



(10) **DE 10 2010 032 382 A1** 2012.02.02

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 032 382.9**

(22) Anmeldetag: **27.07.2010**

(43) Offenlegungstag: **02.02.2012**

(51) Int Cl.: **G01J 3/42 (2006.01)**

**G01J 3/02 (2006.01)**

**G01N 21/35 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**BATOP GmbH, 07745, Jena, DE**

(72) Erfinder:  
**Richter, Wolfgang, 99425, Weimar, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Fasergekoppeltes Terahertz Time-Domain Spektrometer**

(57) Zusammenfassung: Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein fasergekoppeltes Terahertz Time-Domain Spektrometer anzugeben, bei dem die mechanischen Präzisionsanforderungen an den Aufbau gering sind und das deshalb robust ist und kostengünstig hergestellt werden kann.

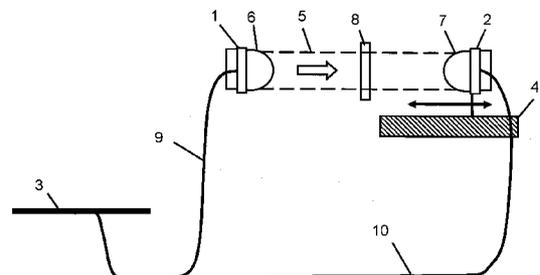
Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gemäß dem Patentanspruch 1 dadurch gelöst, dass nicht wie bisher üblich im Lichtweg des Puls lasers oder im Terahertz-Strahlengang eine Verzögerungsstrecke eingesetzt ist, sondern dass entweder die Sendeantenne (1) oder die Empfangsantenne (2) gemeinsam mit der zugeordneten kollimierenden Terahertz-Optik in Richtung der Terahertz-Strahlung (5) verschiebbar angeordnet ist.

Das Terahertz Time-Domain Spektrometer kann zur Analyse chemischer Verbindungen, der Kontrolle verpackter Gegenstände, in der Medizin zur Krebserkennung und in der Personenkontrolle eingesetzt werden.

Zeichnung

**Fig. 1** der Patentbeschreibung

Ausführungsbeispiel eines fasergekoppelten Terahertz Time-Domain Spektrometers gemäß den Ansprüchen 1 bis 4



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft den Aufbau eines fasergekoppelten Terahertz Time-Domain Spektrometers zur Messung der elektromagnetischen Materialeigenschaften von Stoffen im Terahertz Spektralgebiet. Anwendung finden Terahertz Time-Domain Spektrometer beispielsweise bei der Analyse chemischer Verbindungen, der Kontrolle verpackter Gegenstände, in der Medizin zur Krebserkennung und in der Personenkontrolle.

**[0002]** Als Terahertz-Strahlung wird elektromagnetische Strahlung im Frequenzbereich von etwa 0,1 bis 10 THz bezeichnet. Da es im Frequenzbereich der Terahertz-Strahlung Molekülschwingungen unterschiedlicher Substanzen gibt, kann mittels Absorptionsspektroskopie im Terahertz-Bereich des elektromagnetischen Spektrums 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).

**[0003]** Es ist bekannt, dass Terahertz-Strahlung mit photoleitenden Antennen (englisch PCA – photoconductive antenna) unter Verwendung ultrakurzer Lichtpulse eines Lasers mit Pulsdauern  $\leq 1$  ps sowohl erzeugt als auch nachgewiesen werden kann (US 5 789 750). Zum Aufbau eines Terahertz Time-Domain Spektrometers ist es erforderlich, mittels einer einstellbaren Verzögerung dafür zu sorgen, dass der zeitliche Pulsverlauf der die Probe passierenden Terahertz-Strahlung an der Empfangsantenne abgetastet werden kann, um anschließend mittels einer Fouriertransformation des gemessenen zeitlichen Verlaufs des Terahertz-Pulses das Terahertz-Spektrum berechnen zu können (siehe beispielsweise WO 2006/000831 A1).

**[0004]** In nahezu allen bekannten Terahertz Time-Domain Spektrometern ist eine Verzögerungsstrecke in einem der beiden Lichtwege der optischen Laserpulse entweder vor der Sendeantenne oder vor der Empfangsantenne angeordnet (US 6957099 B1, GB 2380920 A, US 6747736 B2, JP 2003083888 A, CA 2396695 A1, WO 00/9248 A1, GB 2372929 A, GB 2350673 A, EP 0828162 A3, US 5789750, US 2005/0253071 A1, JP 2005315708 A, US 2004/0196660 A1, JP 2004279352 A, JP 20044198250 A, WO 2004/106900 A1, WO 2004/106905 A1, WO 2006/000831 A1, GB 2417554 A, US 2005/0179905 A1, GB 2415777 A, EP 1630542 A1, EP 0828162 A2, US 5789750, US 2005/0258368 A1). Diese Anordnung der Verzögerungsstrecke im Weg des optischen Laserpulses ist dann zweckmäßig, wenn der Pulslaser ein Festkörperlaser ist und die Strahlfüh-

rung des Laserpulses in Luft erfolgt. In diesem Fall werden hauptsächlich die standardmäßig in Puls-lasersystemen verwendeten Verzögerungsstrecken mit Retroreflektoren eingesetzt.

**[0005]** In der Patentschrift DE 10 2006 042 642 B4 wird ein Terahertz Time-Domgin Spektrometer beschrieben, bei dem sich die Verzögerungsstrecke im Terahertz-Strahlengang befindet. Da der Durchmesser des Terahertz-Strahls wegen der großen Wellenlänge der Terahertz-Strahlung meistens wesentlich größer als der Durchmesser des optischen Laserstrahls ist, sind die Anforderungen an die mechanische Präzision einer Verzögerungsstrecke im THz-Strahlengang geringer, was zu einem einfacheren und kostengünstigeren Aufbau der Verzögerungsstrecke im Terahertz-Strahlengang führt. Allerdings ist wegen der großen Wellenlänge der Terahertz-Strahlung die Beugung wesentlich, weshalb bei der Verlängerung des Terahertz-Strahlengangs durch die eingebrachte Verzögerungsstrecke Intensitätsverluste entstehen können. Es kann auch Probleme durch ungewollte Reflexionen an optischen Teilen der Verzögerungsstrecke im Terahertz-Strahlengang geben, die das Messergebnis verfälschen können. Dies kann beispielsweise eintreten, wenn als verzögerndes Element verschiebbare Prismen eingesetzt werden, wie das in der Patentschrift DE 10 2006 042 642 B4 im Anspruch 5 beschrieben ist.

**[0006]** Bei der Verwendung moderner Faserlaser zur Erzeugung der optischen Pulse und der Führung der Laserpulse mittels Lichtleitfasern direkt an die photoleitenden Terahertz-Antennen besitzt jedoch der Einsatz einer Freistrahl-Verzögerungsstrecke der Laserpulse den Nachteil, dass das aus der Faser kommende Laserlicht erst kollimiert und nach der Verzögerungsstrecke wieder in die Faser fokussiert werden muss. Wegen der erforderlichen hohen Justiergenauigkeit kann eine derartige Anordnung nur mit hohem technischen Aufwand mechanisch so stabil gestaltet werden, dass ein stabiler Betrieb eines fasergekoppelten Terahertz Time-Domain Spektrometers mit einer solchen Verzögerungsstrecke möglich ist.

**[0007]** Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein fasergekoppeltes Terahertz Time-Domain Spektrometer anzugeben, bei dem die mechanischen Präzisionsanforderungen an den Aufbau gering sind und das deshalb robust ist und kostengünstig hergestellt werden kann.

**[0008]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gemäß dem Patentanspruch 1 dadurch gelöst, dass nicht wie bisher üblich im Lichtweg des Pulslasers oder im Terahertz-Strahlengang eine Verzögerungsstrecke eingesetzt ist, sondern dass entweder die Sendeantenne oder die Empfangsantenne gemeinsam mit

der zugeordneten kollimierenden Terahertz-Optik in Richtung der Terahertz-Strahlung verschiebbar angeordnet ist.

**[0009]** Durch den erfindungsgemäßen Aufbau des fasergekoppelten Terahertz Time-Domain Spektrometers wird erreicht, dass auf den Einbau einer separaten Verzögerungsstrecke verzichtet werden kann. Dadurch verringern sich einerseits die Kosten des Spektrometers und auch der Justieraufwand, den eine optische Verzögerungsleitung üblicherweise erfordert.

**[0010]** Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist im Patentanspruch 2 angegeben. Die Weiterbildung gemäß Patentanspruch 2 besteht darin, dass die Kollimation der Terahertz-Strahlung mittels einer an der Sendeantenne angebrachten asphärischen Substratlinse erreicht wird. Eine Substratlinse wird zur Ein- und Auskopplung der Terahertz-Strahlung aus der halbleitenden Antenne üblicherweise verwendet, um eine große Apertur zu erreichen und gleichzeitig die Terahertz-Strahlung zu führen. Wird die Substratlinse der Sendeantenne als asphärische kollimierende Linse ausgeführt, so ist bereits ein Terahertz-Parallelstrahl beim Austritt der Terahertz-Strahlung aus der Sendeantenne vorhanden. Zweckmäßig besitzt die Empfangsantenne die gleiche Substratlinse. Die erfindungsgemäße Verschiebung der Sendeantenne oder der Empfangsantenne in Richtung der Terahertz-Strahlung führt in diesem Fall lediglich zu einer Zeitverschiebung zwischen Terahertz-Puls und optischem Puls an der Empfangsantenne ohne Beeinflussung der Amplitude des Terahertz-Pulses an der Empfangsantenne. Weitere optische Elemente sind zur Realisierung der Zeitverzögerung im Terahertz-Strahlengang nicht erforderlich.

**[0011]** Durch den im Patentanspruch 3 vorgeschlagenen Einsatz photoleitender Antennen wird eine hohe Effizienz bei der Erzeugung und beim Nachweis der Terahertz-Strahlung gewährleistet.

**[0012]** Die im Patentanspruch 4 angegebene Möglichkeit des Einsatzes eines Faserlasers als Pulslaser vereinfacht den Aufbau des fasergekoppelten Terahertz Time-Domain Spektrometers, weil im gesamten Lichtweg keine Justierelemente erforderlich sind. Dadurch wird der gesamte Aufbau mechanisch sehr stabil. Außerdem gibt es keine offene Laserstrahlung im fasergekoppelten Terahertz Time-Domain Spektrometer, wodurch keine Gefahr der Schädigung der Augen des Betreibers besteht.

**[0013]** Eine erfindungsgemäße Anordnung des fasergekoppelten Terahertz Time-Domain Spektrometers wird nachfolgend an Hand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert. In der zugehörigen Zeichnung zeigt die [Fig. 1](#) das Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen fasergekoppelten Terahertz Time-

Domain Spektrometers gemäß den Patentansprüchen 1, 2, 3 und 4.

**[0014]** Zur Erzeugung der Terahertz Strahlung **5** wird eine photoleitende Sendeantenne **1** mit einer kollimierenden asphärischen Substratlinse **6** verwendet. Die Terahertz-Strahlung **5** wird von einer weiteren Substratlinse **7** auf die Empfangsantenne **2** fokussiert, nachdem sie das Untersuchungsobjekt **8** passiert hat. Die Empfangsantenne **2** ist mit der zugehörigen kollimierenden Substratlinse **7** auf einem Tisch angebracht, der in Richtung der Terahertz-Strahlung **5** verschoben werden kann. Die optischen Pulse werden vom Faserlaser **3** erzeugt und mit den Lichtleitfasern **9** beziehungsweise **10** an die Sendeantenne **1** beziehungsweise an die Empfangsantenne **2** geleitet. Alle optischen Pulse werden in Lichtleitfasern geführt, so dass dieser Teil des Terahertz Time-Domain Spektrometers im Betrieb nicht justiert werden muss und mechanisch sehr stabil ist.

**[0015]** Weil die Laufzeit der Terahertz-Pulse zwischen der Sendeantenne **1** und der Empfangsantenne **2** durch die Verschiebung der Empfangsantenne mit der zugehörigen Terahertz-Optik verändert werden kann, ist die üblicherweise in einem Terahertz Time-Domain Spektrometer vorhandene Verzögerungsstrecke zur Veränderung der Pulslaufzeit nicht erforderlich.

**[0016]** Im angegebenen Ausführungsbeispiel und der zugehörigen [Fig. 1](#) ist die Empfangsantenne **2** mit der zugeordneten Substratlinse **7** auf dem verschiebbaren Tisch **4** angeordnet. Das erfindungsgemäße fasergekoppelte Terahertz Time-Domain Spektrometer funktioniert aber ebenso, wenn die Antenne **2** in [Fig. 1](#) als Sendeantenne und die Antenne **1** als Empfangsantenne verwendet wird.

**[0017]** Damit bei Verwendung des erfindungsgemäßen Aufbaus des fasergekoppelten Terahertz Time-Domain Spektrometers beim Verschieben der Empfangsantenne **2** oder der Sendeantenne **1** keine Änderung der Terahertz-Signalamplitude entsteht, ist ein kollimierter Terahertz-Strahl erforderlich. Im Patentanspruch 2 ist vorgeschlagen, den kollimierten Terahertz-Strahl durch eine entsprechend geformte asphärische Substratlinse **6** zu realisieren. Es ist jedoch auch möglich, anstelle kollimierender Substratlinsen die sonst üblichen hyperhemisphärischen Substratlinsen in Verbindung mit zusätzlichen kollimierenden Linsen oder Spiegeln zu verwenden, wenn dabei das der verschiebbaren Antenne zugeordnete kollimierende optische Bauteil zusammen mit der Antenne auf einem Tisch **4** in Richtung der Terahertz-Strahlung **5** verschoben werden kann.

Bezugszeichenliste

- 1 Sendeantenne
- 2 Empfangsantenne
- 3 Puls laser
- 4 verschiebbarer Tisch
- 5 Terahertz-Strahlung
- 6 Substratlinse der Sendeantenne
- 7 Substratlinse der Empfangsantenne
- 8 Probe
- 9 Lichtleitfaser zur Sendeantenne
- 10 Lichtleitfaser zur Empfangsantenne

**ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- EP 0828162 A2 [0002, 0004]
- EP 0864857 A1 [0002]
- US 5789750 [0003, 0004, 0004]
- WO 2006/000831 A1 [0003, 0004]
- US 6957099 B1 [0004]
- GB 2380920 A [0004]
- US 6747736 B2 [0004]
- JP 2003083888 A [0004]
- CA 2396695 A1 [0004]
- WO 00/9248 A1 [0004]
- GB 2372929 A [0004]
- GB 2350673 A [0004]
- EP 0828162 A3 [0004]
- US 2005/0253071 A1 [0004]
- JP 2005315708 A [0004]
- US 2004/0196660 A1 [0004]
- JP 2004279352 A [0004]
- JP 20044198250 A [0004]
- WO 2004/106900 A1 [0004]
- WO 2004/106905 A1 [0004]
- GB 2417554 A [0004]
- US 2005/0179905 A1 [0004]
- GB 2415777 A [0004]
- EP 1630542 A1 [0004]
- US 2005/0258368 A1 [0004]
- DE 102006042642 B4 [0005, 0005]

### Patentansprüche

1. Fasergekoppeltes Terahertz Time-Domain Spektrometer mit einem Puls laser unter Verwendung einer Sendeantenne und einer Empfangsantenne jeweils mit zugeordneter kollimierender Terahertz-Optik, **dadurch gekennzeichnet**, dass entweder die Sendeantenne (1) oder die Empfangsantenne (2) gemeinsam mit der zugeordneten kollimierenden Terahertz-Optik in Richtung der Terahertz-Strahlung (5) verschiebbar angeordnet ist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass an der Sendeantenne (1) und an der Empfangsantenne (2) jeweils eine asphärische Substratlinse (6, 7) angebracht ist, welche die Terahertz-Strahlung (5) kollimiert.

3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass als Antennen (1, 2) photoleitende Antennen eingesetzt werden.

4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Puls laser (3) ein Faser laser ist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

