfänger 12, der von der Lichtquelle 13 gespeist wird, ist hierbei vollständig analog zu dem Empfänger 12 in Fig. 4, auf deren Beschreibung daher verwiesen wird. Der Sender 20 wird bei dem Terahertzsystem von der Lichtquelle 13' gespeist, wobei die Lichtquelle 13' zwei gleichartige Dauerstrichlaser L3 und L4, aufweist, die gegeneinander so verstimmt sind, dass durch Kombinieren von Lichtsignalen der beiden Laser L3 und L4 ein optisches Schwebungssignal erzeugt werden kann, wobei die

30 Schwebungsfrequenz der Frequenz der durch Kombinieren der beiden Laser

35

L1 und L2 erzeugten Schwebung identisch ist.

Die Schwebungsfrequenz des durch Kombinieren der Lichtsignale der beiden Laser L3 und L4 erzeugten optischen Schwebungssignals muss jedoch nicht
5 gleich der Schwebungsfrequenz des durch Kombinieren der Lichtsignale der beiden Laser L1 und L2 erzeugten optischen Schwebungssignals sein. Es können auch zwei Schwebungssignale unterschiedlicher Schwebungsfrequenz verwendet werden. Die Differenz der beiden Schwebungsfrequenzen oder – bei zusätzlicher Modulation – die Summe aus der genannten Differenz und
10 der Modulationsfrequenz – sollte in diesem Fall jedoch geringer sein als die Transmissionskante der Hochpassfilter.

Der Sender 20 weist weiterhin einen Modulator 26 auf, der dazu eingerichtet ist, eine erzeugte Terahertzstrahlung durch Phasenmodulation und/oder
15 Amplitudenmodulation mit einer Information zu beaufschlagen. Dazu ist der Modulator 26 als verstellbare optische Verzögerungseinheit ausgeführt, welche das von dem Laser L3 erzeugte Lichtsignal vor dem Kombinieren mit dem von dem Laser L4 erzeugten Lichtsignal mit einer verstellbaren Phasendifferenz beaufschlagt. Zusätzlich oder alternativ kann der Modulator 26 auch zum
20 Modulieren der Amplitude der erzeugten Terahertzstrahlung eingerichtet sein, beispielsweise durch Modulieren der Laserleistung der Laser L3 und L4.

Ein weiteres Beispiel des oben anhand von Fig. 4 beschriebenen Verfahrens wird vorteilhaft unter Verwendung des in Fig. 6 gezeigten heterodynen
25 Terahertzsystems 21“ möglich, wobei sich dieses Verfahren besonders zur Kommunikation eignet. Hierbei wird das beschriebene Verfahren dadurch abgewandelt, dass das mittels des Senders 20 des Terahertzsystems 21“ erzeugte Terahertzsignal 19 mit einer Information durch Modulation der Phase und/oder der Amplitude des Terahertzsignals 19 mittels des Modulators 26
30 beaufschlagt wird und dass die Information, mit welcher das Terahertzsignal 19 beaufschlagt wird, erfasst wird.

Eine besondere Ausführung dieses Verfahrens ist speziell für die Kommunikation mittels des oben beschriebenen IQ-Verfahrens eingerichtet. Hierbei wird
35 beim Beaufschlagen des mittels des Senders 20 des Terahertzsystems 21“ erzeugten Terahertzsignals 19 mit einer Information sowohl die Phase als

auch die Amplitude des Terahertzsignals 19 unter Verwendung von Quadraturamplitudenmodulation moduliert; beim Erfassen der Information, mit welcher das Terahertzsignal 19 beaufschlagt ist, werden das erste Messsignal und das zweite Messsignal als In-Phase-Komponente und Quadratur-Komponente verwendet.

Liste der Bezugszeichen

10	1	Empfangsantenne
	2	Antennenleiter
	3	Erster Photoleiter
	4	Zweiter Photoleiter
15	5	Substrat
	6	Kontaktierung
	7	Dielektrische Schicht
	8	Hochpassfilter
	9	Licht
20	9'	Schwebungssignal
	10	Messverstärker
	11	Zuleitungen
	12	Empfänger
	13	Lichtquelle
25	14	Strahlteiler
	14'	Koppler
	15	Wellenleiter
	17	Verstellbare optische Verzögerungseinheit
	L1, L2	Dauerstrichlaser
30	L	Pulslaser
	18	Integrierter Wellenleiter-Chip
	19	Terahertzsignal
	19'	I-Komponente
	19"	Q-Komponente
35	20	Sender
	21, 21', 21"	Terahertzsystem

	22	Spannungsquelle
	23	Probe
	24	Optische Fasern
	25	Zweite verstellbare optische Verzögerungseinheit
5	26	Modulator
	27	Lichtempfindliches Element
	28	Antennenstrom
	29	Niederfrequenter Anteil
	30	Terahertzstrahlung

5

Patentansprüche

1. Empfangsantenne (1) für Terahertzstrahlung (30), umfassend
einen Antennenleiter (2) und

10

einen mit dem Antennenleiter (2) verschalteten und durch Licht (9) aktivierbaren ersten Photoleiter (3), der in einem aktivierten Zustand einen durch den Antennenleiter (2) und den ersten Photoleiter (3) fließenden Antennenstrom (28) ermöglicht,

dadurch gekennzeichnet,

15

dass die Empfangsantenne (1) mindestens einen ebenfalls mit dem Antennenleiter (2) verschalteten und durch Licht (9) aktivierbaren zweiten Photoleiter (4) aufweist, der mit dem ersten Photoleiter (3) parallel geschaltet ist und in einem aktivierten Zustand einen durch den Antennenleiter (2) und den zweiten Photoleiter (4) fließenden Antennenstrom (28) ermöglicht,

20

wobei zwischen jeden der Photoleiter (3, 4) und den Antennenleiter (2) jeweils mindestens ein Hochpassfilter (8) geschaltet ist.

2. Empfangsantenne (1) nach Anspruch 1, wobei zwischen jeden der Photoleiter (3, 4) und dem mindestens einen Hochpassfilter (8), der zwischen diesen Photoleiter (3, 4) und den Antennenleiter (2) geschaltet ist, jeweils eine Kontaktierung zur Abnahme eines Messsignals vorgesehen ist.

25

3. Empfangsantenne (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mindestens einer der Hochpassfilter (8) eine Kapazität ist oder umfasst, die mit einem der Photoleiter (3, 4) in Reihe geschaltet ist, und/oder wobei mindestens einer der Hochpassfilter (8) eine Induktivität aufweist, die zwischen einen der Photoleiter (3, 4) und ein Bezugspotential geschaltet ist.

30

4. Empfangsantenne (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mindestens einer der Hochpassfilter (8) eine Transmissionskante zwischen 50 GHz und 100 GHz aufweist und/oder wobei der erste Photoleiter (3) und der zweite Photoleiter (4) einen Abstand von weniger als 300 μm haben.

5. Empfänger (12) für Terahertzstrahlung (30), umfassend
eine Empfangsantenne (1) für Terahertzstrahlung (30) nach einem der Ansprüche 1 bis 4 und

mindestens eine Lichtquelle (13), eingerichtet zum Erzeugen mindestens eines Lichtsignals zum Aktivieren des ersten Photoleiters (3) und des
mindestens einen zweiten Photoleiters (4) der Empfangsantenne (1),

wobei die mindestens eine Lichtquelle (13) mit dem ersten Photoleiter (3) und/oder dem mindestens einen zweiten Photoleiter (4) der Empfangsantenne (1) optisch gekoppelt ist zum Beaufschlagen des ersten Photoleiters (3) und des zweiten Photoleiters (4) mit Licht (9) aus dem mindestens einen
Lichtsignal.

6. Empfänger (12) nach Anspruch 5, umfassend mindestens einen Strahlteiler (14), eingerichtet, um das von der Lichtquelle (13) erzeugte Lichtsignal in einen ersten Anteil und einen zweiten Anteil aufzuteilen, wobei die Lichtquelle (13) mit dem ersten Photoleiter (3) und dem mindestens einen zweiten Photoleiter (4) der Empfangsantenne (1) optisch gekoppelt ist zum Beaufschlagen des ersten Photoleiters (3) mit dem ersten Anteil des Lichtsignals und zum Beaufschlagen des zweiten Photoleiters (4) mit dem zweiten Anteil des Lichtsignals, so dass der zweite Anteil des Lichtsignals den zweiten Photoleiter (4) mit einer definierten Phasenverschiebung und/oder Laufzeitdifferenz gegenüber dem den ersten Photoleiter (3) erreichenden ersten Anteil des Lichtsignals erreicht.

7. Empfänger (12) nach Anspruch 6, weiterhin aufweisend eine verstellbare optische Verzögerungseinheit (17), dazu eingerichtet, die Phasenverschiebung und/oder Laufzeitdifferenz des zweiten Anteils des Lichtsignals am zweiten Photoleiter (4) gegenüber dem ersten Anteil des Lichtsignals am ersten Photoleiter (3) verstellbar zu machen.

- 5 8. Empfänger (12) nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei die mindestens eine Lichtquelle (13) mindestens zwei gegeneinander verstimmte oder verstimbare Dauerstrichlaser (L1, L2) zum Erzeugen mindestens eines optischen Schwebungssignals und/oder einen Puls laser (L) zum Erzeugen von Lichtpulsen aufweist.
- 10 9. Empfänger (12) nach einem der Ansprüche 5 bis 8, weiterhin aufweisend eine Auswerteeinheit, eingerichtet zum Auswerten eines ersten Messsignals, entsprechend einem niederfrequenten Anteil (29) des durch den ersten Photoleiter (3) fließenden Antennenstroms (28), und eines zweiten Messsignals, entsprechend einem niederfrequenten Anteil (29) des durch den zweiten Photoleiter (4) fließenden Antennenstroms (28), zum Bestimmen einer Amplitude und/oder einer Phasenlage einer empfangenen Terahertzstrahlung (30) unter Verwendung einer definierten Phasenverschiebung und/oder Laufzeitdifferenz.
- 15 10. Terahertzsystem (21), umfassend
- einen Sender (20), eingerichtet zum Erzeugen von Terahertzstrahlung (30), und
- 20 einen Empfänger (12) für Terahertzstrahlung (30) nach einem der Ansprüche 5 bis 9, eingerichtet zum Empfangen der mittels des Senders (20) erzeugten Terahertzstrahlung (30).
- 25 11. Terahertzsystem (21) nach Anspruch 10,
- wobei der Sender (20) einen Antennenleiter (2) und ein lichtempfindliches Element (27) aufweist, das so mit dem Antennenleiter (2) optisch gekoppelt ist, dass es in einem aktivierten Zustand und bei Anliegen einer Vorspannung einen durch den Antennenleiter (2) und das lichtempfindliche Element (27) fließenden Antennenstrom (28) verursacht.
12. Terahertzsystem (21) nach Anspruch 11,
- wobei die mindestens eine Lichtquelle (13) des Empfängers (12) ferner optisch mit dem lichtempfindlichen Element (27) des Senders (20) gekoppelt

ist, so dass das lichtempfindliche Elements (27) des Senders (20) durch einen Anteil des von der Lichtquelle (13) erzeugten Lichtsignals aktivierbar ist.

13. Terahertzsystem (21) nach einem der Ansprüche 10 bis 12,

5 wobei der Sender (20) einen Modulator (26) aufweist, der dazu eingerichtet ist, die durch den Sender (20) erzeugte Terahertzstrahlung (30) durch Phasenmodulation und/oder Amplitudenmodulation mit einer Information zu beaufschlagen.

10 14. Verfahren zum Erzeugen und Detektieren von Terahertzstrahlung (30) unter Verwendung eines Terahertzsystems (21) nach einem der Ansprüche 10 bis 13, sofern diese auf Anspruch 6 rückbezogen sind, umfassend die Schritte:

Erzeugen eines Terahertzsignals (19) mittels des Senders (20) des Terahertzsystems (21);

15 Empfangen des mittels des Senders (20) erzeugten Terahertzsignals (19) mittels des Empfängers (12) des Terahertzsystems (21), wobei das Empfangen die Schritte umfasst:

Aktivieren des ersten Photoleiters (3) der Empfangsantenne (1) des Empfängers (12) durch den ersten Anteil des von der mindestens einen Lichtquelle (13) des Empfängers (12) erzeugten Lichtsignals,

20 Aktivieren des mindestens einen zweiten Photoleiters (4) der Empfangsantenne (1) des Empfängers (12) durch den zweiten Anteil des von der mindestens einen Lichtquelle (13) des Empfängers (12) erzeugten Lichtsignals,

25 gleichzeitiges Messen eines ersten Messsignals, entsprechend einem niederfrequenten Anteil (29) des durch den ersten Photoleiter (3) fließenden Antennenstroms (28), und eines zweiten Messsignals, entsprechend einem niederfrequenten Anteil (29) des durch den zweiten Photoleiter (4) fließenden Antennenstroms (28), während des Aktivierens des ersten Photoleiters (3) und des zweiten Photoleiters (4);

und

Bestimmen der Amplitude und/oder der Phase des empfangenen Terahertzsignals (19) aus dem ersten Messsignal und dem zweiten Messsignal unter Verwendung der definierten Phasenverschiebung und/oder Laufzeitdifferenz zwischen dem ersten und dem zweiten Anteil des Lichtsignals.

- 5 15. Verfahren nach Anspruch 14, sofern dieser auf Anspruch 13 rückbezogen ist, weiterhin umfassend die Schritte

10 Beaufschlagen des mittels des Senders (20) des Terahertzsystems (21) erzeugten Terahertzsignals (19) mit einer Information durch Modulation der Phase und/oder der Amplitude des Terahertzsignals (19) mittels des Modulators (26) und

Erfassen der Information, mit welcher das Terahertzsignal (19) beaufschlagt ist.

16. Verfahren nach Anspruch 15,

15 wobei beim Beaufschlagen des mittels des Senders (20) des Terahertzsystems (21) erzeugten Terahertzsignals (19) mit einer Information sowohl die Phase als auch die Amplitude des Terahertzsignals (19) unter Verwendung von Quadraturamplitudenmodulation moduliert werden und

20 beim Erfassen der Information, mit welcher das Terahertzsignal (19) beaufschlagt ist, das erste Messsignal und das zweite Messsignal als In-Phase-Komponente und Quadratur-Komponente verwendet werden.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, weiterhin umfassend die Schritte

25 Anordnen einer Probe (23) in einem Strahlengang zwischen dem Sender (20) und dem Empfänger (12) des Terahertzsystems (21), wobei ein Anteil des von dem Sender (20) erzeugten Terahertzsignals (19) durch Wechselwirken mit der Probe (23) mit einer geänderten Phase und/oder Amplitude und/oder einer zweiten Laufzeitdifferenz beaufschlagt wird,

Erfassen der durch Wechselwirken mit der Probe (23) geänderten Phase und/oder Amplitude und/oder einer von der Probe verursachten zweiten

Laufzeitdifferenz des von dem Empfänger (12) empfangenen Terahertzsignals (19) und

- 5 Bestimmen einer Eigenschaft oder mehrerer Eigenschaften der Probe (23) aus der so erfassten geänderten Phase und/oder Amplitude und/oder Frequenz und/oder zweiten Laufzeitdifferenz.

Fig. 1A

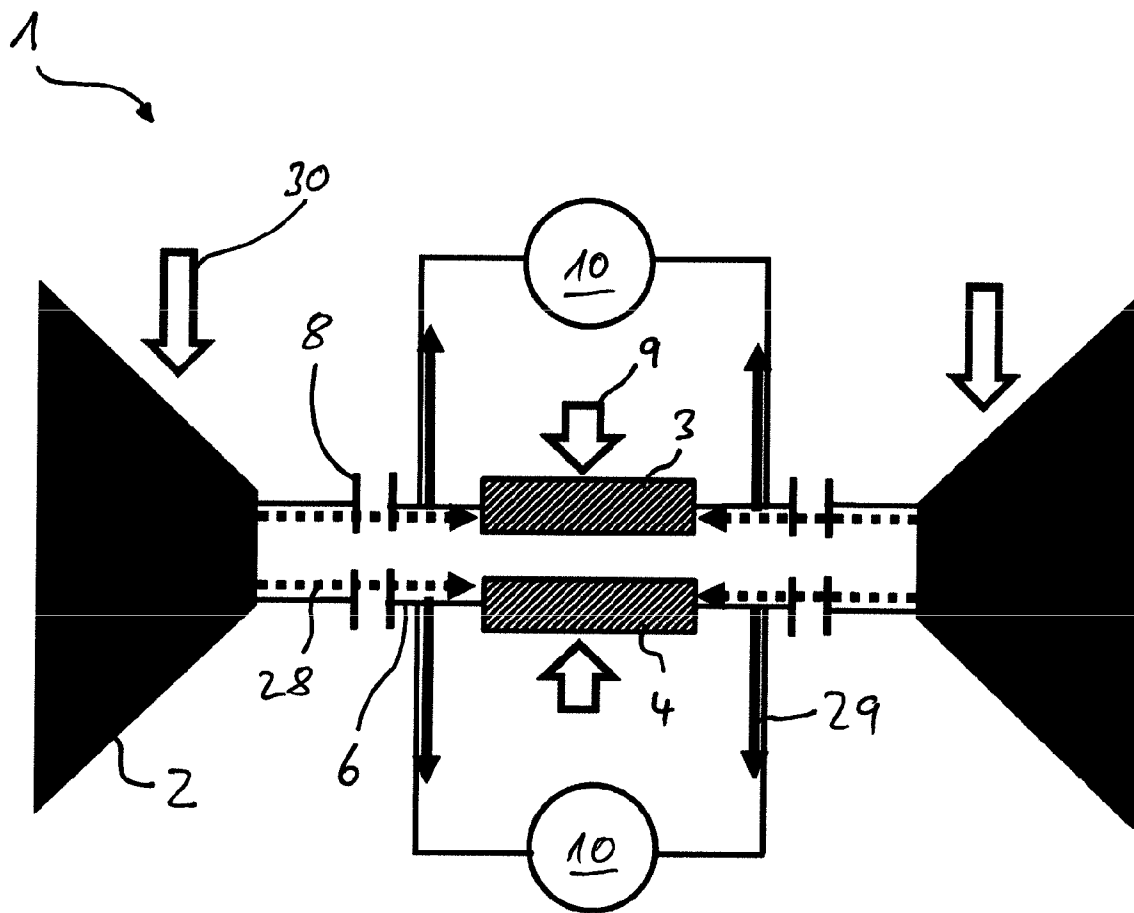


Fig. 1B

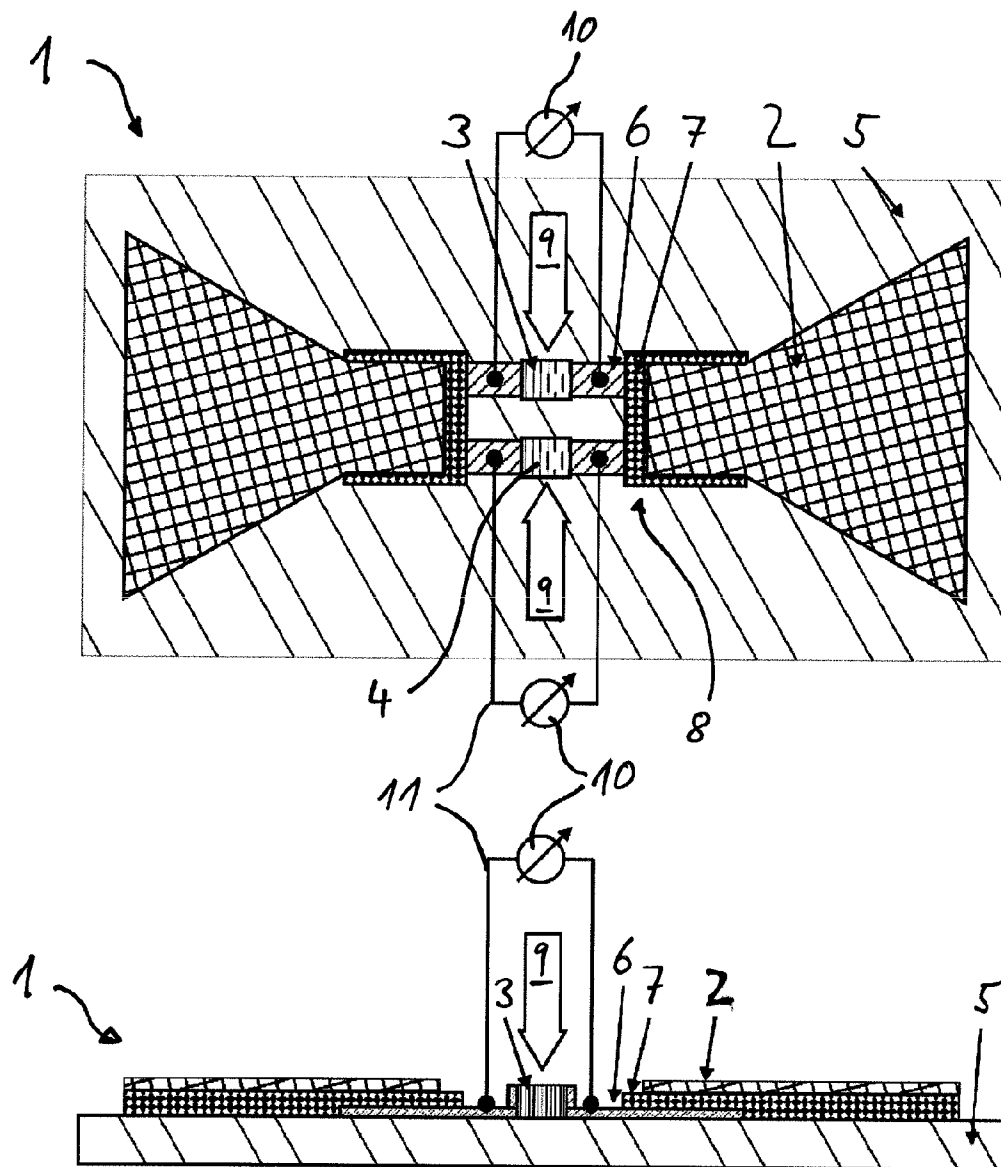


Fig. 2

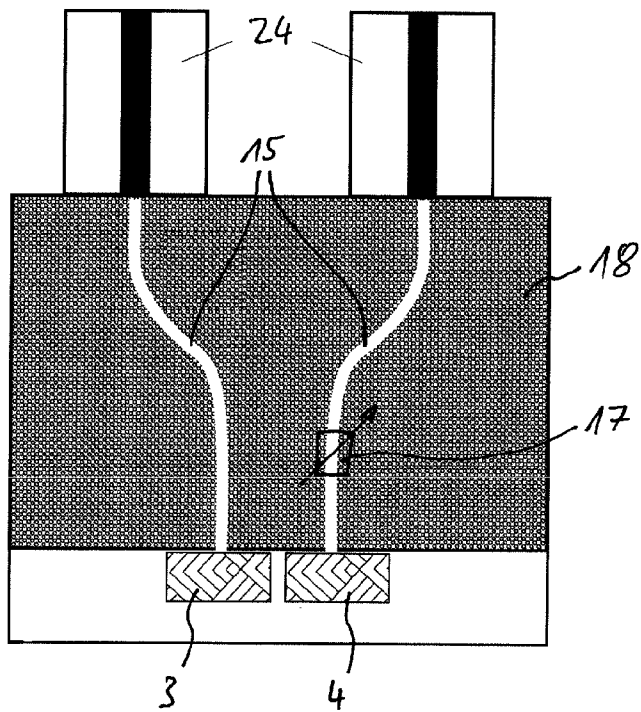


Fig. 3

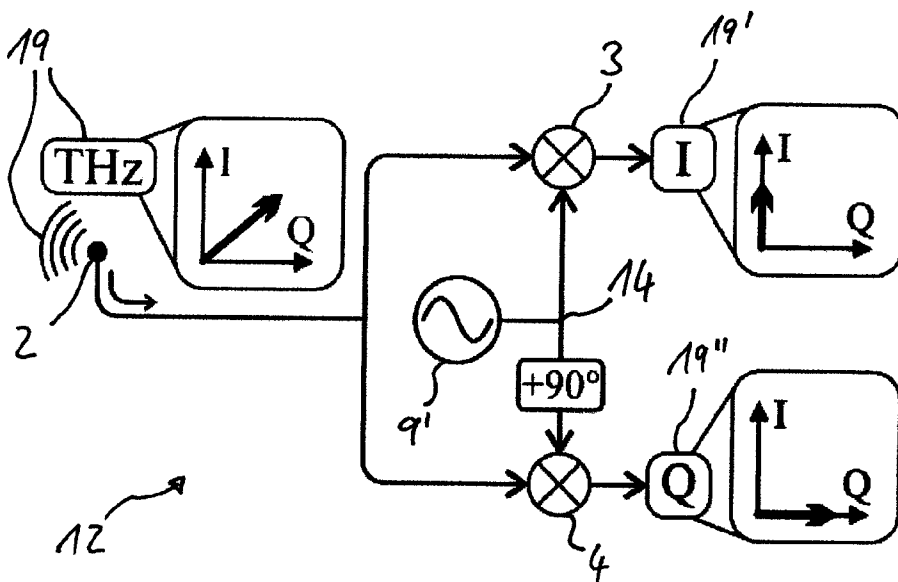


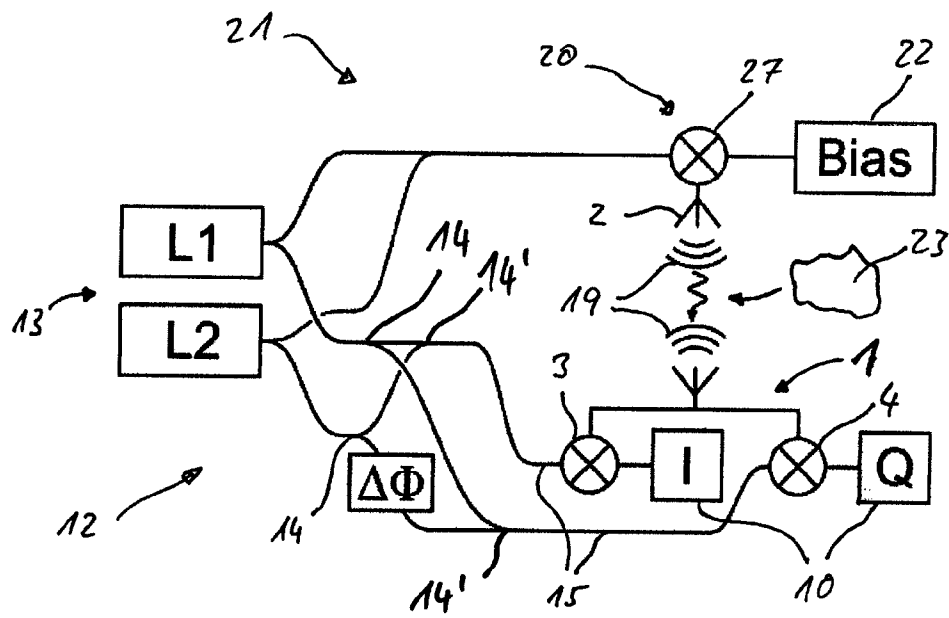
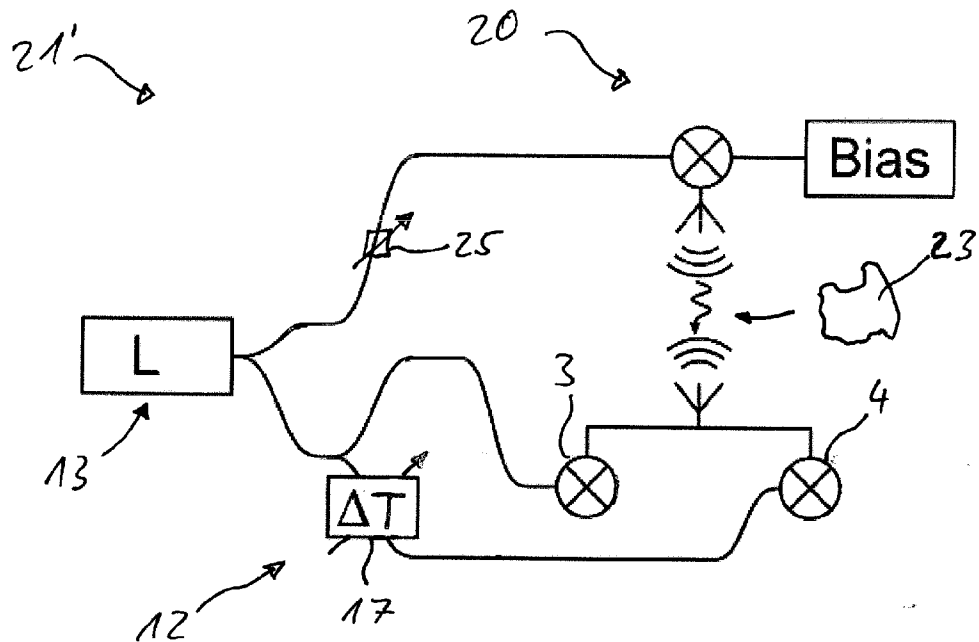
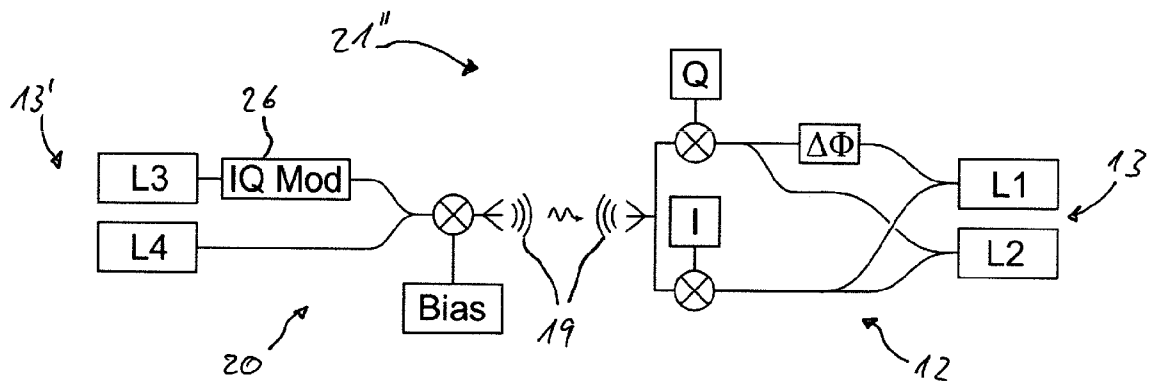
Fig. 4**Fig. 5**

Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/051315

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H01Q 1/38**(2006.01)i; **H01Q 9/28**(2006.01)i; **G01N 21/3581**(2014.01)n

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)

H01Q; 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, 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	DE 102010049658 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 26 April 2012 (2012-04-26) cited in the application abstract; figures 1-13 paragraphs [0036] - [0072]	1-17
A	WO 2009036984 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]; SARTORIUS BERND [DE] ET AL.) 26 March 2009 (2009-03-26) abstract; figures 1-3 page 10, line 31 - page 15, line 31	1-17
A	GB 2438215 A (TERAVIEW LTD [GB]) 21 November 2007 (2007-11-21) abstract; figures 1-3 page 19, paragraph 1 - page 29, paragraph 3	1-17
A	DE 102011015384 A1 (BATOP GMBH [DE]) 04 October 2012 (2012-10-04) abstract; figures 1,2 paragraphs [0036] - [0043]	1-17



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

01 April 2020

Date of mailing of the international search report

15 April 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Hüschelrath, Jens

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2020/051315

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102010049658	A1	26 April 2012	DE	102010049658	A1	26 April 2012
				EP	2633286	A1	04 September 2013
				JP	5897018	B2	30 March 2016
				JP	2013540273	A	31 October 2013
				US	2013306869	A1	21 November 2013
				WO	2012055574	A1	03 May 2012
WO	2009036984	A1	26 March 2009	DE	102007044839	A1	20 May 2009
				EP	2185916	A1	19 May 2010
				US	2011031400	A1	10 February 2011
				WO	2009036984	A1	26 March 2009
GB	2438215	A	21 November 2007	GB	2438215	A	21 November 2007
				US	2009200472	A1	13 August 2009
				WO	2007135382	A2	29 November 2007
DE	102011015384	A1	04 October 2012	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. H01Q1/38 H01Q9/28

ADD. G01N21/3581

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

H01Q 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, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2010 049658 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 26. April 2012 (2012-04-26) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildungen 1-13 Absätze [0036] - [0072] -----	1-17
A	WO 2009/036984 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]; SARTORIUS BERND [DE] ET AL.) 26. März 2009 (2009-03-26) Zusammenfassung; Abbildungen 1-3 Seite 10, Zeile 31 - Seite 15, Zeile 31 -----	1-17
A	GB 2 438 215 A (TERAVIEW LTD [GB]) 21. November 2007 (2007-11-21) Zusammenfassung; Abbildungen 1-3 Seite 19, Absatz 1 - Seite 29, Absatz 3 ----- -/-	1-17



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

1. April 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

15/04/2020

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

Hüschelrath, Jens

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2011 015384 A1 (BATOP GMBH [DE]) 4. Oktober 2012 (2012-10-04) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 Absätze [0036] - [0043] -----	1-17

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/051315

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102010049658 A1	26-04-2012	DE 102010049658 A1	26-04-2012
		EP 2633286 A1	04-09-2013
		JP 5897018 B2	30-03-2016
		JP 2013540273 A	31-10-2013
		US 2013306869 A1	21-11-2013
		WO 2012055574 A1	03-05-2012

WO 2009036984 A1	26-03-2009	DE 102007044839 A1	20-05-2009
		EP 2185916 A1	19-05-2010
		US 2011031400 A1	10-02-2011
		WO 2009036984 A1	26-03-2009

GB 2438215 A	21-11-2007	GB 2438215 A	21-11-2007
		US 2009200472 A1	13-08-2009
		WO 2007135382 A2	29-11-2007

DE 102011015384 A1	04-10-2012	KEINE	
