

(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
20. Februar 2003 (20.02.2003)

PCT

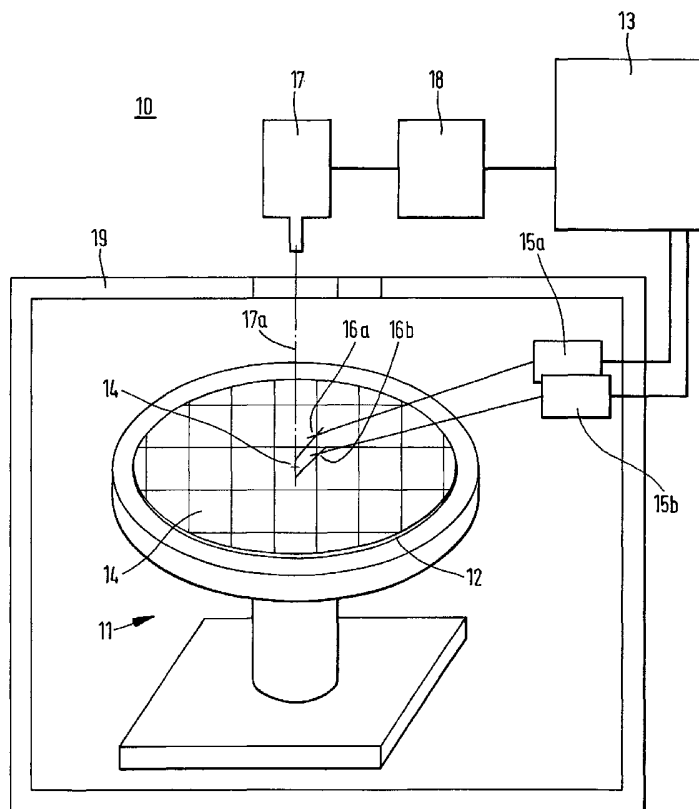
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/014667 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G01C 19/56**, 25/00, G01P 21/00, 15/08, B81C 5/00, B23K 26/00
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/08821
- (22) Internationales Anmeldedatum:
7. August 2002 (07.08.2002)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
101 39 443.8 10. August 2001 (10.08.2001) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **EADS DEUTSCHLAND GMBH** [DE/DE]; Willy-Messerschmitt-Strasse, 85521 Ottobrunn (DE). **CONTI-TEMIC MICROELECTRONIC GMBH** [DE/DE]; Sieboldstrasse 19, 90411 Nürnberg (DE).
- (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BAUER, Karin** [DE/DE]; Gaugrafenstrasse 5, 82041 Oberhaching (DE). **FICKER, Wilhelm** [DE/DE]; Zugspitzstrasse 5, 85604 Pöding (DE). **GLEISSNER, Tanjo** [DE/DE]; Edeltraudstrasse 21, 81827 München (DE). **NUSCHELER, Franz** [DE/DE]; Josephsspitalstrasse 9, 80331 München (DE). **ROSE, Matthias** [DE/DE]; Lindenstrasse 69, 85614

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR TRIMMING SENSORS WITH OSCILLATING STRUCTURES

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM TRIMMEN VON SENSOREN MIT SCHWINGENDEN STRUKTUREN



(57) Abstract: The invention relates to a method for trimming sensors with oscillating structures according to which a sensor element (14) that has an oscillatory structure for detecting a measured quantity is machined using a laser beam (17a) in order to remove material in a specific manner, whereby at least one resonance frequency of the sensor element (14) and/or an imbalance of the sensor element (14) are/is adjusted. During removal of the material, the sensor element oscillates and a state change is instantaneously measured. A femtosecond laser (17) is used for generating the laser beam (17a). A device (10) for trimming sensors has a measuring device (13) for determining a resonance frequency and/or an imbalance of the sensor element (14). Said device also has a laser (17) provided with a control device (18) for the specific removal of material from the sensor element, and has a comparison device in order to compare a measured value, which represents the current resonance frequency and/or the current imbalance, with a given value.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zum Trimmen von Sensoren mit schwingenden Strukturen angegeben, bei dem ein Sensorelement (14), das eine schwingfähige Struktur zur Erfassung einer Messgröße aufweist, mit einem Laserstrahl

(17a) bearbeitet wird, um gezielt Masse abzutragen,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 03/014667 A1



Kirchseeon (DE). **SCHALK, Josef** [DE/DE]; Am Anger 19a, 84051 Altheim (DE). **STENZEL, Erwin** [DE/DE]; Tisinstrasse 17, 82041 Deisenhofen (DE).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

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.

wobei mindestens eine Resonanzfrequenz des Sensorelements (14) und/oder eine Unwucht des Sensorelements (14) abgeglichen wird. Während des Abtragens der Masse schwingt das Sensorelement und es wird eine Zustandsänderung instantan gemessen. Zur Erzeugung des Laserstrahls (17a) wird ein Femtosekundenlaser (17) verwendet. Eine Vorrichtung (10) zum Trimmen von Sensoren hat eine Messeinrichtung (13) zur Bestimmung einer Resonanzfrequenz und/oder einer Unwucht des Sensorelements (14), einen Laser (17) mit einer Steuereinrichtung (18) zur gezielten Abtragung von Masse des Sensorelements, und eine Vergleichseinrichtung, um einen Messwert, der die aktuelle Resonanzfrequenz und/oder die aktuelle Unwucht repräsentiert, mit einem vorgegebenen Wert zu vergleichen.

Verfahren und Vorrichtung zum Trimmen von Sensoren mit schwingenden Strukturen

5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Trimmen von Sensoren mit schwingenden Strukturen gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 1 bzw. 11.

Sensoren mit schwingfähigen Strukturen eignen sich zur Messung verschiedenar-
10 tiger physikalischer Größen wie beispielsweise Drehraten oder Beschleunigungen. Um eine möglichst hohe Messgenauigkeit zu erhalten, müssen die Sensoren sehr genau gefertigt werden.

Derartige Sensoren können jedoch aufgrund von Fertigungstoleranzen oftmals
15 nicht die idealerweise erwarteten Eigenschaften zeigen. Deshalb wird versucht, durch leichte Korrekturen an der Geometrie bzw. durch Abtragen von Masse oder auch durch Verändern der mechanischen Spannung von dünnen Schichten die Sensoreigenschaft zu verbessern.

20 Bekannte Verfahren hierzu sind beispielsweise das mechanische Trimmen durch Fräsen oder Schleifen. Diese Verfahren haben jedoch den Nachteil eines hohen Verbrauchs an Werkzeug. Sie sind darüber hinaus sehr zeitaufwendig.

In der Druckschrift JP 09287956 A wird deshalb das Trimmen einer schwingenden
25 Struktur eines Sensors mittels eines Lasers vorgeschlagen, um eine Resonanzfrequenz einzustellen. Dadurch soll die Messempfindlichkeit des Sensors verbessert werden und der Sensor kompakt und leicht gestaltet werden können.

Jedoch besteht auch bei diesem bekannten Verfahren das generelle Problem,
30 dass ein hoher zeitlicher Aufwand erforderlich ist, um die einzelnen Sensoren ge-

nau zu trimmen und in ihren Sensoreigenschaften genau einzustellen. Als weiteres Problem kommt hinzu, dass beim Einstellen der Frequenz mittels Lasertrimmer eine Unwucht des Sensorelements entstehen kann oder eine vorhandene Unwucht oftmals unkontrolliert geändert wird.

5

In dem Artikel „MICROMACHINING OF SEMICONDUCTORS WITH FEMTOSECOND LASERS“ von H. K. Tönshoff et.al, Published on Proceedings of ICALEO 2000, Dearborn (USA) wird der Ablationsprozess beim Einsatz von Femtosekundenlasern beschrieben. Dabei werden Strukturen aus Silizium mit einem Femtosekundenlaser bearbeitet.

10

Aufgabe der Erfindung ist es, einen berührungslosen und verschleißfreien Abgleich mechanischer Eigenschaften von Sensoren zu ermöglichen, mit dem ein hoher Durchsatz und ein hoher Automatisierungsgrad erreicht werden kann und der Zeitaufwand und der damit verbundene Kostenaufwand verringert werden kann.

15

Diese Aufgabe wird gelöst durch das Verfahren zum Trimmen von Sensoren gemäß Patentanspruch 1 und durch die Vorrichtung zum Trimmen von Sensoren gemäß Patentanspruch 11.

20

Weitere vorteilhafte Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen.

25

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Trimmen von Sensoren mit schwingenden Strukturen wird ein Sensorelement, das eine schwingfähige Struktur zur Erfassung einer Messgröße aufweist, mit einem Laserstrahl bearbeitet, um gezielt Masse abzutragen, wobei mindestens eine Resonanzfrequenz des Sensorelements und/oder eine Unwucht des Sensorelements abgeglichen wird, wobei wäh-

rend des Abtragens der Masse ein Vermessen des Sensorelements im Hinblick auf die Resonanzfrequenz und/oder die Unwucht durchgeführt wird.

5 Durch das erfindungsgemäße Verfahren können mechanische Eigenschaften von Sensoren berührungslos und verschleißfrei abgeglichen werden, wobei gleichzeitig ein hoher Durchsatz und ein hoher Automatisierungsgrad ermöglicht wird.

10 Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird der Zeitaufwand zur genauen Einstellung der Sensoreigenschaften erheblich reduziert, wodurch Kosten eingespart werden. Eigenfrequenzen und Unwuchten der Sensoren bzw. Sensorelemente können gezielt und unabhängig voneinander eingestellt werden.

15 Vorteilhafterweise wird zur Erzeugung des Laserstrahls ein Femtosekundenlaser verwendet, der Laserpulse im Femtosekundenbereich erzeugt. Durch diese Maßnahmen wird insbesondere eine thermische Kopplung vermieden. Das Material schmilzt bei der Bearbeitung nicht auf. Es entsteht keine thermische Ankopplung, da die Einwirkzeit extrem kurz ist, d. h. es wird keine Veränderung der Materialeigenschaft verursacht. Darüber hinaus entstehen keine mechanischen Spannungen durch den Abtragprozess. Hinzu kommt, dass in der Umgebung des Abtragungsortes keine oder nur wenig Materialablagerungen erfolgen. Weiterhin muss
20 der Strahlengang nicht unbedingt im Vakuum erfolgen.

25 Bevorzugt wird der Abgleich auf Wafer Ebene durchgeführt. Dadurch erfolgt eine noch wirksamere Zeit- und Kostenersparnis. Das heißt, es wird ein Online-Messen und Trimmen auf Wafer Ebene von Sensoren mit schwingenden Strukturen möglich, wodurch ein geringerer Bearbeitungsaufwand, ein größerer Durchsatz und dadurch geringere Kosten entstehen. Weiterhin ist eine Vorselektion und ein erster Funktionstest der Sensorelemente auf Wafer Ebene durch ein Prüfverfahren möglich, das nur auf Standardequipment zurückgreift, wie beispielsweise Nadelprober,
30 Laser, u.s.w.

Weiterhin kann eine Vorklassifizierung der Sensoren bezüglich ausgewählter Sensoreigenschaften erfolgen. Bei Drehratensensoren erfolgt dies beispielsweise hinsichtlich der Empfindlichkeit durch Einstellen der Frequenzdifferenz zwischen einer Anregungs-
5 einer Anregungs- und einer Auslesemodus, sowie hinsichtlich der Nullpunktstabilität, die vom Abgleich der Unwucht abhängig ist.

Bevorzugt ist der Sensor aus Silizium gefertigt. Er kann z. B. ein mikromechanischer Drehratensensor sein, wobei das Sensorelement beispielsweise stimmgabel-
10 belförmig ist. Bei einem stimmgabelförmigen Sensorelement können z.B. Resonanzfrequenzen der Zinken der Stimmgabelstruktur mittels Laserablation eingestellt werden. Vorzugsweise wird das erfindungsgemäße Verfahren unter Vakuumbedingungen durchgeführt.

15 Das Verfahren wird bevorzugt derart durchgeführt, dass mindestens eine Resonanzfrequenz des Sensorelements bestimmt wird und diese mindestens eine Resonanzfrequenz durch Laserabtrag bzw. Laserablation verändert wird, bis ein vorgegebener Wert für die mindestens eine Resonanzfrequenz oder eine vorgegebene Differenz zweier Resonanzfrequenzen erreicht ist.

20 Es ist weiterhin möglich, das Verfahren so durchzuführen, dass Zinken einer Stimmgabel zum Schwingen in einer ersten Resonanzfrequenz f_z angeregt werden und bei einer Drehrate aufgrund der Corioliskraft eine Drehschwingung verursacht wird, die eine zweite Resonanzfrequenz f_t aufweist, wobei durch Abtrag an
25 mindestens einem Zinken die erste Resonanzfrequenz f_z erhöht wird, um einen vorgegebenen Differenzwert zwischen den beiden Resonanzfrequenzen einzustellen.

Vorteilhafterweise wird bei dem Verfahren eine Unwucht des Sensorelements bestimmt und es erfolgt eine Abgleichung der Unwucht durch Laserabtrag bis ein durch die Unwucht verursachtes Sensorsignal minimal wird.

5 Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung wird eine Vorrichtung zum Trimmen von Sensoren mit schwingenden Strukturen geschaffen, die eine Messeinrichtung zur Bestimmung einer Resonanzfrequenz und/oder einer Unwucht des Sensorelements umfasst, sowie einen Laser mit einer Steuereinrichtung zur gezielten Abtragung von Masse des Sensorelements, und eine Vergleichseinrichtung, um
10 einen Messwert, der die aktuelle Resonanzfrequenz und/oder die aktuelle Unwucht repräsentiert, mit einem vorgegebenen Wert zu vergleichen. Durch diese Vorrichtung kann das erfindungsgemäße Verfahren auf kostengünstige Weise schnell und effektiv durchgeführt werden. Die besonderen Vorteile, die sich daraus ergeben, wurden oben bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen
15 Verfahren genannt.

Vorteilhafterweise ist der Laser ein Femtosekundenlaser. Bevorzugt umfasst die erfindungsgemäße Vorrichtung eine Vakuumkammer zur Aufnahme eines zu trimmenden Sensorelements oder eines Wafers mit mehreren Sensorelementen.
20 Weiterhin umfasst die erfindungsgemäße Vorrichtung vorteilhafterweise eine Einrichtung zum Tragen und/oder Halten eines Wafers, der ein oder mehrere der Sensorelemente umfasst.

Die Trage- oder Halteeinrichtung ist bevorzugt in der Vakuumkammer angeordnet.
25 Sie ist beispielsweise ein bekannter x-y-z- θ -Tisch zur Aufnahme von Wafern oder Halbleiterelementen in Form von Scheiben bzw. Chips.

Zusammengefasst ermöglicht die Erfindung insbesondere ein vollautomatisiertes Verfahren zum Einstellen von Sensoreigenschaften von Sensoren mit schwingenden
30 Strukturen, da es insbesondere eine Eingangskarakterisierung mit Ausle-

gung des Trimmvorgangs, anschließendes Trimmen und Ausgangscharakterisierung in situ mit derselben Anlage umfasst.

Das heißt, es ist nicht mehr notwendig, den Sensor auszubauen oder den Sensor
5 zum Trimmen und Messen in unterschiedlichen Vorrichtungen oder Positionen bereit zu stellen.

Der Trimmvorgang und/oder die Charakterisierung bzw. das Vermessen wird bevorzugt durch eine geeignete Software gesteuert.

10 Der Zyklus des Verfahrens kann, falls es notwendig sein sollte, mehrfach durchlaufen und insbesondere auf Wafer Ebene durchgeführt werden.

Die entscheidenden Vorteile sind ein effektives Handling, hoher Durchsatz, geringe
15 Kosten, eine mögliche Vorselektion, und eine mögliche Vorklassifizierung.

Ein weiterer entscheidender Vorteil liegt darin, dass das Trimmen von Frequenz und Unwucht geometrisch sehr gut getrennt werden kann, was insbesondere beim Trimmen von Stimmgabel-Drehratensensoren besonders relevant ist.

20 Das vollautomatisierbare in-situ-Trimmmverfahren kann online, d.h. während der Messung, sowohl für die Unwucht als auch für das Trimmen der Frequenz auf Wafer Ebene eingesetzt werden.

25 Um mit dem erfindungsgemäßen Verfahren die Eigenschaften eines schwingenden Sensorelementes einzustellen, ist es neben dem Masseabtrag an den schwingenden Massenelementen bzw. Elementen selbst ebenso möglich, durch Veränderungen des Querschnittes einer Aufhängung von schwingenden Elementen die Federkonstante und somit die Eigenfrequenz zu verändern.

30

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend beispielhaft anhand der Figuren beschrieben, in denen

- Fig. 1 schematisch eine Vorrichtung zum Trimmen von Sensoren gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform schematisch darstellt, und
- 5 Fig. 2 einen Stimmgabel-Drehratensensor zeigt, der als bevorzugtes Beispiel einem erfindungsgemäßen Trimmverfahren unterzogen wird.

Fig. 1 zeigt als bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung eine Vorrichtung 10 zum Trimmen von Sensoren mit schwingenden Strukturen in schematischer Darstellung. Die Vorrichtung 10 umfasst eine Halterung 11 in Form eines x,y,z, Θ -Tisches zum Tragen oder Halten eines Wafers 12, der beispielsweise aus Silizium gefertigt ist. Der Wafer 12, der als Siliziumscheibe vorliegt, steht während des Messbetriebs in elektrischem Kontakt mit einer Messeinrichtung 13, die zur mechanischen und elektrischen Charakterisierung, insbesondere zur Bestimmung

10 einer Resonanzfrequenz und/oder einer Unwucht eines Sensorelements 14 dient. Zu diesem Zweck sind Manipulatoren 15a, 15b an der Messeinrichtung 13 angeschlossen, deren Nadeln 16a, 16b ein oder mehrere Sensorelemente 14 kontaktieren. D. h., die Messeinrichtung umfasst Prüfkarten zum Testen von Chips.

20 Die Vorrichtung 10 umfasst weiterhin einen Laser 17 in Form eines Femtosekundenlasers. Beim Betrieb der Vorrichtung 10, d. h. bei der Durchführung des Trimmverfahrens, ist der Laser 17 auf das Sensorelement 14 gerichtet, um von dort mittels eines Laserstrahls 17a gezielt Masse abzutragen. Eine Steuereinrichtung 18 ist an den Laser 17 und an die Messeinrichtung 13 gekoppelt, um den Laser 17 in Abhängigkeit von den gemessenen Werten für die Resonanzfrequenz

25 und/oder die Unwucht des Sensorelements 14 zu steuern.

Der x-y-z- θ -Messtisch, der die Halterung 11 bildet, ist zusammen mit den Manipulatoren 15a, 15b und den Nadeln 16a, 16b im Innenraum einer Vakuumkammer 19

angeordnet. Es besteht ein elektrischer Kontakt zu Prüfspitzen, Manipulatoren oder Prüfkarten.

Bei der Durchführung des Verfahrens zum Trimmen werden die Sensorelemente
5 14 auf Waferebene getrimmt. D. h., es wird ein Siliziumwafer zur Bearbeitung bereit
gestellt, der eine Vielzahl von Sensoren bzw. Sensorelementen 14 enthalten
kann. Der oder die Sensoren 14 werden bei der Messung zu Schwingungen ange-
regt, wobei die Resonanzfrequenz und/oder die Unwucht gemessen wird. Um die
Schwingungen der Sensoren bzw. Sensorelemente anzuregen, sind diese mit ei-
10 ner Aktorik versehen, die in der Figur nicht dargestellt ist.

Die Sensoren oder Sensorelemente können also während des Abtragsvorgangs in
ihren Anregungszustand bzw. in ihrem Schwingungsmodus gebracht und gehalten
werden, um sofort die Änderung ihrer charakteristischen Eigenschaften zu mes-
15 sen.

Während der Messung der Sensorelemente 14 werden diese mit dem Laserstrahl
des Lasers 17 so bearbeitet, dass Masse an schwingfähigen Strukturen abgetra-
gen wird. Während des Abtrags der Masse werden die Sensoreigenschaften, d. h.
20 Resonanzfrequenz und/oder Unwucht gemessen, so dass das Ergebnis des La-
serabtrags sofort erkennbar ist und durch eine geeignete Steuerung innerhalb der
Steuereinrichtung 18 für die Bestimmung des weiteren Abtrags verwendet wird.

Die Steuerung kann beispielsweise derart erfolgen, dass eine Laserablation durch
25 Beleuchtung mit dem Laserstrahl 17a so lange durchgeführt wird, bis eine zuvor
festgelegte Resonanzfrequenz erreicht ist.

Nachfolgend wird der Frequenzabgleich und der Unwuchtabgleich am Beispiel
eines Stimmgabel-Drehratensensors näher erläutert.

Fig. 2 zeigt in schematischer Ansicht einen Stimmgabel-Drehratensensor 30. Der Sensor 30 umfasst zwei gegenüberliegende Zinken 31a, 31b in Form von Platten, die parallel zueinander ausgerichtet sind. Auf den Zinken 31a, 31b befinden sich Aktoren 32a, 32b, beispielsweise in Form von piezoelektrischen Elementen, um die Zinken 31a, 31b zu Schwingungen in z-Richtung anzuregen. Die Zinken 31a, 31b sind an einem Torsionsbalken 33 befestigt, der ein Messelement 34 zur Messung einer Torsionsbewegung umfasst. Die Torsionsbewegung wird bei einer Schwingung der Zinken 31a, 31b in z-Richtung und bei einer gleichzeitigen Drehung des Systems um die Drehachse A aufgrund der in diesem Zustand wirkenden Corioliskraft f_c erzeugt. Ein derartiger Sensor ist in der Druckschrift DE 195 289 61 C2 im Detail beschrieben.

Bei einer vorhandenen Unwucht, die beispielsweise durch eine Asymmetrie der Zinken 31a, 31b vorhanden sein kann, wird eine Torsionsbewegung innerhalb des Torsionsbalkens 33 auch dann erzeugt, wenn keine Drehbewegung des Systems vorhanden ist.

Im vorliegenden Fall wird die Unwucht durch Laserablation an dem Zinken 31a in den Abtragbereichen 35 beeinflusst, reduziert oder beseitigt. Die Eigenfrequenz des hier dargestellten Drehratensensors 30 wird durch Laserablation bzw. Massenabtrag in dem weiteren Abtragbereich 36 getrimmt bzw. eingestellt. Der Abtragbereich 36 zum Frequenzabgleich befindet sich im Bereich des freien Endes des Zinkens 31a bzw. 31b.

Beim Frequenzabgleich werden die Zinken 31a 31b durch die Aktoren 32a, 32b zum Schwingen in ihrer Resonanzfrequenz f_z angeregt. Anschließend wird bei einer Drehrate des Sensors 30 eine Drehschwingung um die Drehachse A angeregt. Diese Drehschwingung hat die Resonanzfrequenz f_t . Die Drehrate kann z. B. durch Drehen der Halterung 11 (siehe Fig. 1) erzeugt werden. Nun wird die Resonanzfrequenz f_z durch Abtrag an den Zinken 31a, 31b erhöht. Dabei wird bei-

spielsweise durch die Erhöhung der Resonanzfrequenz eine vorgegebene Differenzfrequenz $\Delta f = f_z - f_t$ eingestellt. Von dieser Differenzfrequenz Δf hängt die Empfindlichkeit des Sensors 30 ab, die auf diese Weise eingestellt wird.

- 5 Eine am Sensor 30 vorhandene Unwucht wird durch einen asymmetrischen Masseabtrag bezüglich der Drehachse A in den Abtragbereichen 35 abgeglichen. Die Unwucht entsteht beispielsweise aufgrund von Fertigungstoleranzen, die zu Asymmetrien führen, was ein Schwingen um die Drehachse A bewirkt.
- 10 Nachfolgend wird ein beispielhafter Ablauf des Verfahrens zum Sensorabgleich beschrieben, der z. B. an dem Drehratensensor 30 mittels der in Fig. 1 gezeigten Vorrichtung durchgeführt werden kann.

Um das Verfahren zum Sensorabgleich durchzuführen, wird zunächst ein Wafer
15 bzw. eine Siliziumscheibe in die Vakuumkammer 19 eingebaut. Anschließend wird der Wafer 12 bzw. die Scheibe ausgerichtet und die Vakuumkammer 19 wird evakuiert. Nun wird ein Sensor oder Sensorelement 14 als Teil des Wafers 12, mit einem x-y-z-Thetatisch angefahren und mit den Nadeln 16a, 16b kontaktiert. Der x-y-z-Thetatisch bildet in diesem Fall die Halterung 11. Über eine Elektronikeinheit
20 und die Messeinrichtung 13 werden die Resonanzfrequenzen f_z und f_t und die Unwucht bestimmt. Es können aber auch einzelne dieser Charakteristika bestimmt werden bzw. ein mechanisch elektrischer Plausibilitätscheck vorgenommen werden, und durch Laserabtrag wird die Resonanzfrequenz f_z so verändert, bis ein gewünschtes Δf als Differenz der beiden Resonanzfrequenzen f_z und f_t erreicht ist. Dabei wird f_z schrittweise angepasst, d.h. f_z wird gemessen und dann
25 wird Material mit dem Laser 17 abgetragen. Diese Schritte werden wiederholt, bis Δf erreicht ist. Nun wird durch Laserabtrag die Unwucht abgeglichen, bis der Effekt der Unwucht auf das Sensorsignal minimal wird. Anschließend wird der nächste Sensor 14 des Wafers 12 angefahren und mit den Nadeln 16a, 16b kontaktiert, um

das Trimmverfahren durchzuführen. Der Vorgang des Masseabtrags kann an der schwingenden Sensorstruktur übergangslos zum Vermessen erfolgen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Trimmen von Sensoren mit schwingenden Strukturen, bei
5 dem ein Sensorelement (14,30), das eine schwingfähige Struktur (31a, 31b) zur
Erfassung einer Messgröße aufweist, mit einem Laserstrahl (17a) bearbeitet wird,
um gezielt Masse abzutragen, wobei mindestens eine Resonanzfrequenz des
Sensorelements (14, 30) und/oder eine Unwucht des Sensorelements (14, 30)
abgeglichen wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Sensorelement (14, 30)
10 während des Abtragens der Masse schwingt oder sich im Betriebszustand befin-
det und eine durch den Masseabtrag erfolgende Zustandsänderung instantan ge-
messen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Erzeu-
15 gung des Laserstrahls (17b) ein Femtosekundenlaser (17) verwendet wird, der
Laserpulse im Femtosekundenbereich erzeugt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der
Abgleich auf Waferenebene durchgeführt , und dass während des Abtragens der
20 Masse ein Vermessen des Sensorelements (14, 30) im Hinblick auf die Resonanz-
frequenz und/oder die Unwucht durchgeführt wird und die Zustandsänderung zu
messen.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekenn-**
25 **zeichnet**, dass der Sensor (14, 30) aus Silizium gefertigt ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekenn-**
zeichnet, dass der Sensor (14, 30) ein mikromechanischer Drehratensensor ist,
wobei das Sensorelement (14, 30) stimmgabelförmig ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das stimmgabelförmige Sensorelement (14, 30) Zinken (31a, 31b) umfasst, deren Resonanzfrequenz mittels Laserablation eingestellt wird.

5 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass es unter Vakuumbedingungen durchgeführt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** die weiteren Schritte:

- 10 - Bestimmen mindestens einer Resonanzfrequenz des Sensorelements (14, 30); und
- Verändern der mindestens einen Resonanzfrequenz durch Laserabtrag, bis ein vorgegebener Wert für die mindestens eine Resonanzfrequenz oder eine vorgegebene Differenz zweier Resonanzfrequenzen erreicht ist.

15

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem Zinken (31a, 31b) einer Stimmgabel zum Schwingen in einer ersten Resonanzfrequenz f_z angeregt werden und bei einer Drehrate auf Grund der Corioliskraft eine Dreh-schwingung verursacht wird, die eine zweite Resonanzfrequenz f_t aufweist, wobei

20 durch Abtrag an mindestens einem Zinken (31a) die erste Resonanzfrequenz f_z erhöht wird, um einen vorgegebenen Differenzwert zwischen den beiden Resonanzfrequenzen einzustellen.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** die weiteren Schritte:

25

- Bestimmen einer Unwucht des Sensorelements (14, 30); und Abgleichen der Unwucht durch Laserabtrag, bis ein durch die Unwucht verursachtes Sensorsignal minimal wird.

11. Vorrichtung zum Trimmen von Sensoren mit schwingenden Strukturen, **gekennzeichnet durch** eine Messeinrichtung (13) zur Bestimmung einer Resonanzfrequenz und/oder einer Unwucht des Sensorelements (14, 30); einem Laser (17) mit einer Steuereinrichtung (18) zur gezielten Abtragung von Masse des Sensorelements; und einer Vergleichseinrichtung, um einen Messwert, der die aktuelle Resonanzfrequenz und/oder die aktuelle Unwucht repräsentiert, mit einem vorgegebenen Wert zu vergleichen.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laser (17) ein Femtosekundenlaser ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, **gekennzeichnet durch** eine Vakuum-Kammer (19) zur Aufnahme eines zu trimmenden Sensorelements (14);

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung (11) zum Tragen oder Halten eines Wafers (12), der ein oder mehrere der Sensorelemente (14) umfasst, in der Vakuumkammer (19).

FIG. 1

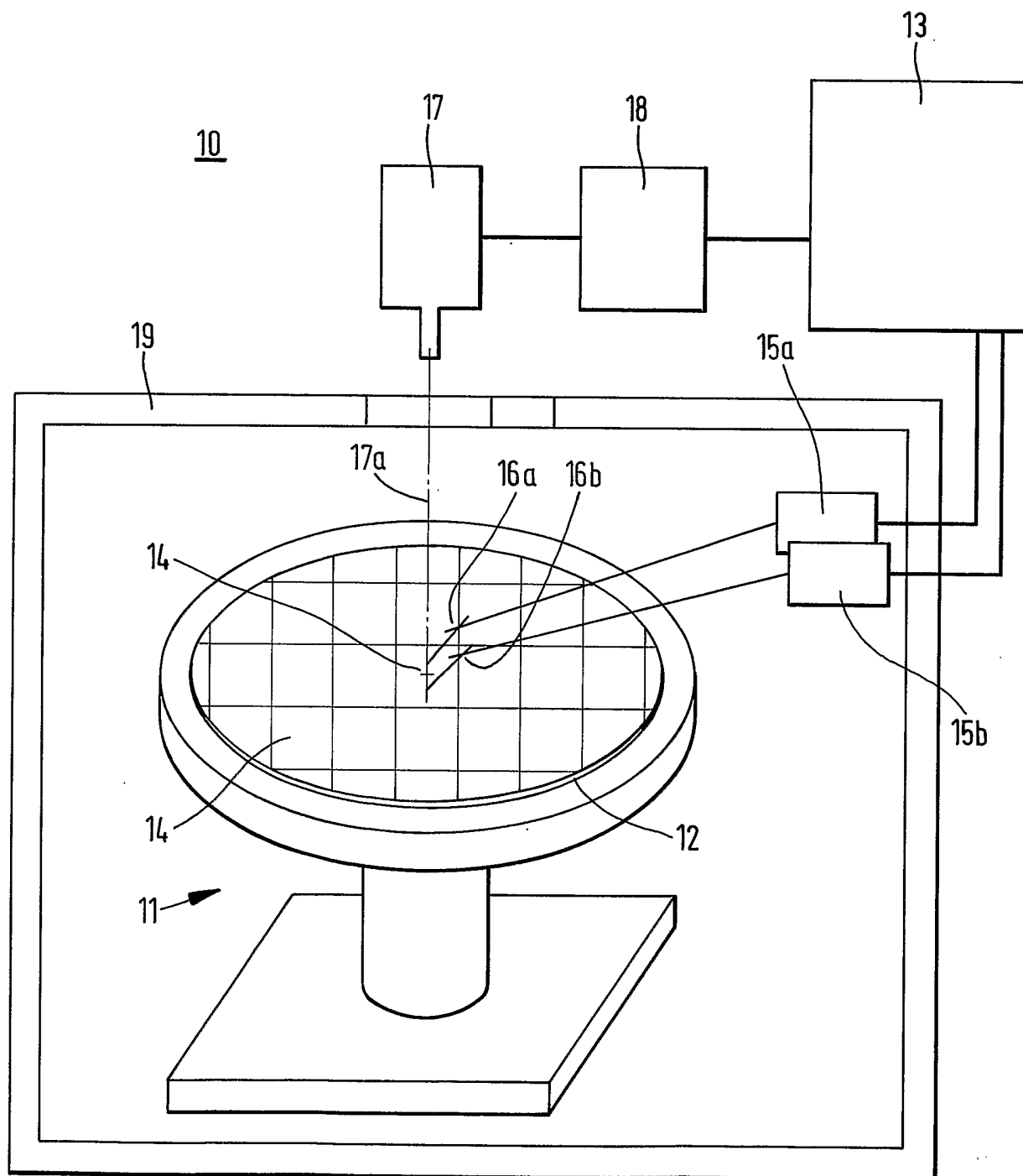
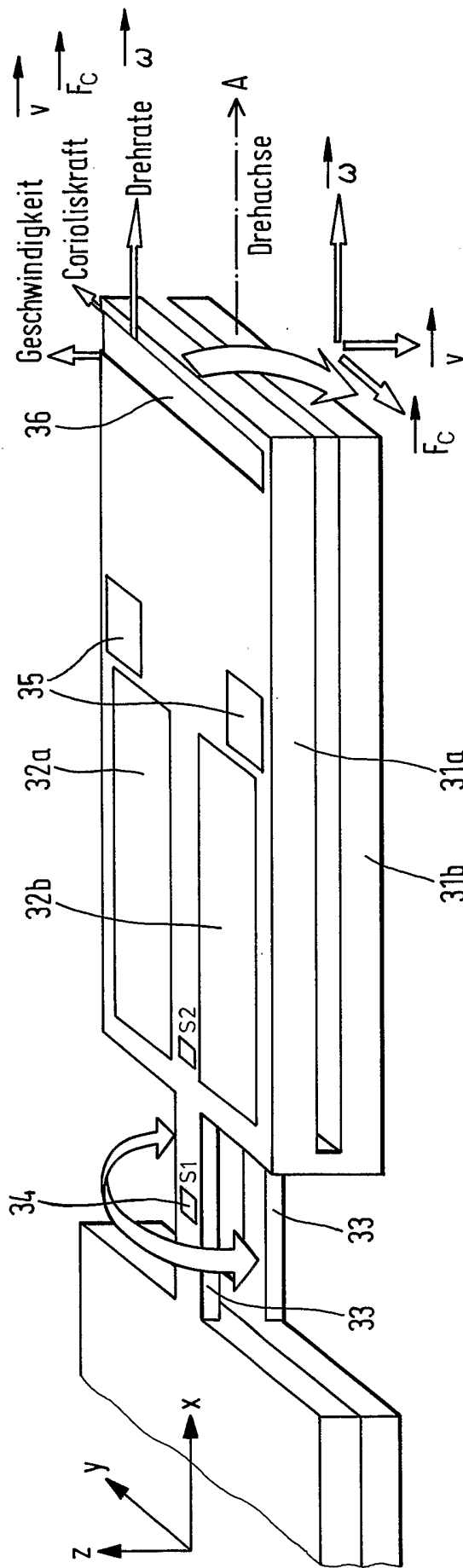


FIG. 2

30



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 02/08821

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01C19/56 G01C25/00 G01P21/00 G01P15/08 B81C5/00
B23K26/00

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)
IPC 7 G01C G01P B81C B23K

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)
WPI Data, PAJ, EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 00 57194 A (THE CHARLES STARK DRAPER LABORATORY INC.) 28 September 2000 (2000-09-28) abstract page 12, line 8 - line 20; figure 8	1-14
A	US 3 766 616 A (STAUDTE J) 23 October 1973 (1973-10-23) abstract column 4, line 41 - line 65 column 7, line 5 - column 8, line 9	1, 11
A	DE 195 28 961 A (DAIMLER BENZ AG) 13 February 1997 (1997-02-13) cited in the application abstract	1
	-/--	

Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in 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.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 6 November 2002	Date of mailing of the international search report 15/11/2002
---	---

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 Hoekstra, F
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
 PCT/EP 02/08821

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>BAHNISCH R ET AL: "Femtosecond laser-based technology for fast development of micromechanical devices" SENSORS AND ACTUATORS A, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, vol. 74, no. 1-3, 20 April 1999 (1999-04-20), pages 31-34, XP004188052 ISSN: 0924-4247 the whole document</p>	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 02/08821

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
WO 0057194	A	28-09-2000	EP	1173773 A1	23-01-2002
			TW	425479 B	11-03-2001
			WO	0057194 A1	28-09-2000
US 3766616	A	23-10-1973	US	3969640 A	13-07-1976
			CH	566675 A5	15-09-1975
			CH	588733 B5	15-06-1977
			CH	1091873 A	15-09-1976
			DE	2313574 A1	04-10-1973
			FR	2176946 A1	02-11-1973
			GB	1381996 A	29-01-1975
			JP	923229 C	22-09-1978
			JP	49008212 A	24-01-1974
DE 19528961	A	13-02-1997	DE	19528961 A1	13-02-1997
			WO	9706412 A1	20-02-1997
			EP	0843809 A1	27-05-1998
			JP	11510895 T	21-09-1999

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

tionales Aktenzeichen

PCT/EP 02/08821

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G01C19/56 G01C25/00 G01P21/00 G01P15/08 B81C5/00
B23K26/00

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G01C G01P B81C B23K

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)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 00 57194 A (THE CHARLES STARK DRAPER LABORATORY INC.) 28. September 2000 (2000-09-28) Zusammenfassung Seite 12, Zeile 8 - Zeile 20; Abbildung 8	1-14
A	US 3 766 616 A (STAUDTE J) 23. Oktober 1973 (1973-10-23) Zusammenfassung Spalte 4, Zeile 41 - Zeile 65 Spalte 7, Zeile 5 - Spalte 8, Zeile 9	1, 11
A	DE 195 28 961 A (DAIMLER BENZ AG) 13. Februar 1997 (1997-02-13) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung	1

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

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

6. November 2002

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

15/11/2002

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

Hoekstra, F

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ^o	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	BAHNISCH R ET AL: "Femtosecond laser-based technology for fast development of micromechanical devices" SENSORS AND ACTUATORS A, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, Bd. 74, Nr. 1-3, 20. April 1999 (1999-04-20), Seiten 31-34, XP004188052 ISSN: 0924-4247 das ganze Dokument.	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 02/08821

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 0057194	A	28-09-2000	EP	1173773 A1	23-01-2002
			TW	425479 B	11-03-2001
			WO	0057194 A1	28-09-2000
US 3766616	A	23-10-1973	US	3969640 A	13-07-1976
			CH	566675 A5	15-09-1975
			CH	588733 B5	15-06-1977
			CH	1091873 A	15-09-1976
			DE	2313574 A1	04-10-1973
			FR	2176946 A1	02-11-1973
			GB	1381996 A	29-01-1975
			JP	923229 C	22-09-1978
			JP	49008212 A	24-01-1974
JP	52047982 B	06-12-1977			
DE 19528961	A	13-02-1997	DE	19528961 A1	13-02-1997
			WO	9706412 A1	20-02-1997
			EP	0843809 A1	27-05-1998
			JP	11510895 T	21-09-1999