



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 10 2006 010 297 B3 2007.07.19**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 010 297.5**

(22) Anmeldetag: **07.03.2006**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **19.07.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01Q 1/38 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

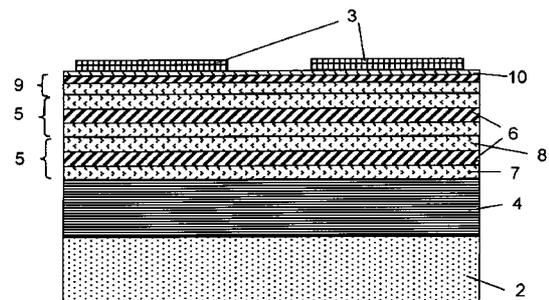
(73) Patentinhaber:  
**BATOP GmbH, 99425 Weimar, DE**

(72) Erfinder:  
**Hohmuth, Rico, 07745 Jena, DE; Richter,  
 Wolfgang, 99425 Weimar, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:  
**GB 24 09 337 A**  
**GB 23 93 037 A**  
**GB 23 92 779 A**  
**US 57 89 750 A**  
**US 57 29 017 A**  
**EP 08 64 857 A1**  
**WO 2003/0 73 563 A1**  
**J. Zhang, u.a.: "Terahertz pulse generation..."**  
**in IEE Proc. Optoelectronic, Vol.151 (April 2004),**  
**S.98-101;**

(54) Bezeichnung: **Photoleitende Terahertz Antenne**

(57) Zusammenfassung: Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine photoleitende Antenne zur Erzeugung und zum Empfang von Terahertz Strahlung anzugeben, die bei einer geringen Dicke der photoleitenden Schicht den Hauptteil der optischen Laserpulse absorbiert. Erfindungsgemäß besteht die photoleitende Antenne aus folgenden Schichtsystemen: Ein Bragg-Spiegel 4 befindet sich auf einem elektrisch isolierten Substrat 2. Auf dem Bragg-Spiegel 4 befinden sich mehrere  $\lambda/2$ -Halbleiterschichtsysteme 5 mit der optischen Dicke einer halben Wellenlänge der anregenden Laserpulse, wobei die  $\lambda/2$ -Halbleiterschichtsysteme 5 jeweils aus drei Schichten bestehen. Die mittlere Schicht 6 wirkt für das Licht der Laserpulse absorbierend und die beiden äußeren Schichten 7, 8 sind transparent. Das oberste Halbleiterschichtsystem 9 besitzt eine optische Dicke einer viertel Wellenlänge der anregenden Laserpulse und die zuoberst angeordnete Schicht 10 mit einer größeren Bandlücke als die Photonenenergie der Laserpulse ist sehr dünn im Vergleich zur Gesamtdicke des obersten Halbleiterschichtsystems. Die photoleitende Antenne kann zur Erzeugung und zum Nachweis von Terahertz Strahlung in Geräten zur Materialanalyse verwendet werden.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine photoleitende Antenne zur Erzeugung oder zum Empfang von Terahertz-Strahlung.

**[0002]** Terahertz-Strahlung ist elektromagnetische Strahlung im Frequenzbereich von etwa 0,1 bis 100 THz. Da es im Frequenzbereich der Terahertz-Strahlung Molekülschwingungen unterschiedlicher Substanzen gibt, kann mittels Absorptionsspektroskopie im Terahertz-Bereich die Untersuchung von Substanzen erfolgen und auch der Nachweis bestimmter chemischer Verbindungen geführt werden. So können beispielsweise Objekte im Terahertz-Bereich abgebildet werden (siehe beispielsweise EP 0 828 162 A2) oder tomographisch untersucht werden (siehe beispielsweise EP 0 864 857 A1). Es gibt daher sowohl ein wissenschaftliches als auch ein sicherheitsrelevantes Interesse an kostengünstigen und effizienten Emittlern und Detektoren für Terahertz-Strahlung.

**[0003]** Es ist bekannt, dass Terahertz-Strahlung mit photoleitenden Antennen (englisch PCA – photoconductive antenna) unter Verwendung ultrakurzer Lichtpulse mit Pulsdauern  $\leq 1$  ps sowohl erzeugt als auch nachgewiesen werden kann (US 5 789 750). Eine photoleitende Terahertz-Antenne besteht im Wesentlichen aus einer hochohmigen halbleitenden Schicht mit einer kurzen Relaxationszeit der Ladungsträger im Bereich einer Pikosekunde, die auf einem ebenfalls hochohmigen Substrat aufgebracht ist und auf der eine elektrisch leitende Antennenstruktur beispielsweise in der Form eines Dipols mit einem Gap als Unterbrechung im Zentrum des Dipols angeordnet ist. Zur Emission oder zum Nachweis von Terahertz-Strahlung wird die Halbleiterschicht im Gap der Antenne mit kurzen Laserpulsen bestrahlt. Die Photonenenergie der Laserpulse ist dabei größer als die elektronische Bandlücke der halbleitenden Schicht, so dass das Laserlicht in der halbleitenden Schicht absorbiert wird und bewegliche Ladungsträger erzeugt.

**[0004]** Zur Emission von Terahertz-Strahlung wird an der Dipol Antenne eine Spannung angelegt. Dadurch entsteht im Gap der Antenne ein elektrisches Feld, dem die durch den optischen Puls erzeugten freien Ladungsträger folgen. In der Beschleunigungsphase der Ladungsträger wird elektromagnetische Strahlung im Terahertz Bereich emittiert. Wegen der geringen Relaxationszeit der Ladungsträger wird der entstandene elektrische Strom anschließend sehr schnell wieder gestoppt, was dazu führt, dass unerwünschte niederfrequente Strahlung im Gigahertz Bereich nur in sehr geringem Maße entsteht.

**[0005]** Zum Nachweis von Terahertz-Strahlung wird beispielsweise an die Dipol Antenne ein Stromverstärker angeschlossen. Ein Strom ist dann messbar,

wenn an der Antenne ein elektrisches Feld der Terahertz-Strahlung anliegt und gleichzeitig der Laserpuls freie Ladungsträger erzeugt.

**[0006]** Als photoleitendes Material können Halbleiter wie GaAs und Si verwendet werden (US Patent 5 729 017). Sowohl für die Sende- als auch für die Empfangsantenne werden photoleitende Schichten mit einer geringen Rekombinationszeit der Ladungsträger möglichst im Femtosekunden Bereich benötigt, um eine schnelle Response der Antenne zu gewährleisten. Diese kurze Rekombinationszeit wird entweder durch das Aufwachsen einer GaAs oder In-GaAs Schicht auf einem semiisolierendem GaAs Substrat bei niedrigen Temperaturen im Bereich von 200 °C bis 300 °C (IEE Proc. Optoelectron., Seiten 98-101 (2004) oder durch Ionenimplantation in die photoleitende Schicht realisiert, siehe beispielsweise Applied Physics Letters 83, Seite 1322 (2003) oder Optics Express 12, Seiten 2954-2959 (2004). In der Patentschrift GB 2 393 037 A wurde gezeigt, dass es nach der Niedrigtemperatur Epitaxie von GaAs Schichten zweckmäßig ist, die photoleitenden Schichten bei einer Temperatur von etwa 450 °C nachzutempeln, um einerseits einen hohen elektrischen Schichtwiderstand und andererseits eine hohe Ladungsträgerbeweglichkeit zu erreichen.

**[0007]** Auf der photoleitenden Schicht wird eine elektrisch leitfähige Antennenstruktur mit einem Gap von typischerweise 5  $\mu\text{m}$  bis 10  $\mu\text{m}$  Länge aufgebracht, um entweder bei der Sendeantenne die zur Beschleunigung der Ladungsträger erforderliche Spannung anlegen zu können oder bei der Empfangsantenne den Stromverstärker zum Nachweis der elektrischen Feldstärke der Terahertz-Strahlung anschließen zu können. Als Material für die elektrisch leitfähige Antennenstruktur können Metalle wie Gold, Silber, Kupfer oder deren Legierungen, metallische Schichtsysteme wie Ti-Pd-Au, Ti-Pt-Au, Ti-Ni-Ag, Silicide oder dotiertes Poly-Si verwendet werden. In den Patentschriften GB 2 392 779 A und GB 2 409 337 A wurde gezeigt, dass es zweckmäßig ist, bei Sendeantennen besonders hochohmige Schichten für die Antennenstruktur wie beispielsweise Indium-Zinn-Oxid zu verwenden, um den Anteil hochfrequenter Terahertz Strahlung zu Ungunsten niederfrequenter Anteile zu erhöhen und um eine größere Lebensdauer der Antenne zu erreichen.

**[0008]** Sowohl für die Sende- als auch für die Empfangsantenne ist es wesentlich, einen möglichst großen elektrischen Widerstand der photoleitenden Schicht zu erreichen. Wie bereits erwähnt, sind dazu Verfahren der Niedrigtemperatur Epitaxie und der Ionenimplantation entwickelt worden, die eine hohen Schichtwiderstand ermöglichen. Der Widerstand der photoleitenden Schicht wird aber nicht allein durch den spezifischen Widerstand, sondern auch durch die Geometrie, insbesondere die Schichtdicke be-

stimmt. Die Dicke der photoleitenden Schicht muss so bemessen werden, dass der Hauptteil des Laserlichtes in der Schicht absorbiert wird. Bei einem direkten Halbleiter wie GaAs oder InGaAs ist dazu eine Schichtdicke von etwa 1  $\mu\text{m}$  erforderlich. Im Falle von GaAs ist das kein Problem, da bei niedrigen Temperaturen gewachsenes GaAs (LT-GaAs) extrem hochohmig ist. Bei niedriger Temperatur gewachsenes InGaAs (LT-InGaAs) besitzt jedoch einen wesentlich geringeren spezifischen Widerstand als LT-GaAs. Deshalb ist es besonders schwierig, geeignete photoleitende Antennen für die kostengünstigen Femtosekundenlaser im Spektralbereich um 1040 nm oder 1550 nm herzustellen. Bei diesen Wellenlängen ist GaAs transparent und kann deshalb nicht als Photoleiter eingesetzt werden. Die Dicke der photoleitenden Schicht kann aber auch nicht ohne weiteres verringert werden, weil dann ein zu geringer Anteil der Laserpulse absorbiert und zur Ladungsträgererzeugung genutzt wird.

**[0009]** Ein Vorschlag, mit einer dünnen Absorptionsschicht auszukommen, ist in der Patentanmeldung WO 2003/073563 enthalten. In dieser Anmeldung wird eine Terahertz-Antenne vorgeschlagen, die gleichzeitig als Resonatorspiegel eines KurzpulsLasers fungiert. Demzufolge besteht die Terahertz-Antenne aus einem Bragg-Spiegel mit einer darauf befindlichen, das Laserlicht teilweise absorbierenden Halbleiterschicht aus einem Material mit kurzer Relaxationszeit für freie Elektronen, auf der elektrisch leitfähige Elektroden angebracht sind.

**[0010]** Dadurch, dass bei dieser Terahertz-Antenne das anregende Laserlicht am Bragg-Spiegel reflektiert wird, kann es zweimal durch die auf dem Bragg-Spiegel angeordnete Absorberschicht hindurchlaufen und wird deshalb in dieser stärker absorbiert als bei einem einmaligen Durchlauf. Allerdings ist bei einer Nutzung der Anordnung als Resonatorspiegel des Lasers nur eine teilweise Absorption des Laserlichtes möglich, weil andernfalls der Laser nicht funktionieren würde.

**[0011]** Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine photoleitende Antenne zur Erzeugung und zum Empfang von Terahertz-Strahlung anzugeben, die bei einer geringen Dicke der photoleitenden Schicht den Hauptteil der optischen Laserpulse absorbiert und deshalb mit photoleitendem Material aufgebaut werden kann, das nicht so hochohmig wie LT-GaAs ist.

**[0012]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die photoleitende Antenne zur Erzeugung oder zum Empfang hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung im Terahertz-Bereich gemäß dem Patentanspruch 1 gelöst. Die photoleitende Antenne besteht aus einem photoleitenden Halbleiter auf einem elektrisch isolierenden Substrat mit darauf angeordnetem

Bragg-Spiegel sowie einer darauf angeordneten elektrisch leitfähigen Antennenstruktur.

**[0013]** Gemäß Anspruch 1 ist der photoleitende Halbleiter aus einem Schichtsystem mit folgenden Schichten aufgebaut:

- auf dem Bragg-Spiegel befinden sich mehrere  $\lambda/2$ -Halbleiterschichtsysteme mit der optischen Dicke einer halben Wellenlänge der anregenden Laserpulse
- die  $\lambda/2$ -Halbleiterschichtsysteme bestehen aus jeweils drei Schichten, wobei die mittlere Schicht für das Licht der Laserpulse absorbierend wirkt und die beiden äußeren Schichten eine größere Bandlücke als die Photonenenergie der Laserpulse besitzen und demzufolge nicht absorbieren
- das oberste Halbleiterschichtsystem besitzt eine optischen Dicke einer viertel Wellenlänge der anregenden Laserpulse und die zuoberst angeordnete Schicht mit einer größeren Bandlücke als die Photonenenergie der Laserpulse ist sehr dünn im Vergleich zur Gesamtdicke des obersten Halbleiterschichtsystems.

**[0014]** Der Bragg-Spiegel besteht aus abwechselnd optisch hoch- und niedrig brechenden Schichten der optischen Dicke einer viertel Wellenlänge der anregenden Laserpulse. Er sorgt dafür, dass das nur teilweise beim Durchgang durch die absorbierenden Schichten absorbierte Laserlicht wieder nach vom reflektiert wird und erneut die absorbierenden Schichten durchdringt. Dabei wird ein weiterer Teil des Laserlichtes zur Ladungsträgererzeugung genutzt.

**[0015]** Die gesamte optische Schichtdicke der  $\lambda/2$ -Halbleiterschichtsysteme und des oberen  $\lambda/4$ -Halbleiterschichtsystems ist ein ungeradzahliges Vielfaches einer viertel Wellenlänge der Laserpulse. Wenn das am Bragg-Spiegel reflektierte Laserlicht die vordere Grenzfläche der Schichtsystems erreicht, ergibt sich eine weitere Reflexion infolge des Brechzahlssprungs gegen die angrenzende Luft. Die Gesamtdicke der Schichtsysteme auf dem Bragg-Spiegel ist so bemessen, dass eine resonante Struktur entsteht, die eine wesentlich größere Absorption als beim einmaligen Durchgang des Lichtes durch das Schichtsystem bewirkt. Durch die Aufteilung der  $\lambda/2$ -Halbleiterschichtsysteme und des oberen  $\lambda/4$ -Halbleiterschichtsystems wird erreicht, dass die relativ niederohmigen Absorberschichten nur in den Bereichen großer Feldstärke des optischen Stehwinkel-feldes vor dem Bragg-Spiegel positioniert sind.

**[0016]** Weil der optische Puls das Schichtsystem auf dem Bragg-Spiegel mehrmals durchläuft, kann die Gesamt-Dicke der absorbierenden Schichten gering gehalten werden, obwohl die optische Absorption dieser Schichten sehr groß ist.

**[0017]** Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfin-

dung ist im Patentanspruch 2 angegeben. Die Weiterbildung nach Anspruch 2 ermöglicht es, den Laserpuls vollständig zu absorbieren und dadurch bei einer geringen Dicke der absorbierenden Schicht(en) eine optimale Nutzung des Laserlichtes zur Ladungsträgererzeugung zu gewährleisten. Das wird dadurch erreicht, dass eine Impedanzanpassung der photoleitenden Halbleiterstruktur auf die angrenzende Luft realisiert wird. Impedanzanpassung wird bei Einhaltung der Bedingung  $R_V = R_B T^4$  erreicht. Dabei bedeuten:  $R_V$  die Reflektivität der vorderen Grenzfläche des Halbleiterschichtsystems,  $R_B$  die Reflektivität des Bragg-Spiegels und  $T$  die einfache Transmission des Schichtsystems.

**[0018]** Die Reflektivität des Bragg-Spiegels ist nahezu Eins. Wenn das Halbleiterschichtsystem unbeschichtet ist, beträgt die Fresnel-Reflexion an der vorderen Grenzfläche im Falle von GaAs als Halbleiter etwa 0,3. In diesem Falle ist eine vollständige Absorption des Laserpulses erreicht, wenn die Transmission des absorbierenden Schichtsystems 0,75 beziehungsweise die Absorption 0,25 beträgt.

**[0019]** Gemäß Patentanspruch 3 können die absorbierenden mittleren Schichten der Schichtsysteme aus einfachen Schichten mit einer geringeren Bandlücke als die Photonenenergie der Laserpulse bestehen.

**[0020]** Im Patentanspruch 4 ist dazu alternativ die Möglichkeit angegeben, dass die absorbierenden Schichten nicht aus einer einzelnen Schicht bestehen, sondern aus mehreren absorbierenden Quantenwells.

**[0021]** Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung gemäß Anspruch 5 ist der Einsatz von semiisolierendem GaAs als Substratmaterial insbesondere dann, wenn die Schichtsysteme auf der Basis von GaAs-AlAs-InGaAs gefertigt werden..

**[0022]** Im Patentanspruch 6 wird die für den praktischen Einsatz wichtige Materialkombination für eine Laserwellenlänge um 1040 nm angegeben. In diesem Falle ist es zweckmäßig, die absorbierenden mittleren Schichten aus InGaAs und die äußeren, nicht absorbierenden Schichten aus GaAs anzufertigen.

**[0023]** Im Patentanspruch 7 wird die für den praktischen Einsatz wichtige Materialkombination für eine Laserwellenlänge um 1550 nm angegeben. In diesem Falle ist es zweckmäßig, die absorbierenden mittleren Schichten aus GaInAs und die äußeren, nicht absorbierenden Schichten aus AlInAs anzufertigen.

**[0024]** Es ist weiterhin zweckmäßig, entsprechend Anspruch 8 die Halbleiterschichtsysteme bei niedri-

ger Temperatur zu wachsen, um dadurch eine kurze Relaxationszeit angeregter Ladungsträger zu erreichen.

**[0025]** Eine im Anspruch 9 angegebene alternative Methode zur Erzielung einer kurzen Relaxationszeit der Ladungsträger ist die Ionenimplantation der Halbleiterschichtsysteme.

**[0026]** Um die Bedingung der vollständigen Absorption der Laserpulse mit sehr dünnen, weniger absorbierenden Schichten zu erreichen, kann das Halbleiterschichtsystem gemäß Anspruch 10 mit einem reflexionserhöhenden Interferenzschichtsystem beschichtet werden. Dabei verringert sich allerdings die nutzbare spektrale Bandbreite, weil die Finesse des resonanten Schichtsystems erhöht wird.

**[0027]** Die erfindungsgemäße photoleitende Antenne zur Erzeugung oder zum Empfang hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung im Terahertz Bereich wird nachfolgend an Hand von zwei Ausführungsbeispielen näher erläutert.

**[0028]** In den zugehörigen Zeichnungen zeigen

**[0029]** Fig. 1a die Aufsicht auf ein erstes Ausführungsbeispiel der photoleitenden Terahertz Antenne gemäß Hauptanspruch 1

**[0030]** Fig. 1b den Schnitt A-A in Fig. 1a zu dem ersten Ausführungsbeispiel der photoleitenden Terahertz Antenne gemäß Hauptanspruch 1

**[0031]** Fig. 1c die spektrale Reflexion der photoleitenden Terahertz Antenne des ersten Ausführungsbeispiels

**[0032]** Fig. 2a die Aufsicht auf ein zweites Ausführungsbeispiel der photoleitenden Terahertz Antenne gemäß Hauptanspruch 1

**[0033]** Fig. 2b den Schnitt A-A in Fig. 3a zum zweiten Ausführungsbeispiel der photoleitenden Terahertz Antenne gemäß Hauptanspruch 1

**[0034]** Fig. 2c die spektrale Reflexion der photoleitenden Terahertz Antenne des zweiten Ausführungsbeispiels.

**[0035]** In Fig. 1a und Fig. 1b ist das erste Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen photoleitenden Terahertz-Antenne dargestellt. Die Antenne ist für den Betrieb mit einer Laserwellenlänge von 1040 nm ausgelegt. Auf dem semi-isolierenden GaAs Substrat **2** ist ein Bragg-Spiegel **4** mit 20 Schichtpaaren aus AlAs/GaAs aufgewachsen. Alle Spiegelschichten besitzen eine optische Dicke von 260 nm, was einer viertel Wellenlänge der anregenden Laserpulse entspricht. Die Reflexion des Bragg-Spiegels beträgt bei

der Laserwellenlänge mehr als 0,99.

**[0036]** Auf dem Bragg-Spiegel **4** sind zwei  $\lambda/2$ -Halbleiterschichtsysteme **5** aus jeweils drei Schichten bei einer Temperatur von 270 °C aufgewachsen. Die optische Dicke dieser  $\lambda/2$ -Halbleiterschichtsysteme beträgt jeweils 520 nm. Die mittlere absorbierende Schicht **6** besteht aus InGaAs mit einem In-Anteil von 28% und besitzt eine optische Dicke von 173,3 nm, was einem Sechstel der Laserwellenlänge entspricht. Die beiden äußeren Schichten **7** und **8** bestehen aus GaAs und besitzen ebenfalls eine optische Dicke von 173,3 nm. Die GaAs Schichten sind für das Laserlicht transparent und absorbieren nicht. Sie befinden sich an den Stellen geringer optischer Feldstärke des Laserlichtes.

**[0037]** Auf den beiden  $\lambda/2$ -Halbleiterschichtsystemen ist das oberste Schichtsystem **9** mit einer optischen Dicke von 260 nm bei einer Temperatur von 270 °C aufgewachsen, was einer viertel Wellenlänge des Laserlichtes entspricht. Die absorbierende mittlere Schicht dieses Schichtsystems besteht aus InGaAs mit einem In-Anteil von 28% und besitzt eine optische Dicke von 80 nm. Die oberste nichtabsorbierende Schicht **10** dieses Schichtsystems **9** besteht aus GaAs und besitzt eine optische Dicke von 10 nm.

**[0038]** Die gesamte optische Dicke der absorbierenden InGaAs Schichten beträgt in diesem Ausführungsbeispiel 426,6 nm, was bei einem Brechungsindex von 3,6 einer geometrischen Schichtdicke von 119 nm entspricht.

**[0039]** In **Fig. 1c** ist die spektrale Reflexion der Antenne dargestellt. Die Transmission des Bragg-Spiegels ist geringer als 0,2% und daher vernachlässigbar. Der nicht reflektierte Anteil des auf die Antenne treffenden Lichtes wird von dieser absorbiert. Die optische Absorption der Antenne beträgt 78% und ist damit ausreichend für eine effektive Nutzung des Laserlichtes. Die InGaAs Schichtdicke ist wesentlich geringer als die bei einer homogenen Absorberschicht ohne Bragg-Spiegel entsprechend dem Stand der Technik erforderliche Dicke von 0,5  $\mu\text{m}$  bis 1  $\mu\text{m}$ . Entsprechend ist die erfindungsgemäße Antenne hochohmiger.

**[0040]** In **Fig. 2a** und **Fig. 2b** ist ein zweites Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen photoleitenden Terahertz-Antenne gemäß dem Hauptanspruch **1** dargestellt. Diese Antenne ist bis auf das aus dielektrischen Schichten **11** bestehende Deckschichtsystem identisch mit dem ersten Ausführungsbeispiel. Eine Erläuterung der Funktion der unter den dielektrischen Schichten **11** befindlichen Schichten ist deshalb nicht erforderlich. Die dielektrischen Schichten **11** bestehen aus einer Siliziumdioxid-Schicht und einer darüber liegenden Tantalpentoxid-Schicht mit jeweils einer optischen Dicke von 1/4 der Laserwel-

lenlänge. Diese Schichten erhöhen die Reflexion der Grenzfläche zwischen dem Halbleiter und der angrenzenden Luft. Dadurch wird die Impedanzanpassung zwischen Halbleiter und Luft nahezu erreicht.

**[0041]** In **Fig. 2c** ist die spektrale Reflexion der Antenne des zweiten Ausführungsbeispiels dargestellt. Die Absorption der Antenne beträgt etwa 98%. In diesem Falle wird das Laserlicht trotz einer geringen Dicke der InGaAs Schichten optimal zur Ladungsträgerzeugung genutzt.

Aufstellung der verwendeten Bezugszeichen

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	photoleitender Halbleiter
<b>2</b>	isolierendes Substrat
<b>3</b>	elektrisch leitfähige Antennenstruktur
<b>4</b>	Bragg-Spiegel
<b>5</b>	$\lambda/2$ -Halbleiterschichtsystem
<b>6</b>	mittlere absorbierende Schicht
<b>7</b>	äußere, nicht absorbierende Schicht
<b>8</b>	äußere, nicht absorbierende Schicht
<b>9</b>	oberstes Halbleiterschichtsystem
<b>10</b>	obere absorbierende Schicht
<b>11</b>	dielektrische Schicht(en)

#### Patentansprüche

1. Photoleitende Terahertz-Antenne zur Erzeugung oder zum Empfang hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung im Terahertz Bereich unter Verwendung kurzer Laserpulse, bestehend aus einem photoleitfähigen Halbleiter (**1**) auf einem elektrisch isolierenden Substrat (**2**) mit einem darauf angeordneten Bragg-Spiegel (**4**) sowie einer auf dem photoleitfähigen Halbleiter (**1**) angeordneten elektrisch leitfähigen Antennenstruktur (**3**),  
**dadurch gekennzeichnet**,  
 dass der photoleitfähige Halbleiter (**1**) aus einem Schichtsystem mit folgenden Schichten besteht:  
 a) auf dem Bragg-Spiegel (**4**) sind eine oder mehrere  $\lambda/2$ -Halbleiterschichtsysteme (**5**) mit einer kurzen Relaxationszeit angeregter Ladungsträger und der optischen Dicke einer halben Wellenlänge der anregenden Laserpulse angebracht,  
 b) die  $\lambda/2$ -Halbleiterschichtsysteme (**5**) bestehen aus jeweils drei Schichten, wobei die mittlere Schicht (**6**) für das Licht der Laserpulse absorbierend wirkt und die beiden äußeren Schichten (**7**, **8**) eine größere Bandlücke als die Photonenenergie der Laserpulse besitzen,  
 c) das oberste Halbleiterschichtsystem (**9**) besitzt nur eine optischen Dicke einer viertel Wellenlänge der anregenden Laserpulse und die zuoberst angeordnete Schicht (**10**) mit einer größeren Bandlücke als die Photonenenergie der Laserpulse ist sehr dünn im Vergleich zur Gesamtdicke des obersten Halbleiterschichtsystems (**9**).

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Absorption aller mittleren Schichten (6) zusammen gerade so groß ist, dass die Bedingung für die Impedanzanpassung des gesamten Schichtsystems an die angrenzende Luft erfüllt ist und die Laserpulse nahezu vollständig absorbiert werden.

3. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die absorbierenden mittleren Schichten (6) aus einem Halbleitermaterial mit geringerer Bandlücke als die Photonenenergie der Laserpulse bestehen.

4. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die absorbierenden mittleren Schichten (6) aus einer Multi-Quantum-Well-Struktur bestehen, wobei die Bandlücke der Wells geringer und die Bandlücke der Barrieren größer als die Photonenenergie der Laserpulse ist.

5. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das elektrisch isolierende Substrat (2) aus semiisolierendem GaAs besteht.

6. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden äußeren Schichten (7, 8) mit der größeren Bandlücke aus GaAs und die mittlere Schicht (6) mit der kleineren Bandlücke aus einer Halbleitermischschicht der Materialzusammensetzung GaInAs besteht.

7. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden äußeren Schichten (7, 8) mit der größeren Bandlücke aus AlInAs und die mittlere Schicht (6) mit der kleineren Bandlücke aus einer Halbleitermischschicht der Materialzusammensetzung GaInAs besteht.

8. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Halbleiterschichtsysteme (5) mit der kurzen Relaxationszeit mittels eines Epitaxieverfahrens bei niedriger Temperatur gewachsen werden.

9. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Halbleiterschichtsysteme (5) mit der kurzen Relaxationszeit mittels Ionenimplantation behandelt sind.

10. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass auf dem photoleitfähigen Halbleiterschichtsystem (1) eine oder mehrere dielektrische Schichten (11) derart angebracht sind, dass die Reflexion der Anordnung für die Wellenlänge der anregenden Laserpulse nahezu verschwindet.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Fig. 1a

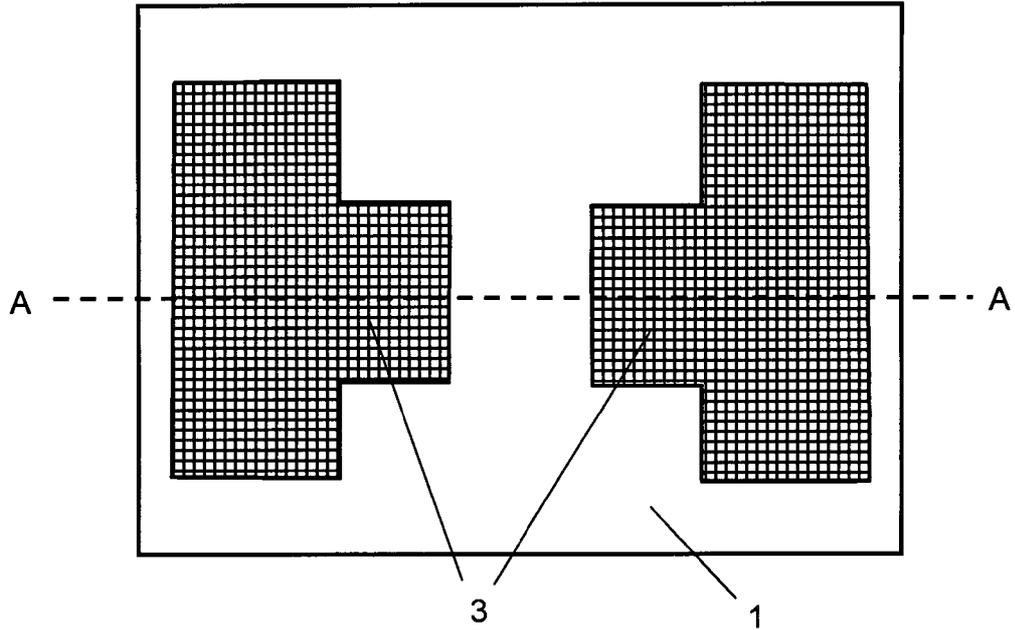


Fig. 1b

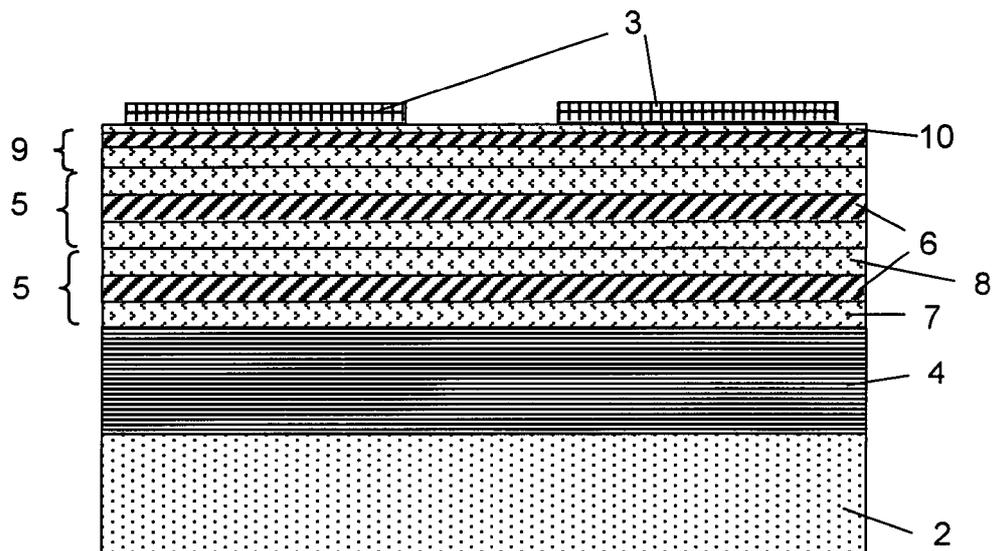


Fig. 1c

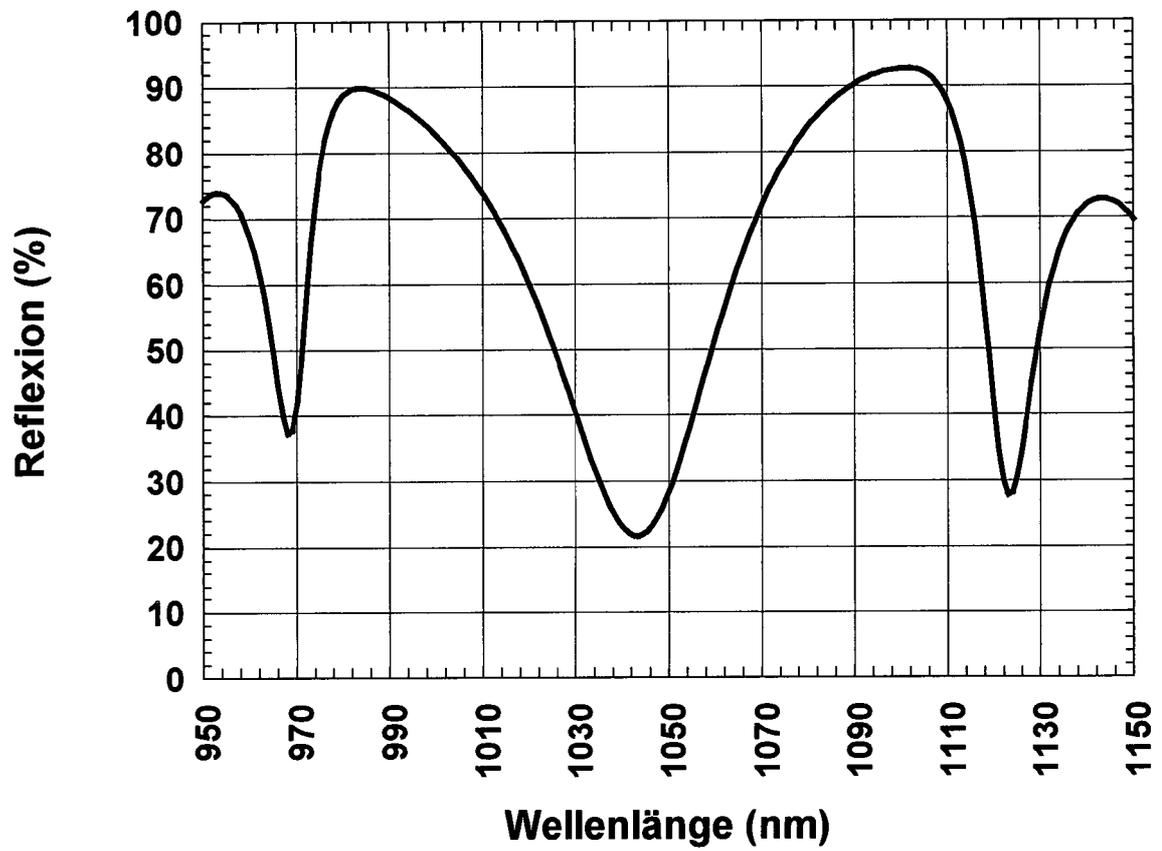


Fig. 2a

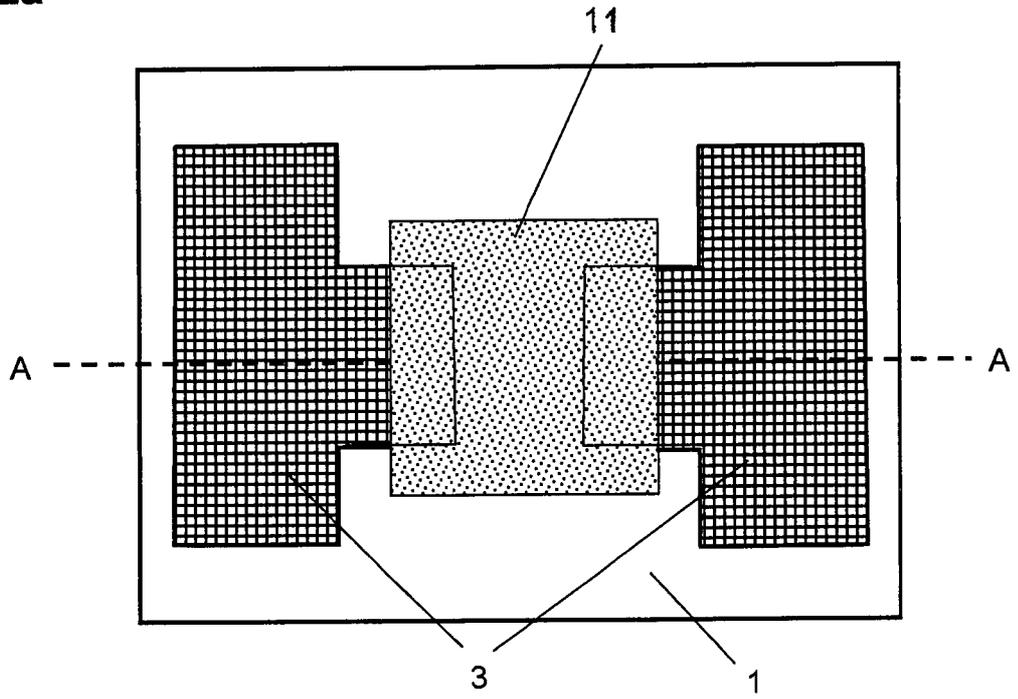


Fig. 2b

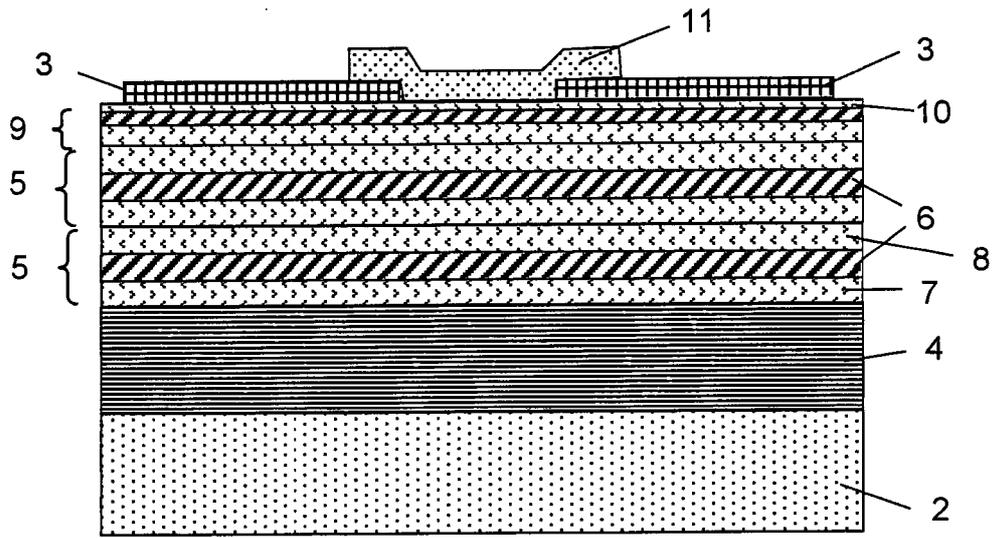


Fig. 2c

