

(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
14. Juni 2007 (14.06.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/065643 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01H 9/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2006/011685

(22) Internationales Anmeldedatum:
6. Dezember 2006 (06.12.2006)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2005 058 905.7
9. Dezember 2005 (09.12.2005) DE
10 2006 003 877.0 27. Januar 2006 (27.01.2006) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **DIEHL BGT DEFENCE GMBH & CO. KG**

[DE/DE]; Alte Nussdorfer Str. 13, 88662 Überlingen
(DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BARENZ, Joachim**
[DE/DE]; Zum Hecht 9, 88662 Überlingen (DE). **BAU-
MANN, Rainer** [DE/DE]; Werner-Haberland-Weg 35,
88662 Überlingen (DE). **THOLL, Hans Dieter** [DE/DE];
Seefeldlen 1, 88690 Uhdlingen (DE).

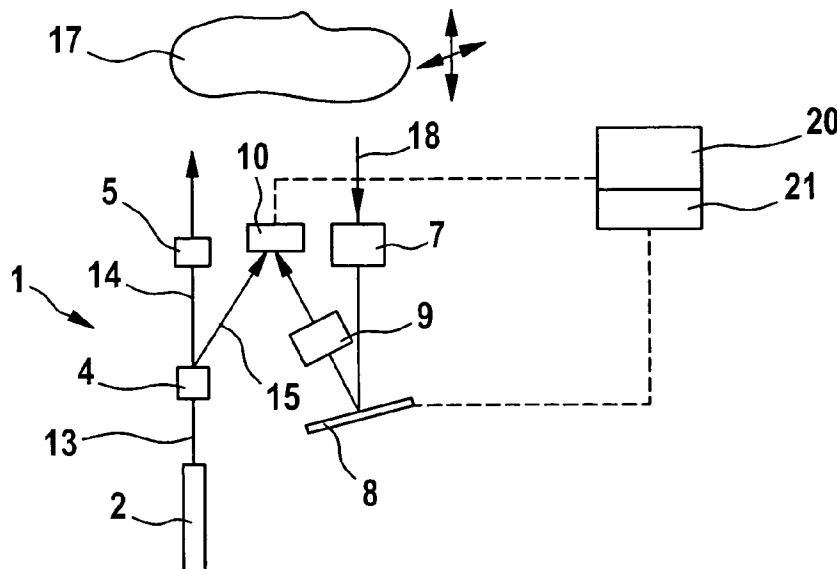
(74) Anwalt: **DIEHL PATENTABTEILUNG**; Zusammen-
schluss Nr. 197, Diehl Stiftung & Co. KG, Stephanstr. 49,
90478 Nürnberg (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS,
JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS,
LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: VIBROMETER

(54) Bezeichnung: VIBROMETER



(57) Abstract: A vibrometer (1, 23) is provided, which comprises a radiation source (e.g. 2) for coherent radiation, a beam splitter (4) for decomposing the output beam (13) of the radiation source (e.g. 2) into a measurement beam (14) for observing a vibrating object (17) and into a reference beam (15), a beam guiding device for superposing the measurement beam (18) returning from the vibrating object (17) with the reference beam (15), and a detector (10) for time-resolved and/or position-resolved recording of the superposition patterns. In this case, a micromirror grid (8) arranged in the beam path of the returning measurement beam (18), a receiving optical means (7) for imaging the vibrating object (17) onto the micromirror grid (8) and an imaging optical means (9) for imaging the micromirror grid (8) onto the detector (10) are provided. The imaging vibrometer (1, 23) is distinguished by a short measurement time. Furthermore, a method for producing a vibration image of the vibrating object (17) and also the use of the vibrometer (1, 23) are stated.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2007/065643 A1



MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS,
RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Es wird ein Vibrometer (1, 23) angegeben, welches eine Strahlungsquelle (z.B. 2) für kohärente Strahlung, einen Strahlteiler (4) zur Zerlegung des Ausgangsstrahls (13) der Strahlungsquelle (z.B. 2) in einen Messstrahl (14) zur Beobachtung eines schwingenden Objekts (17) und in einen Referenzstrahl (15), eine Strahlführungseinrichtung zur Überlagerung des vom schwingenden Objekt (17) rücklaufenden Messstrahls (18) mit dem Referenzstrahl (15) und einen Detektor (10) zur zeit- und/oder orts aufgelösten Aufnahme der Überlagerungsmuster umfasst. Dabei ist ein im Strahlengang des rücklaufenden Messstrahls (18) angeordnetes Mikrospiegelraster (8), eine Empfangsoptik (7) zur Abbildung des schwingenden Objekts (17) auf das Mikrospiegelraster (8) und eine Abbildungsoptik (9) zur Abbildung des Mikrospiegelrasters (8) auf den Detektor (10) vorgesehen. Das abbildende Vibrometer (1, 23) zeichnet sich durch eine geringe Messzeit aus. Weiter werden ein Verfahren zur Erzeugung eines Schwingungsbilds des schwingenden Objekts (17) sowie eine Verwendung des Vibrometers (1, 23) angegeben.

Diehl BGT Defence GmbH & Co. KG, 88662 Überlingen**Vibrometer**

Die Erfindung betrifft ein Vibrometer gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1. Die Erfindung betrifft weiter die Verwendung eines derartigen Vibrometers sowie ein Verfahren zur Erzeugung eines Schwingungsbildes eines schwingenden Objekts.

5 Ein Vibrometer der eingangs genannten Art kann beispielsweise dem Prospekt „Möglichkeiten und Grundlagen der Vibrometrie“ der Polytec GmbH, erhältlich im Download-Bereich unter www.polytec.com, entnommen werden. In einem derartigen Vibrometer wird beispielsweise mittels eines Lasers kohärentes Licht erzeugt und mittels eines Strahlteilers in einen Mess- und in einen Referenzstrahl aufgeteilt. Der Messstrahl trifft auf ein schwingendes Objekt, läuft von diesem
10 reflektiert zurück und wird nach dem Prinzip eines Interferometers zur Überlagerung mit dem Referenzstrahl gebracht. Aufgrund der Schwingungen des Objekts ergibt sich ein charakteristisches Überlagerungs- oder Interferenzmuster, aus welchem auf das Schwingungsverhalten des schwingenden Objekts zurückgeschlossen werden kann. Wird beispielsweise mittels eines Detektors die Intensitätsvariation des Überlagerungsmusters mit der Zeit beobachtet, so kann aus dieser Variation direkt auf die Schwingungsfrequenz des Objekts bzw. seiner angestrahlten Oberfläche zurückgeschlossen werden. Die Modulationsfrequenz des Interferenzmusters ist hierbei direkt proportional zur Geschwindigkeit des
15 schwingenden Objekts.
20

Zur Erfassung des dreidimensionalen Schwingungsverhaltens des schwingenden Objekts ist es bekannt, die Messstrahlen aus orthogonalen Richtungen auf das Objekt zu richten, um somit Wegdifferenzen in drei Raumrichtungen beobachten
25 zu können. Zur Erzeugung eines orts aufgelösten Schwingungsbildes des schwingenden Objekts ist es weiter bekannt, das schwingende Objekt bzw. seine Oberfläche mit dem Messstrahl abzuscanen und somit für jeden Messpunkt das spezifische Schwingverhalten zu ermitteln. Nachteiligerweise erfordert sowohl die

3D- als auch die orts aufgelöste Vibrometrie einen hohen Zeitaufwand bei der Ermittlung des Schwingungsverhaltens.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Vibrometer anzugeben, welches hinsichtlich der notwendigen Messzeit gegenüber einem Vibrometer der herkömmlichen Art verbessert ist. Weiter soll eine Verwendung für ein derartiges Vibrometer angegeben werden. Auch ist es Aufgabe der Erfindung, ein hinsichtlich der notwendigen Messzeit verbessertes Verfahren zur Erstellung eines Schwingungsbildes eines schwingenden Objektes anzugeben.

Die auf eine Vorrichtung gerichtete Aufgabe wird für ein Vibrometer gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1 erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass ein Mikrospiegelraster im Strahlengang des rücklaufenden Messstrahls angeordnet ist, wobei eine Empfangsoptik zur Abbildung des schwingenden Objekts auf das Mikrospiegelraster und eine Abbildungsoptik zur Abbildung des Mikrospiegelrasters auf den Detektor vorgesehen sind.

Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, zur Analyse des Schwingungsverhaltens des zu untersuchenden Objektes dieses nicht mittels des Messstrahls zu scannen, sondern durch eine Abbildung des Interferenzmusters auf dem Detektor zu ersetzen. Hierdurch entfällt der aufwändige Scannvorgang, wodurch sich nicht nur die Messzeit verringert, sondern sich zudem ein einfacherer Aufbau des Vibrometers ergibt. In einem weiteren Schritt geht die Erfindung von der Überlegung aus, dass sich ein einfacher und schneller Detektor zur Auswertung des Interferenzmusters einsetzen lässt, wenn ein Mikrospiegelraster im Abbildungsstrahlengang verwendet wird. Ein derartiges, in Spalten und Zeilen angeordnete Mikrospiegel umfassendes Mikrospiegelraster erlaubt nämlich eine selektive Auswahl einzelner Abbildungsausschnitte, indem nur die gewünschten Mikrospiegel auf den Detektor gerichtet werden.

Mit anderen Worten erlaubt die Erfindung, ein Schwingungsbild des zu untersuchenden Objektes aufzunehmen, in dem nicht der Messstrahl zeitaufwändig über das Objekt geführt, sondern eine selektive Abbildung des Objekts auf den Detektor erfolgt. Dabei verkürzt sich die notwendige Messzeit mindestens um diejenige Teilzeit, die zum Führen des Messstrahls über das Objekt erforderlich wäre.

Hinsichtlich des Aufbaus der Strahlführungseinrichtung, die zur Überlagerung des Mess- und des Referenzstrahls notwendig ist, ist die Erfindung nicht einge-

schränkt. Beispielsweise kann der Aufbau dem eines bekannten Michelson-Interferometers gleichen, wobei in einem Zweig der Messstrahl von dem schwingenden Objekt und in dem anderen Zweig der Referenzstrahl von einem Spiegel reflektiert wird. Die Strahlteilung kann mit herkömmlichen Strahlteilern, aber auch mit nichtlinearen optischen Elementen durchgeführt werden. Zur Strahlführung können Spiegel, Prismen und insbesondere auch Lichtleitfasern eingesetzt sein.

Die notwendige Messzeit des Vibrometers hängt von der angestrebten Auflösung der Schwingungsfrequenz und der Anzahl der ausgewerteten Messpunkte ab. Die Frequenzauflösung legt hierbei die Messzeit pro Messpunkt fest; die gesamte Messzeit pro Fläche hängt linear von der Anzahl der Messpunkte ab. Die Messzeit für eine gewünschte Auflösung der Schwingungsfrequenz von 1 Hz beträgt beispielsweise pro Messpunkt 1 Sekunde. Damit benötigt man zur Auswertung von N Messpunkten N Sekunden. Könnten die N Messpunkte mit einem Mosaik von Detektorelementen parallel beobachtet werden, so würde sich die benötigte Messzeit auf 1 Sekunde verringern. Für jedes Rasterelement wäre ein Wandler für optische in elektrische Energie und eine Elektronik erforderlich, die die aufgenommene Information, wie beispielsweise Intensität, Amplitude oder Frequenz, verarbeitet. Ein derart aufwändiges Element ist für eine kommerzielle Realisierung nicht geeignet.

Vorteilhafterweise erlaubt jedoch der Einsatz eines Mikrospiegelrasters die Verwendung eines einfachen, wenige Rasterelemente aufweisenden Detektors, und insbesondere eines Einzeldetektors. Hierzu muss lediglich mit den eingangs geschilderten Vorteilen bezüglich der Messzeit eine selektive Abbildung des Interferenzbildes auf den Detektor durch Ausrichtung einzelner Mikrospiegel erfolgen. Mit einem Mikrospiegelraster wird demnach mit vertretbarer Messzeit ein Abbilden des Vibrometers mit einem kostengünstigen Detektor möglich.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist eine Sendeoptik zur Ausrichtung des weglaufenden Messstrahls auf das schwingende Objekt vorgesehen. Hierdurch wird beispielsweise eine Aufweitung oder Fokussierung des Messstrahls möglich. Ebenso gut ist es jedoch auch vorstellbar, die Strahlungsquelle bereits so auszugestalten, dass der auf das Objekt treffende Messstrahl bereits eine gewünschte Querschnittsfläche aufweist.

Zweckmäßigerweise wird im Referenzstrahlengang ein Frequenzschieber, insbesondere eine Bragg-Zelle, angeordnet. Mittels eines derartigen Frequenzschie-

bers, der insbesondere auch als ein nichtlineares optisches Element ausgeführt sein kann, wird die Frequenz des Referenzstrahls gegenüber der Frequenz der Messstrahls verschoben. Im Falle der Bragg-Zelle geschieht dies durch eine durcheilende akustische Welle, an der der Referenzstrahl gebeugt wird. Durch die Verschiebung der Frequenz des Referenzstrahls ist es möglich, nicht nur die Geschwindigkeit oder Frequenz des schwingenden Objekts zu analysieren, sondern zusätzlich seine Bewegungsrichtung. Die Modulationsfrequenz des Interferenzmusters ist hierbei von der Bewegungsrichtung des Objektes abhängig.

Zur Detektion der Bewegungsrichtung des schwingenden Objekts kann weiter vorteilhaft auch die Polarisationsrichtung der Strahlung ausgenutzt werden. Hierzu kann der Strahlteiler als ein polarisationsempfindliches Element ausgeführt sein. Zur Strahlteilung kann der Strahlteiler generell als ein teilreflektives oder diffraktives Element ausgestaltet sein.

Die Überlagerung von Mess- und Referenzstrahl kann auf dem Detektor selbst erfolgen. Ebenso gut ist es jedoch auch möglich, die Strahlführungseinrichtung derart auszubilden, dass die Überlagerung von Mess- und Referenzstrahl auf dem Mikrospiegelraster stattfindet. Im ersteren Fall interferiert ein vom Mikrospiegelraster in den Detektor abgebildeter Bildpunkt des schwingenden Objekts erst im Detektor mit dem Referenzstrahl. Im zweiten Fall ergibt sich das Interferenzmuster bereits auf dem Mikrospiegelraster, ehe es insbesondere selektiv auf dem Detektor abgebildet wird. Durch die zweite Variante ergibt sich eine vereinfachte Strahlführung, da der Meß- und der Referenzstrahl gemeinsam im optischen System geführt werden. Allerdings kann durch Interferenz Bildinformation ausgelöscht werden.

Zweckmäßigerweise ist in dem Vibrometer eine Steuereinheit zur Ansteuerung des Mikrospiegelrasters und einer Signalverarbeitungseinheit zur Auswertung der Detektorsignale integriert. Dabei ist in einer bevorzugten Variante die Steuereinheit dafür eingerichtet, die Mikrospiegel zeitlich nacheinander jeweils einzeln auf den Detektor auszurichten, und die Signalverarbeitungseinheit ist dafür eingerichtet, aus den derart erhaltenen Detektorsignalen ein orts aufgelöstes Schwingungsbild des schwingenden Objekts zu erzeugen. Auf diese Weise werden Bildpunkte des schwingenden Objekts mit der möglichen Schaltfrequenz des Mikrospiegelrasters nacheinander auf den Detektor abgebildet, so dass deren Interferenzmuster mit dem Referenzstrahl beobachtet werden kann. Bereits ge-

genüber einem scannenden Vibrometer ergibt sich hierbei eine Verkürzung der Messzeit, da die Verschiebung des Messstrahls entfällt.

Die Messzeit kann vorteilhafterweise weiter verringert werden, wenn die Mikrospiegel nacheinander mit einer Frequenz auf den Detektor ausgerichtet werden, die gegenüber einer zur Auflösung einer maximalen Schwingungsfrequenz erforderlichen Grenzfrequenz erhöht ist. Soll beispielsweise bei einer Auflösung von 1 Hz eine maximale Schwingungsfrequenz von 10 Hz detektiert werden, so beträgt die zur Auflösung erforderliche Grenzfrequenz nach dem Nyquist-Theorem das Doppelte der maximalen Schwingungsfrequenz, nämlich 20 Hz. Folglich muss jeder Messpunkt mit einem zeitlichen Abstand von nicht mehr als 50 Millisekunden über einen Zeitraum von 1 Sekunde auf den Detektor gerichtet werden, um für jeden Messpunkt aus dem Überlagerungsmuster die für das Schwingungsbild notwendige Information zu gewinnen. Werden die Mikrospiegel nacheinander mit einer höheren Frequenz als der erforderlichen Grenzfrequenz auf den Detektor ausgerichtet, so ermöglicht dies eine Verringerung der Messzeit. Dies gelingt dadurch, dass in der Zeit zwischen zwei Messtakten eines Messpunktes, wobei in jedem Messtakt der Mikrospiegel auf den Detektor ausgerichtet ist, weitere Mikrospiegel auf den Detektor ausgerichtet werden. Mit anderen Worten wird jeder Mikrospiegel zeitlich versetzt gegen den Detektor ausgerichtet, wobei jeder Mikrospiegel separat betrachtet mit der Taktung der Grenzfrequenz ausgerichtet wird und der zeitliche Abstand der Ausrichtung aufeinander folgender Mikrospiegel einer höheren Frequenz entspricht, deren Maximalwert durch die maximal mögliche Ansteuerfrequenz des Mikrospiegelrasters gegeben ist. Hierdurch kann die Messzeit deutlich weiter verkürzt werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird das Mikrospiegelraster derart angesteuert, dass die Mikrospiegel zeitlich nacheinander in einer jeweils vorgegebenen Gruppierung auf den Detektor ausgerichtet werden, wobei die Signalverarbeitungseinheit aus den derart erhaltenen Detektorsignalen mit einer mathematischen Transformation ein orts aufgelöstes Schwingungsbild des schwingenden Objekts erzeugt. Bei dieser Variante werden Gruppen von Mikrospiegeln gemeinsam auf den Detektor ausgerichtet. Damit werden mehrere Bildpunkte des Überlagerungsmusters gemeinsam durch den Detektor aufgenommen. Bei entsprechender Vorgabe der gemeinsam auf den Detektor ausgerichteten Mikrospiegel kann mittels einer mathematischen Transformation aus den gesamt aufgenommenen Detektorsignalen auf den Intensitätsverlauf in jedem einzelnen Bildpunkt des Überlagerungsmusters zurückgerechnet werden. Da die Mikro-

spiegel gruppenweise auf den Detektor ausgerichtet werden, ist es hierdurch möglich, die zum Erzielen einer gewünschten Auflösung erforderliche Messzeit deutlich zu verringern. Zum Zurückrechnen eignet sich als mathematische Transformation insbesondere eine Hadamard-Transformation verwendet werden. Diese ist beispielsweise in M. Harwit, Hadamard Transform Optics, Academic Press, 1979, beschrieben.

Zur Erzeugung des orts aufgelösten Schwingungsbilds des zu untersuchenden Objekts kann z.B. aus dem gewonnenen Intensitätsverlauf jedes einzelnen Bildpunkts des Überlagerungsmusters durch eine Frequenzanalyse, beispielsweise durch eine Fourier-Transformation, auf das jeweilige Schwingungsspektrum geschlossen werden. Im Falle einer linearen mathematischen Transformation zur Rückrechnung aus den Gruppeninformationen ist es unerheblich, ob die Frequenzanalyse gleich mit den erhaltenen Detektorsignalen, d.h. den Rohdaten, durchgeführt und anschließend die Transformation angewendet wird, oder ob zunächst die mathematische Transformation auf die Rohdaten angewendet und die Frequenzanalyse mit den transformierten Rohdaten durchgeführt wird.

Zur Verringerung des Signal/Rausch-Verhältnisses ist es zweckmäßig, Streulicht zu unterdrücken. Hierzu sind die Mikrospiegel des Mikrospiegelrasters derart ausgestaltet, dass sie jeweils zwei Kippstellungen einnehmen können, wobei jeder Mikrospiegel eintreffende Strahlung in der ersten Kippstellung auf den Detektor und in der zweiten Kippstellung in eine Lichtfalle lenkt. Durch diese Ausgestaltung wird erzielt, dass den Detektor nur diejenige Strahlung erreicht, die von auf den Detektor ausgerichteten Mikrospiegeln stammt. Streustrahlung von nicht auf den Detektor ausgerichteten Mikrospiegeln wird durch die Lichtfalle reduziert.

Hinsichtlich der Verwendungsangabe wird die gestellte Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass das beschriebene Vibrometer zur Identifizierung eines schwingenden Objekts oder einer signifikanten Eigenschaft des schwingenden Objekts anhand seiner Schwingungscharakteristik eingesetzt wird.

Beispielsweise kann durch die Vibration eines laufenden Motors ein aktives Fahrzeug von einer bloßen Attrappe unterschieden werden. Insbesondere bei einem militärischen Einsatz des Vibrometers ist es somit möglich, zur Identifizierung realer Fahrzeuge eine weitere Eigenschaft, nämlich deren Vibration, heranzuziehen.

In einer zweckmäßigen Ausgestaltung wird die Schwingungscharakteristik dem zu identifizierenden Objekt insbesondere durch eine definierte Schwingungsvorrichtung vorgegeben. Hierzu kann den zu identifizierenden Objekten, wie insbesondere Fahrzeugen, Flugzeugen oder Gebäuden, eine spezifische Schwingungscharakteristik aufgeprägt werden, anhand derer diese der eigenen Seite zugehörend identifiziert werden können. Mittels einer derartigen Verwendung ist demnach eine Freund-Feind-Unterscheidung möglich.

Die auf ein Verfahren gerichtete Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 14 erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass das schwingende Objekt mittels des Messstrahls auf ein Mikrospiegelraster abgebildet wird, und dass das Mikrospiegelraster auf den Detektor abgebildet wird.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind den auf ein Verfahren gerichteten Unteransprüchen zu entnehmen.

Die für das Vibrometer geschilderten Vorteile sind sinngemäß auf die verfahrensgemäßen Ausgestaltungen zu übertragen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand einer Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigen:

FIG 1 schematisch eine erste Variante eines abbildenden Vibrometers mit Mikrospiegelraster,

FIG 2 schematisch eine zweite Variante eines abbildenden Vibrometers mit Mikrospiegelraster und

FIG 3 schematisch die Verwendung eines Vibrometers zur Identifizierung eines schwingenden Objekts.

In FIG 1 ist schematisch ein Vibrometer 1 dargestellt, welches als Strahlungsquelle einen Laser 2, einen Strahlteiler 4, eine Sendeoptik 5, eine Empfangsoptik 7, ein Mikrospiegelraster 8, eine Abbildungsoptik 9 und einen Detektor 10 umfasst.

Der Laser 2 emittiert einen kohärenten Ausgangsstrahl 13, der durch den Strahlteiler 4 in einen Messstrahl 14 und in einen Referenzstrahl 15 aufgeteilt wird. Mittels der Sendeoptik 5 wird der Messstrahl 14 aufgeweitet und auf das zu un-

tersuchende schwingende Objekt 17 gerichtet. Das schwingende Objekt 17 führt - durch die Pfeile angedeutet - Schwingungen aus.

5 An dem schwingenden Objekt 17 wird der Messstrahl 14 reflektiert. Der rücklaufende Messstrahl 18 durchläuft die Empfangsoptik 7, die die beleuchtete Oberfläche des schwingenden Objekts 17 auf das Mikrospiegelraster 8 abbildet. Das Mikrospiegelraster 8 wird mittels der Abbildungsoptik 9 auf dem Detektor 10 abgebildet. Auf dem Detektor 10 interferiert der von dem Mikrospiegelraster 8 auf den Detektor ausgerichtete Teil der Objektabbildung mit dem Referenzstrahl 15, so dass der Detektor 10 das sich bildende Interferenz- oder Überlagerungsmuster beobachtet.

15 Zur Auswertung der enthaltenen Detektorsignale ist der Detektor 10 mit einer Signalverarbeitungseinheit 20 verbunden. Die Signalverarbeitungseinheit 20 ist mit einer Steuereinheit 21 kombiniert, die zur Ansteuerung mit dem Mikrospiegelraster 8 verbunden ist. Die Steuereinheit 21 steuert das Mikrospiegelraster 8 beispielsweise derart an, dass einzelne Mikrospiegel zeitlich nacheinander in einer jeweils vorgegebenen Gruppierung auf den Detektor 10 ausgerichtet werden. In einem Messzyklus werden dabei mit der durch das Mikrospiegelraster 8 möglichen Ansteuerfrequenz eine vorgegebene Anzahl von durch die jeweilige Anordnung der Mikrospiegel im Mikrospiegelraster 8 definierte Gruppen auf den Detektor 10 ausgerichtet. Aus den derart erhaltenen Detektorsignalen wird mittels einer Hadamard-Transformation in der Signalverarbeitungseinheit 20 auf den zeitlichen Intensitätsverlauf des Überlagerungsmusters jedes durch die Größe des Mikrospiegel definierten Abbildungspunktes zurückgeschlossen. Durch eine Frequenzanalyse wird ein orts aufgelöstes Schwingungsbild des schwingenden Objekts 17 erzeugt.

30 In FIG 2 ist schematisch ein alternatives Vibrometer 23 dargestellt. Das Vibrometer 23 unterscheidet sich von dem in FIG 1 gezeigten Vibrometer 1 dadurch, dass die Sendeoptik 5 im Ausgangsstrahl 13 angeordnet ist, und dass der Strahlteiler 4 den abgeteilten Referenzstrahl 15 auf das Mikrospiegelraster 8 richtet. Weiter ist in den Referenzstrahl 15 eine Bragg-Zelle 22 eingesetzt, wodurch der Referenzstrahl 15 eine Frequenzverschiebung erfährt. Hierdurch ist die Detektion der Schwingungsrichtung möglich.

Durch diese Ausgestaltung findet in dem Vibrometer 23 die Überlagerung des rücklaufenden Messstrahls 18 und des Referenzstrahls 15 auf dem Mikrospiegel-

raster 8 statt. In diesem Fall wird durch selektive Ansteuerung der einzelnen Mikrospiegel des Mikrospiegelrasters 8 jeweils ein oder mehrere Bildpunkte des Interferenzmusters in den Detektor 10 abgebildet.

5 Die Detektoren 10 in den Vibrometern 1 und 23 sind jeweils als Einzeldetektoren in Form schneller Photomultiplier ausgebildet. Es wird jeweils der zeitliche Verlauf der aufgenommenen Intensität aufgenommen.

10 In FIG 3 ist eine Verwendung des Vibrometers 1 gemäß FIG 1 zur Gewinnung von Aufklärungsdaten dargestellt. Hierzu überfliegt eine Drohne 24 ein Gelände 26 mit offenem Bewuchs 27 sowie Bäumen 28. Weiter befindet sich in dem Gelände 26 ein Lastkraftwagen 29, von dem es unklar ist, ob er real oder eine Attrappe ist.

15 Die das Gelände 26 überfliegende Drohne 24 ist neben einer Vielzahl anderer Sensoren, wie Kameras und Infrarotdetektoren, mit einem Vibrometer 1 gemäß FIG 1 ausgerüstet. Über den eingezeichneten Strahlengang 30 misst das Vibrometer 1 Schwingungen des anvisierten Objekts. Vorliegend detektiert das Vibrometer 1 eine Motorschwingung des Lastkraftwagens 29, so dass nun eindeutig
20 darauf geschlossen werden kann, dass ein realer Lastkraftwagen 29 vorliegt. Der Einsatz des Vibrometers 1 ergänzt somit die weiter von dem Lastkraftwagen 29 mit den übrigen Sensoren erhaltenen Informationen, so dass für entsprechend einzuleitende Maßnahmen die notwendigen Entscheidungsgründe vorliegen.

Bezugszeichenliste

	1	Vibrometer
5	2	Laser
	4	Strahlteiler
	5	Sendeoptik
	7	Empfangsoptik
	8	Mikrospiegelraster
10	9	Abbildungsoptik
	10	Detektor
	13	Ausgangsstrahl
	14	Messstrahl
	15	Referenzstrahl
15	17	schwingendes Objekt
	18	rücklaufender Messstrahl
	20	Signalverarbeitungseinheit
	21	Steuereinheit
	22	Bragg-Zelle
20	23	Vibrometer
	24	Drohne
	26	Gelände
	27	Bewuchs
	28	Baum
25	29	Lastkraftwagen
	30	Strahlengang

Patentansprüche

1. Vibrometer (1,23), umfassend eine Strahlungsquelle (z.B. 2) für kohärente Strahlung, einen Strahlteiler (4) zur Zerlegung des Ausgangsstrahls (13) der Strahlungsquelle (z.B. 2) in einen Messstrahl (14) zur Beobachtung eines schwingenden Objekts (17) und in einen Referenzstrahl (15), eine Strahlführungseinrichtung zur Überlagerung des vom schwingenden Objekt (17) rücklaufenden Messstrahls (18) mit dem Referenzstrahl (15), und einen Detektor (10) zur zeit- und/oder orts aufgelösten Aufnahme der Überlagerungsmuster,
gekennzeichnet,
durch ein im Strahlengang des rücklaufenden Messstrahls (18) angeordnetes Mikrospiegelraster (8), durch eine Empfangsoptik (7) zur Abbildung des schwingenden Objekts (17) auf das Mikrospiegelraster (8), und durch eine Abbildungsoptik (9) zur Abbildung des Mikrospiegelrasters (8) auf den Detektor (10).
2. Vibrometer (1,23) nach einem Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Detektor (10) als ein Detektor mit wenigen Rasterelementen, insbesondere als ein Einzeldetektor, ausgeführt ist.
3. Vibrometer (1,23) nach Anspruch 1 oder 2,
gekennzeichnet,
durch eine Sendeoptik (5) zur Ausrichtung des weglaufenden Messstrahls auf das schwingende Objekt (17).
4. Vibrometer (1,23) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
gekennzeichnet,
durch einen im Referenzstrahlengang angeordneten Frequenzschieber, insbesondere eine Bragg-Zelle (22).
5. Vibrometer (1,23) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Strahlteiler (4) als ein teilreflektives, diffraktives oder polarisationsempfindliches Element ausgeführt ist.

- 5 6. Vibrometer (1,23) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Strahlführungseinrichtung zur Überlagerung von Mess- und Referenzstrahl (14,15) auf dem Mikrospiegelraster (8) ausgebildet ist.
- 10 7. Vibrometer (1,23) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine Steuereinheit (21) zur Ansteuerung des Mikrospiegelrasters (8) und eine Signalverarbeitungseinheit (20) zur Auswertung der Detektorsignale umfasst ist.
- 15 8. Vibrometer (1,23) nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Steuereinheit (21) dafür eingerichtet ist, die Mikrospiegel zeitlich nacheinander jeweils einzeln auf den Detektor (10) auszurichten, und dass die Signalverarbeitungseinheit (20) dafür eingerichtet ist, aus den derart erhaltenen Detektorsignalen ein orts aufgelöstes Schwingungsbild des schwingenden Objekts (17) zu erzeugen.
- 20 9. Vibrometer (1,23) nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Steuereinheit (21) dafür eingerichtet ist, die Mikrospiegel nacheinander mit einer Frequenz auf den Detektor (10) auszurichten, die gegenüber einer zur Auflösung einer maximalen Schwingungsfrequenz erforderlichen Grenzfrequenz erhöht ist.
- 25 10. Vibrometer (1,23) nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Steuereinheit (21) dafür eingerichtet ist, die Mikrospiegel zeitlich nacheinander in einer jeweils vorgegebenen Gruppierung auf den Detektor (10) auszurichten, und dass die Signalverarbeitungseinheit (20) dafür eingerichtet ist, aus den derart erhaltenen Detektorsignalen mittels einer mathematischen Transformation, insbesondere mittels einer Hadamard-Transformation, ein orts aufgelöstes Schwingungsbild des schwingenden Objekts (17) zu erzeugen.
- 30 35 11. Vibrometer (1,23) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Mikrospiegel des Mikrospiegelrasters (8) derart ausgestaltet sind, dass sie jeweils zwei Kippstellungen einnehmen können, wobei jeder Mikro-
- 40

spiegel eintreffende Strahlung in der ersten Kippstellung auf den Detektor (10) und in der zweiten Kippstellung in eine Lichtfalle lenkt.

- 5 12. Verwendung eines Vibrometers (1,23) nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Identifizierung eines schwingenden Objekts (17) oder einer signifikanten Eigenschaft des schwingenden Objekts (17) anhand seiner Schwingungscharakteristik.
- 10 13. Verwendung eines Vibrometers (1,23) nach Anspruch 12, wobei die Schwingungscharakteristik dem zu identifizierenden Objekt insbesondere durch eine definierte Schwingungsvorrichtung, vorgegeben wird.
- 15 14. Verfahren zur Erzeugung eines Schwingungsbildes eines schwingenden Objekts (17),
- wobei ein Ausgangsstrahl einer kohärenten Strahlung erzeugt und in einen Messstrahl (14) und in einen Referenzstrahl (15) zerlegt wird,
- wobei der Messstrahl (14) auf ein schwingendes Objekt (17) gerichtet wird,
- wobei der vom Objekt (17) zurücklaufende Messstrahl (18) mit dem Referenzstrahl (15) überlagert wird, und
- wobei das Überlagerungsmuster zeitlich und/oder räumlich aufgelöst mittels eines Detektors (10) beobachtet und hieraus auf das Schwingungsbild geschlossen wird,
dadurch gekennzeichnet,
25 - dass das schwingende Objekt (17) mittels des Messstrahls (14) auf ein Mikrospiegelraster (8) abgebildet wird, und
- dass das Mikrospiegelraster (8) auf den Detektor (10) abgebildet wird.
- 30 15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenz des Referenzstrahls (15) verschoben wird.
- 35 16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass sich der Mess- (14) und der Referenzstrahl (15) auf dem Mikrospiegelraster (8) überlagern.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Mikrospiegel des Mikrospiegelrasters (8) zeitlich nacheinander je-
weils einzeln auf den Detektor (10) ausgerichtet werden, und dass aus den
5 derart erhaltenen Detektorsignalen ein ortsaufgelöstes Schwingungsbild des
schwingenden Objekts (17) erzeugt wird.
18. Verfahren nach Anspruch 17,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Mikrospiegel nacheinander mit einer Frequenz auf den Detektor
(10) ausgerichtet werden, die gegenüber einer zur Auflösung einer maxima-
len Schwingungsfrequenz erforderlichen Grenzfrequenz erhöht ist.
19. Verfahren nach Anspruch 14 bis 16,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Mikrospiegel zeitlich nacheinander in einer jeweils vorgegebenen
Gruppierung auf den Detektor (10) ausgerichtet werden, und dass aus den
derart erhaltenen Detektorsignalen mittels einer mathematischen Transfor-
20 mation, insbesondere mittels einer Hadamard-Transformation, ein ortsaufge-
löstes Schwingungsbild des schwingenden Objekts (17) erzeugt wird.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 19,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Mikrospiegel des Mikrospiegelrasters (8) eintreffende Strahlung in
einer ersten Kippstellung auf den Detektor (10) und in einer zweiten Kippstel-
25 lung in eine Lichtfalle lenken.

Fig. 1

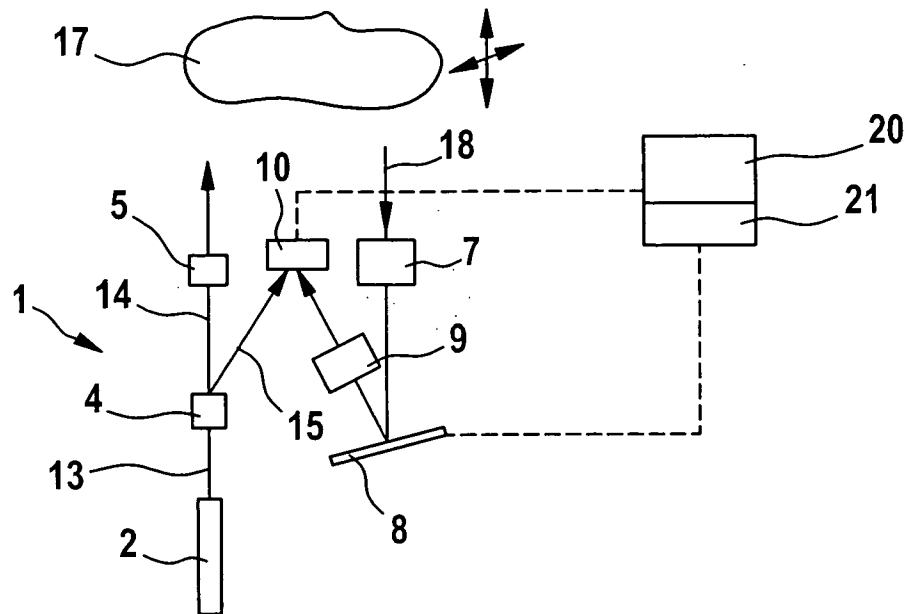
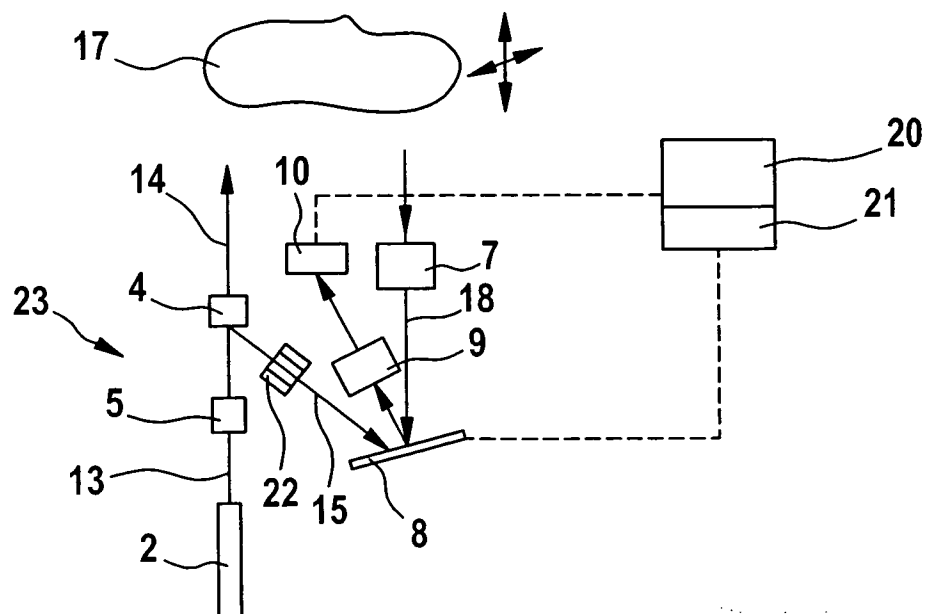
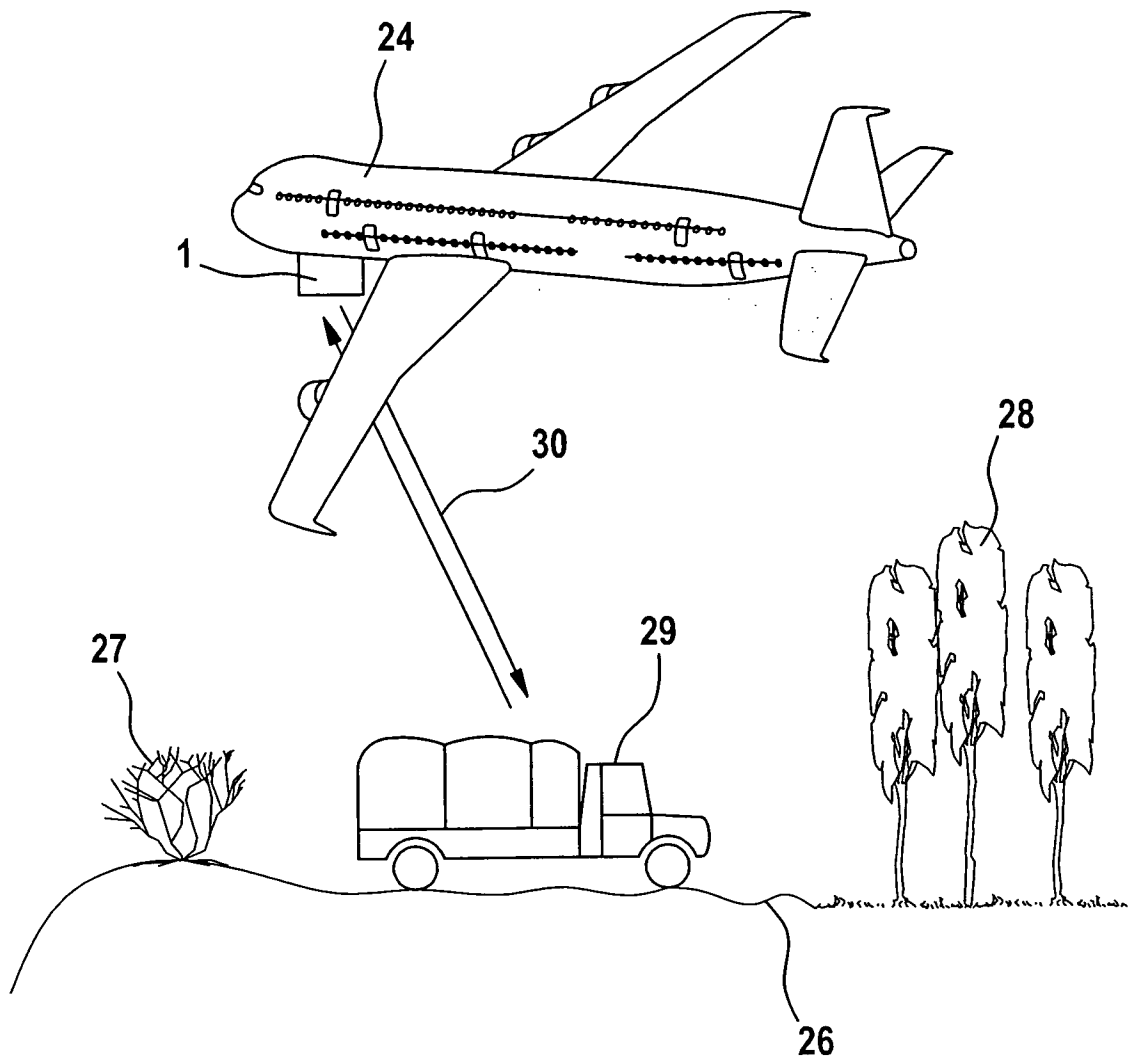


Fig. 2



2 / 2

Fig. 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2006/011685

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01H9/00

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)
G01H G02B

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 practical, 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	US 2005/157306 A1 (SCHMIT JOANNA [US] ET AL) 21 July 2005 (2005-07-21) paragraphs [0004], [0005], [0041], [0042] figure 4	1-20
A	WO 2004/083795 A2 (ARETE ASSOCIATES [US]; KANE DAVID [US]) 30 September 2004 (2004-09-30) page 7, line 34 - page 8, line 2 page 11, line 12 - line 20 page 23, line 36 - page 24, line 1 page 26, line 1 - line 5 figures 1-3	1-20

-/--

☒ 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 document 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

8 March 2007

Date of mailing of the international search report

21/03/2007

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

SCHNEIDERBAUER, K

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2006/011685

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2003/218673 A1 (ABNET CAMERON [US] ET AL) 27 November 2003 (2003-11-27) paragraphs [0043] - [0045] figure 3A -----	1-20
A	US 6 081 481 A (SABATIER JAMES M [US] ET AL) 27 June 2000 (2000-06-27) column 2, line 26 - line 46 figure 1 -----	1-20
A	JP 2000 221077 A (ONO SOKKI CO LTD) 11 August 2000 (2000-08-11) abstract -----	1-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2006/011685

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2005157306	A1	21-07-2005	NONE	
WO 2004083795	A2	30-09-2004	AU 2003300871 A1 CA 2547915 A1 EP 1579262 A2	11-10-2004 30-09-2004 28-09-2005
US 2003218673	A1	27-11-2003	NONE	
US 6081481	A	27-06-2000	NONE	
JP 2000221077	A	11-08-2000	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/011685

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01H9/00

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01H G02B

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	US 2005/157306 A1 (SCHMIT JOANNA [US] ET AL) 21. Juli 2005 (2005-07-21) Absätze [0004], [0005], [0041], [0042] Abbildung 4	1-20
A	WO 2004/083795 A2 (ARETE ASSOCIATES [US]; KANE DAVID [US]) 30. September 2004 (2004-09-30) Seite 7, Zeile 34 - Seite 8, Zeile 2 Seite 11, Zeile 12 - Zeile 20 Seite 23, Zeile 36 - Seite 24, Zeile 1 Seite 26, Zeile 1 - Zeile 5 Abbildungen 1-3	1-20
A	US 2003/218673 A1 (ABNET CAMERON [US] ET AL) 27. November 2003 (2003-11-27) Absätze [0043] - [0045] Abbildung 3A	1-20
----- -/-		

☒ 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* älteres Dokument, 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 anderen 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	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
8. März 2007	21/03/2007
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter SCHNEIDERBAUER, K

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/011685

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 6 081 481 A (SABATIER JAMES M [US] ET AL) 27. Juni 2000 (2000-06-27) Spalte 2, Zeile 26 - Zeile 46 Abbildung 1	1-20
A	JP 2000 221077 A (ONO SOKKI CO LTD) 11. August 2000 (2000-08-11) Zusammenfassung	1-20

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/011685

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2005157306	A1	21-07-2005	KEINE
WO 2004083795	A2	30-09-2004	AU 2003300871 A1 11-10-2004 CA 2547915 A1 30-09-2004 EP 1579262 A2 28-09-2005
US 2003218673	A1	27-11-2003	KEINE
US 6081481	A	27-06-2000	KEINE
JP 2000221077	A	11-08-2000	KEINE