



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 4 461 422 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
13.11.2024 Patentblatt 2024/46

(21) Anmeldenummer: 24401015.3

(22) Anmeldetag: 03.05.2024

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B06B 1/02 (2006.01) **B81C 1/00 (2006.01)**
H01L 21/00 (2006.01) **B81B 7/04 (2006.01)**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B06B 1/02; B81B 7/04; B81C 1/00214

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
GE KH MA MD TN

(30) Priorität: 05.05.2023 DE 102023111777

(71) Anmelder: **Technische Universität Chemnitz
09111 Chemnitz (DE)**

(72) Erfinder:

- **Stöckel, Chris
09113 Chemnitz (DE)**
- **Meinel, Sarah Katja
09128 Chemnitz (DE)**
- **Melzer, Marcel
09130 Chemnitz (DE)**

(74) Vertreter: **Rumrich, Gabriele
Patentanwältin
Limbacher Strasse 305
09116 Chemnitz (DE)**

(54) VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES MIKROMECHANISCHEN ULTRASCHALLWANDLERS UND ULTRASCHALLWANDLER

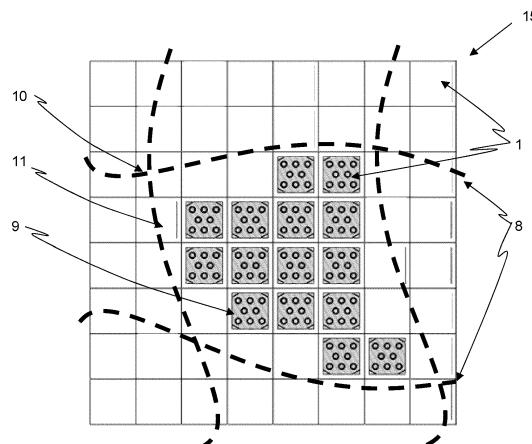
(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Ultraschallwandlers und einen Ultraschallwandler. Der mikromechanische Ultraschallwandler wird aus mehreren modularen Basiszellen (1) auf einem Substrat (2) in einer mikrotechnologischen Fertigung per Dünnschichtabscheidung und lithografischem Verfahren gebildet, wobei eine Vielzahl von Basiszellen (1) rasterförmig auf einem Substrat (2) angeordnet sind und jede Basiszelle (1) mindestens eine Elektrode (3) und mindestens ein elektromechanisches Wandlerelement (4) aufweist und dass eine Gruppe von Basiszellen (1) einen Chip (15) bilden, wobei der Chip (15) aus dem Substrat (2) durch Auftrennen entlang wenigstens einer frei definierbaren Vereinzelungslinie (8) vereinzelt wird und

- dass nebeneinander angeordnete Basiszellen (1) erst nach der mikrotechnologischen Fertigung mittels eines elektrischen Kontakts (6) miteinander kontaktiert werden oder

- dass die nebeneinander angeordneten Basiszellen in der mikrotechnologischen Fertigung elektrisch miteinander über einen Kontaktbereich (7) verbunden wurden und deren elektrische Verbindung nach der mikrotechnologischen Fertigung durch Trennung des Kontaktbereiches (7) getrennt werden.

Der mikromechanische Ultraschallwandler weist mehrere zumindest teilweise rasterförmig angeordnete miteinander kontaktierte, mindestens eine Elektrode (3) und mindestens ein elektromechanisches Wandlerelement (4) aufweisende Basiszellen (1) auf, wobei eine Vielzahl von Basiszellen (1) auf einem Substrat (2) an-

geordnet sind und einen Chip (15) bilden, wobei die Basiszellen (1) auf Substratbene nicht elektrisch miteinander verbunden sind und dass der mikromechanische Ultraschallwandler durch wenigstens eine frei definierbare Vereinzelungslinie (8) randseitig begrenzt ist. (Figur 7)



Figur 7

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Ultraschallwandlers und einen Ultraschallwandler nach dem ersten und neunten Patentanspruch.

[0002] Mikromechanische Ultraschallwandler (engl. micromachined ultrasonic transducer-MUTs) bestehen aus mechanischen und elektrischen Elementen, sowie elektromechanischen Wandlern. Durch die Geometrie der mechanischen Komponenten (bspw. eine Membran) werden die Eigenfrequenzen des Wandlers bestimmt. Elektromechanische Wandler transformieren die elektrische in mechanische Energie und umgekehrt, beispielsweise durch Elektrostatik, Piezoelektrik oder andere Wandlerverfahren. Die elektrischen Komponenten sind elektrische Leitbahnen. Bei MUTs gemäß dem Stand der Technik werden diese Grundkomponenten in einem Layout festgelegt.

[0003] Die Chipgröße und die elektrische Verschaltung von MUTs wird hierbei in den Lithografieebenen festgelegt. Nach der Herstellung durch Mikrotechnologien im Waferlevel werden die Chips zum Beispiel durch Sägen vereinzelt. Die Chipgröße für ein MUT-Layout ist nicht veränderbar und die elektrische Verschaltung der einzelnen Wandlerelemente auf dem Chip nicht adaptierbar.

[0004] Die Druckschrift US 7,531,371 B2 beschreibt ein Verfahren und bezieht sich auf Mehrflächenarrays, die sich hinsichtlich ihrer räumlichen Anordnung unterscheiden, wobei bei dem auf einem oder auch mehreren Wafers Mikrobauelemente bereitgestellt werden. Die einzelnen Chips werden anschließend getrennt und auf einem Substrat positioniert. Im Anschluss erfolgt die Herstellung der Verbindungen zwischen den einzelnen Chips. Nachteilig ist, dass die elektronische Konfiguration im Layout festgelegt und nachträglich nicht mehr anpassbar ist.

[0005] In der Druckschrift EP 3 684 081 B1 wird ein Herstellungsverfahren für mehrere MEMS-Schallwandler beschrieben. Auf einem Wafer ist eine Vielzahl von MEMS-Schallwandlern angeordnet. Diese sind durch Piezoelemente miteinander verbunden, die in einer Formmasse fixiert sind. Entsprechend den Anforderungen der konkreten Anwendung werden die erforderlichen Piezoelemente freigestellt, sodass sie aktiv werden. Diese Freisetzung erfolgt mittels Ätzen oder Laserbehandlung. Nachteilig ist, dass die Wandler mit einer Formmasse umgossen werden müssen. Durch die Formmasse werden die gesägten Chips "handhabbar gemacht" und nachträglich zu einem größeren Chip (Schallwandler) angeordnet.

[0006] Die Druckschrift DE 10 2020 204 773 A1 beschreibt gemäß Anspruch 1 eine Sensoranordnung einzelner Sensorelemente die eigenständig funktionsfähig sind und zur Vereinzelung insbesondere eine Sägestraße aufweist. Nachteilig bei diesem Verfahren ist, dass die Sensorfläche eine definierte Vereinzelungsstruktur

und eine definierte Sägestraße aufweisen muss und damit die Form und Größe des Chips limitiert ist.

[0007] Ein weiterer Nachteil bei dem in Druckschrift DE 10 2020 204 773 A1 beschriebenen Verfahren ist die gemäß Absatz [0021] definierte Montage und elektrische Verdrahtung der einzelnen Sensoren. Diese werden auf einem separaten elektrischen Träger miteinander verbunden und weitere Technologien zur Montage werden benötigt. Darüber hinaus ist dieses Verfahren nur eingeschränkt adaptierbar, da im elektrischen Träger das Design zur Verdrahtung festgelegt ist. Die Lösung nach dieser Druckschrift sieht die elektrische Verdrahtung auf einem separaten Träger vor.

[0008] Die Druckschrift US 2017/0165715 A1 beschreibt ein Verfahren zur Vereinzelung von Sensorelementen mit definierter Vereinzelungsstruktur, aber ohne definierte Sägestraße. Die Form des Chips ist durch eine zusätzliche lithografische Maske und einer tiefen reaktiven Ionenstrahlätzung vom Substrat im Maskenlayout vordefiniert. Die Chipgröße und Form ist demnach im Fertigungsdesign vordefiniert und kann nicht frei gewählt werden. In Absatz [0012] wird definiert, dass die Chipgröße zwingend ein Vielfaches der Basiszelle sein muss. Die erfinderische Tätigkeit aus Anspruch 1 und den abhängigen Ansprüchen ergibt sich daraus, dass die Chipgeometrie nicht im Waferlevel-Layout festgelegt ist. Zudem ist in der Druckschrift die elektrische Verdrahtung auf Chipebene vordefiniert und nicht frei wählbar, was unter Anderem in Figur 6 abgebildet ist. Wäre es einem Fachmann ohne erfinderische Tätigkeit möglich gewesen die Ansprüche einer Freiform-Chip-Geometrie und einem freien Design zur Verdrahtung der akustischen Kanäle zu formulieren, dann wären diese unter Anderem in den Abschnitten [0012] ff beschrieben.

[0009] Die nahestehenden Lösungen aus dem Stand der Technik definieren die Verschaltung von einzelnen Wandlerelementen auf dem Substrat durch eine elektrische Verbindung mittels eines Dünnschichtmetalls, das fotolithografisch festgelegt und nicht adaptierbar ist. Aufgrund der festgelegten elektrischen Kontakte und der Positionen der Wandlerelemente ist die Chipgröße im Design festgelegt. Der Wafer wird entsprechend der Abmaße des Chips gesägt. Das Sägemaß wird im Design festgelegt und ist nicht adaptierbar.

[0010] Nachteilig gemäß dem Stand der Technik ist, dass kundenspezifische Wünsche nach eigenen Chip-Geometrien und Verschaltungsarten der Wandlerelemente wie zum Beispiel die Anzahl der unabhängig arbeitenden elektrischen Kanäle oder die Form eines Kanals als Linie, rechteckige Fläche, kreisförmige Fläche, Ring, etc. nur durch ein Neudesign und eine neue Fabrikation gelöst werden können. Die Grundkosten (Setupkosten) sind sehr hoch und die Herstellungsdauer hierfür ist lang. Für kleinere und mittlere Stückzahlen können keine wirtschaftlichen Systeme angeboten werden. Das Technologiedesign gemäß dem Stand der Technik legt die Verschaltungsart und die Chipgröße in den Lithografieebenen bei der Herstellung durch Mikrotechnologien

fest. Die sich wiederholenden Grundelemente der MUTs entsprechen der Abbildung eines Chips. Die elektrischen Leitbahnen der einzelnen Kanäle sind gemäß dem Stand der Technik auf Waferlevel im Design festgelegt und können nicht nachträglich verändert werden. Auch die mechanisch beweglichen Membranen mit den Elektroden sind je Kanal durch die lithografische Strukturierung der Elemente nicht modular, nicht adaptier- oder nachträglich änderbar. Der Chip kann nicht an einer beliebigen Position vereinzelt werden, da sonst die Funktionalität zerstört wird. Für jedes kundenspezifische Design entstehen neue Setupkosten.

[0011] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Ultraschallwandlers und einen Ultraschallwandler zu entwickeln, das es erlaubt, mikromechanischen Ultraschallwandler auf Substratbene als in Chipgröße und Kanalform und -anzahl modular adaptierbar aufzubauen und als "off the shelf" Komponenten in mit einmaligen Setupkosten be-reitzustellen.

[0012] Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des ersten und neunten Patentanspruchs gelöst.

[0013] Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0014] In dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Ultraschallwandlers wird der mikromechanische Ultraschallwandler aus mehreren modularen Basiszellen gebildet, wobei eine Vielzahl von Basiszellen rasterförmig auf einem Substrat angeordnet sind und jede Basiszelle mindestens eine Elektrode und mindestens einen elektromechanischen Wandler aufweist. Eine Vielzahl von Basiszellen bilden einen Chip, wobei der Chip in Abhängigkeit der Anforde- rungen individuell aus dem Substrat durch Auf trennen entlang wenigstens einer Vereinzelungslinie vereinzelt wird.

[0015] Verfahrensgemäß werden die Basiszellen in ei- ner ersten Variante der Erfindung erst nach der mikro- technologischen Fertigung miteinander kontaktiert. In ei- ner zweiten Variante werden die Basiszellen auf Ebene der Dünnschichtelektroden elektrisch miteinander ver- bunden und deren elektrische Verbindung nach der mi- krotechnologischen Prozessierung einzeln getrennt.

[0016] Die mikromechanischen Ultraschallwandler werden als im Layout identische Halbfabrikate gefertigt und nachfolgend entsprechend der individuellen Anforde- rungen vereinzelt, so dass in Abhängigkeit der Anforde- rungen eine Vielzahl von Basiszellen zur Verfü- gung stehen und entsprechend der Anforderungen eine Kon- taktier-ung der Basiszellen erfolgt oder aufgehoben wird.

[0017] Die Ultraschallwandler können ohne die Ver- wendung eines zusätzlichen elektrischen Trägers mit- einander verschalten werden.

[0018] Die Basiszellen werden vorteilhafter Weise auf dem Substrat in Form eines Wafers per Dünnschichtab- scheidung und lithografischem Verfahren hergestellt.

[0019] Das Auf trennen und Vereinzen erfolgt insbe- sondere in einer Freiform und besonders bevorzugt

durch Sägen entlang einer Sägelinie oder durch Bruch- kanten. Der Abstand der Vereinzelungsstrukturen zuein- ander ist nicht notwendigerweise ein Vielfaches der Ab- messungen der Basiszellen.

[0020] Durch die Vereinzelung entsteht eine aktiv nutz- bare Chipfläche, wobei die aktiv genutzte Chipfläche dem Vielfachen einer Basiszelle entspricht und mitein- ander verbunden oder voneinander getrennt werden. Je nach Verfahren der Vereinzelung kann zusätzlich eine 10 passive Chipfläche entstehen. Die passive Chipfläche liegt im Bereich der wenigstens einen Vereinzelungslinie und ist für die akustische Funktion des Chips nicht nutz- bar.

[0021] Der erfindungsgemäße mikromechanische Ul- 15 traschallwandler weist mehrere zumindest teilweise rasterförmig angeordnete miteinander kontaktierte, mindestens eine Elektrode und einen elektromechanischen Wandler aufweisenden Basiszellen auf, wobei eine Viel- zahl von Basiszellen auf einem Substrat angeordnet sind 20 und einen Chip bilden und der mikromechanische Ultra- schallwandler durch wenigstens eine Vereinzelungslinie randseitig begrenzt ist. Möglich wird dies, da die Basis- zellen auf Substratbene nicht miteinander verbunden sind. Nach der Vereinzelung ist jede Basiszelle, die nicht 25 im Bereich der Vereinzelungslinie liegt (Bruchkante, Sä- gelinie, etc.) funktional auf dem Chip vorhanden. Je nach Ausführung sind die Basiszellen elektrisch auf Substrat- ebene entweder miteinander verbunden oder voneinan- der getrennt. Die Zuordnung der elektrischen Funktionali- 30 täten, wie elektrische Verbindungen, zueinander erfolgt nach der Waferbearbeitung durch Auf trennen der Ver- bindungen oder respektive Kontaktierung der Basiszel- len miteinander.

[0022] Die Vereinzelungslinie ist vorzugsweise in 35 Form einer Geraden, Freiform oder eines Radius/kreis- förmig ausgebildet.

[0023] In einer bevorzugten Ausgestaltung ist die elek- trische Ebene für jede Basiszelle vollständig vorhanden.

[0024] In einer Ausgestaltung des Ultraschallwandlers 40 weist der Chip eine passive Chipfläche und eine aktiv nutz- bare Chipfläche auf, wobei die aktiv genutzte Chip- fläche dem Vielfachen einer Basiszelle entspricht und die passive Chipfläche im Bereich der wenigstens einen Vereinzelungslinie liegt. Auch die Ausgestaltung eines 45 Chips ohne passive Chipfläche ist möglich.

[0025] Die Basiszellen sind in einem Raster angeord- net und erstrecken sich in einer möglichen Ausgestaltung entlang einer ersten Richtung und einer orthogonalen 50 zweiten Richtung nebeneinanderliegend. Jedoch sind auch weitere Anordnungen, zum Beispiel eine Freiform oder eine radialsymmetrische Anordnung möglich.

[0026] Der Ultraschallwandler kann in Abhängigkeit der Kontaktierung der Basiszellen untereinander mehre- re Kanäle aufweisen. Die Kontaktierung erfolgt in Abhän- 55 gigkeit der Anforderungen an den Ultraschallwandler.

[0027] Bevorzugt weist der Ultraschallwandler wenigs- tens einen elektrischen Kanal auf, wobei der eine Kanal mit einem weiteren Ultraschallwandler oder einer ander-

weitigen elektrischen Funktionalität kontaktiert ist.

[0028] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann ein erfindungsgemäßer Ultraschallwandler effektiv hergestellt werden.

[0029] Gegenüber dem Stand der Technik stellt die Erfindung Basiszellen bereit, die wiederum erst nachträglich auf Chip- oder Waferlevel elektrisch zugeordnet und die Chipflächen nach der Fertigung auf Substrat ebene festgelegt werden können. Das Vorhandensein der mikromechanischen Ultraschallwandler in Form der modularen Basiszellen erlaubt es, die Grundkosten für eine MUT-Fertigung auf Substrat ebene einmalig aufzuwenden und eine größere Anzahl von MUT-Basiszellen modular adaptierbaren Chipflächen und elektrischen Verbindungen, zum Beispiel Kanalanzahl, auf Substraten herzustellen. Kundenspezifische MUTs können durch die der mikrotechnologischen Produktion nachgelagerten Bearbeitung mit Vereinzelung und elektr. Verschaltung des Substrats hergestellt werden. Die Substrate liegen als "off the shelf" Komponenten vor. Die Produktion von MUTs für kleinere und mittlere Stückzahlen wird wirtschaftlich und die Lieferzeiten kundenspezifischer Komponenten sinken signifikant. KMUs erhalten somit Zugriff zu MUT-Komponenten, die sich bisher nur für Großunternehmen lohnen und neue Anwendungsfelder können erschlossen werden.

[0030] Die Erfindung wird nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel und zugehörigen Zeichnungen näher erläutert.

[0031] Es zeigen:

- Figur 1 eine Basiszelle eines elektromechanischen Ultraschallwandlers,
- Figur 2 einen dreikanaligen Ultraschallwandler,
- Figur 3 einen zweikanaligen Ultraschallwandler,
- Figur 4 einen einkanaligen Ultraschallwandler,
- Figur 5 Gruppe von Basiszellen, die während der mikrotechnologischen Produktion auf Ebene der Dünnschichtelektroden elektrisch miteinander verbunden sind und in einzelne elektrische Kanäle getrennt werden können,
- Figur 6 Individuelle Vereinzelung der Chip aus dem Waferverbund durch Auf trennen,
- Figur 7 Individuelle Vereinzelung der Chip aus dem Waferverbund durch Auf trennen mit funktionsfähig dargestellten Basiszellen,
- Figur 8 eine alternative Trennung aus dem Waferverbund,
- Figur 9 eine weitere alternative Auf trennung der Basiszellen,
- Figur 10 Schnitt A-A gem. Figur 1,
- Figur 11 Schnitt A-A gem. Figur 1 mit einem alternativen Aufbau,
- Figur 12 Chip 15 auf Leiterplatte

[0032] In der **Figur 1** ist eine Basiszelle 1 eines elektromechanischen Ultraschallwandlers dargestellt, wobei die Basiszelle ein Substrat 2 und darauf angeordnet eine

oder mehrere Elektroden 3, mindestens einen oder eine Gruppe von elektromechanischen Wanderelementen 4 und optional weitere elektrische Kontakte 5 als Dünnschichten aufweist, die per Dünnschichtabscheidung und fotolithografischer Verfahren auf Substrat ebene hergestellt wurden. Die Anordnung der einzelnen elektromechanischen Wanderelemente 4, der Elektroden 3 und von hier nicht dargestellten Anschlüssen zu einer weiteren Basiszelle bzw. einem weiteren Substrat kann je nach Design variieren. Das spezifische Design der Basiszelle in Figur 1 stellt lediglich eine Illustration dar. Die Anordnung der Elektroden 3 und der elektrischen Kontakte 5 kann ebenfalls von der beispielhaften Darstellung in Figur 1 abweichen.

[0033] Die **Figuren 2, 3 und 4** zeigen eine Anordnung von neun Basiszellen 1 in einer 3 x 3 Anordnung der Basiszellen 1, die nach der mikrotechnologischen Prozessierung über Kontaktierungen 6 an den Oberseiten der Elektroden 3 einzeln elektrisch verbunden werden können. Es werden nebeneinander angeordnete Basiszellen miteinander kontaktiert. In Figur 2 ist ein dreikanaliger Ultraschallwandler mit je drei Basiszellen pro Kanal dargestellt. In der Figur 3 ist ein zweikanaliger Ultraschallwandler mit drei, beziehungsweise sechs Basiszellen 1 pro Kanal. Figur 4 zeigt einen einkanaligen Ultraschallwandler mit neun Basiszellen 1 pro Kanal.

[0034] Eine alternative Ausgestaltung der Basiszellen ist in der Figur 5 dargestellt.

[0035] Die Basiszellen 1 sind derart gestaltet, dass sie während der mikrotechnologischen Produktion auf Ebene der Dünnschichtelektroden elektrisch miteinander über einen Kontaktbereich 7 verbunden worden sind. Erst nach deren mikrotechnologischen Prozessierung wird die elektrische Verbindung einzeln getrennt. Diese Auf trennung kann entlang einer Vereinzelungslinie oder in Freiform erfolgen. Eine mögliche Technologie zum Auf trennen kann hierbei die Laserablation sein.

[0036] In den **Figuren 6 und 7** ist die individuelle Vereinzelung des Chips 15 aus dem Substrat/Waferverbund 2 durch Auf trennen, beispielweise Sägen entlang einer Vereinzelungslinie 8 dargestellt, wodurch eine gesägte Chipfläche 10 mit einer aktiv nutzbaren Chipfläche 9 und einer passiven Chipfläche 11 entsteht. Die aktiv genutzte Chipfläche 9 entspricht dem Vielfachen einer Basiszelle 1.

[0037] **Figur 7** zeigt die aktiv nutzbare Chipfläche 9, welche innerhalb der Vereinzelungslinie 8 liegt. Weiterhin sind die gesägte Chipfläche 10 und die ungenutzte Chipfläche 11 ersichtlich.

[0038] Es besteht die Möglichkeit, die aktiv nutzbare Chipfläche 9 vor oder nach dem Herstellen der Vereinzelungslinie 8 durch Verbinden der Basiszellen 1 mittels der Kontaktierungen 6 (hier nicht dargestellt) zu erzeugen.

[0039] **Figur 8** zeigt eine alternative individuelle Vereinzelung des Chips 15 und dessen Basiszellen 1 aus dem Substrat/Waferverbund 2 durch Auf trennen, entlang der Vereinzelungslinie 8. Die Vereinzelungslinie 8 ist

kreisförmig ausgebildet. Es entsteht durch die Vereinzelung eine passive Chipfläche 11 und eine aktiv nutzbare Chipfläche 9. Die aktiv genutzte Chipfläche 9 entspricht auch hier dem Vielfachen einer Basiszelle 1. Die Basiszellen 1 sind durch elektrische Kontakte 6 miteinander verbunden. Der Ultraschallwandler weißt zwei Kanäle auf, wobei jeder der Kanäle eine elektrische Kontaktierung vom Chip 15 zu einer weiteren elektrischen Funktionalität wie beispielsweise einer Elektronik oder Leiterplatte aufweist (nicht dargestellt).

[0040] **Figur 9** zeigt die individuelle Vereinzelung der Basiszellen 1 aus dem Substrat/Waferverbund 2 durch Auf trennen, beispielweise Sägen entlang einer geraden Vereinzelungslinie 8 in Form einer Sägelinie, wobei durch optimale Aufteilung keine passive Chipfläche entsteht. Die aktiv genutzte Chipfläche 9 entspricht dem Vielfachen einer Basiszelle 1. Die Basiszellen 1 können durch nicht dargestellte elektrische Kontakte miteinander verbunden sein.

[0041] In **Figur 10** und **Figur 11** ist der Schnitt A-A gemäß Figur 1 für zwei mögliche Herstellungstechnologien dargestellt. Es ist ersichtlich, dass in dem Substrat 2 der Basiszelle 1 im Bereich des elektromechanischen Wandlerelementes 4 Aussparungen 12 vorhanden sind, die eine mechanische Bewegung der darüber liegenden Membran 13 oder ggf. eines Freiträgers erlauben. Die gestrichelt umrandenden Bereiche in den **Figuren 10 und 11** definieren bzw. umringen jeweils ein elektromechanisches Wandlerelement 4. Alternativ könnte in den Aussparungen 12 auch ein anderes elektrisch isolierendes Material angeordnet sein. Auf der Oberseite des Substrats 2 befindet sich das mechanisch bewegliche Substrat 13, welches sich über den Aussparungen 12 erstreckt. Der Aufbau der elektromechanischen Wandlerelemente 4 und der Elektroden 3 auf dem Substrat 2 ist abhängig vom Wandlerprinzip und designspezifischen Parametern. Der Aufbau in Figur 10 und 11 stellt lediglich eine Illustration dar. In Figur 10 und 11 ist der Aufbau eines piezoelektrischen, elektromechanischen Wandlerelementes 4 beispielhaft gezeigt. Das mechanisch bewegliche Substrat 13 kann als Elektrode fungieren. Alternativ kann eine Elektrodenschicht zwischen dem mechanisch beweglichen Substrat 13 und der piezoelektrischen Schicht 14 eingebracht werden (hier nicht dargestellt). Auf dem mechanisch beweglichen Substrat 13 wurde die piezoelektrischen Schicht 14 des elektromechanischen Wandlerelementes 4 abgeschieden. Auf der Oberseite der Basiszelle 1 befinden sich eine oder mehrere Elektroden 3 als elektrisch leitfähige abgeschiedene Schicht/en. In der oberen Elektrodenschicht sind ein oder mehrere Abstände b vorhanden, so dass Bereiche voneinander elektrisch isoliert sind und die Elektrode/n 3 und die Kontakte 5 gebildet werden. Die Geometrie und der Anschluss der Elektroden 3 kann je nach Design variieren.

[0042] Wird ein kapazitiver Ultraschallwandler aufgebaut, dann unterscheidet sich der Querschnitt und das horizontale Design.

[0043] Beispielsweise bei einem nicht dargestellten kapazitiven Wandler sind dessen beide Elektroden meist vertikal zwischen einer Aussparung angebracht. Eine piezoelektrische Schicht entfällt bei einem kapazitiven Wandler.

[0044] Das Substrat 2 besteht bevorzugt aus Silizium, kann aber auch aus Siliziumoxid und anderen geeigneten Materialien bestehen.

[0045] Die Elektrode 3 des elektromechanischen Wandlers 4 bestehen bevorzugt einem elektrisch leitfähigen Material, z.B. in Form einer elektrisch leitfähigen metallischen Beschichtung aus Aluminium, Gold, Kupfer, Silber oder einem elektrisch leitfähigen Halbleitermaterial.

[0046] Das mechanisch bewegliche Substrat 13 besteht bevorzugt ebenfalls aus Silizium oder auch aus Siliziumoxid, Siliziumnitrid oder Glas bzw. Carbonatglas. Ebenfalls ist die Verwendung eines Polymers oder Metalle möglich. Ist das Substratmaterial 13 nicht elektrisch leitfähig, dann muss zwischen dem Substratmaterial 13 und der piezoelektrischen Schicht 14 eine weitere Elektrodenschicht eingebaut werden.

[0047] Die Schicht 14 des elektromechanischen Wandlers besteht bevorzugt aus piezoelektrischem Material.

[0048] Das elektromechanische Wandlerelement wird im Wesentlichen aus der elektrisch leitfähigen Schicht 3 und der Schicht 14 aus piezoelektrischem Material gebildet. Die piezoelektrische Schicht 14 benötigt zwei, zu meist vertikale, Elektroden, die es ermöglichen ein elektrisches Feld im elektromechanischen Wandlerelement zu erzeugen oder zu messen. Diese elektrischen Kontakte werden durch die Schichten 3 und 13 gebildet.

[0049] Die übliche Wirkungsweise des elektromechanischen Ultraschallwandlers 4, hier eines piezoelektrischen Ultraschallwandlers ist im Wesentlichen folgende: Ein Material mit nichtsymmetrischem Gitter bildet elektrische Ladungsschwerpunkte aus. Daraus folgt, dass sich das Material unter einem elektrischen Feld oder einem dielektrischen Fluss mechanisch deformiert. Durch das Aufbringen der piezoelektrischen Schicht auf einem mechanisch beweglichen Substrat wird diese Deformation in eine Bewegung übertragen und erzeugt einen Schalldruck. Wir der piezoelektrische Ultraschallwandler als Sensor genutzt, dann erfolgt die Wandlungskette reziprok. Das heißt, dass ein Schalldruck zu einer mechanischen Deformation der Komponenten auf dem mechanisch beweglichen Substrat führt und die von der piezoelektrischen Schicht generierten Ladungsträgerdifferenzen durch die Elektroden zu einer Messeinrichtung geleitet werden.

[0050] Die elektromechanische Wandlung kann ebenfalls durch kapazitive Wandler erfolgen. Hierbei wird in der Aussparung 12 ein elektrisches Feld durch Elektroden erzeugt. Eine Änderung der Feldstärke führt zu einer mechanischen Deformation und umgekehrt.

[0051] Darüber hinaus soll mit **Figur 12** noch ein Einblick zu den PMUTs (Piezoelektrischer mikromechani-

scher Ultraschallwandler) gegeben werden, um das Verständnis für die Erfindung zu verbessern. In Figur 12 ist ein nach dem zu patentierenden Verfahren hergestellter PMUT dargestellt. Jede Basiszelle 1 enthält in diesem Design 36 einzelne Ultraschallwandlerelemente (hier nicht ersichtlich) mit einer Resonanzfrequenz von rund 2,5 MHz. Die Basiszellen 1 ($1 \times 1 \text{ mm}^2$) wurden auf einem Chip 15 ($12 \times 12 \text{ mm}^2$) rasterförmig angeordnet. Die elektrische Verdrahtung in Form der elektrischen Kontaktierung 6 zwischen den Oberseiten der hier nicht bezeichneten Elektroden wurde für eine Anwendung in der Optoakustik zu 10 akustischen Kanälen mit einer Abmessung von jeweils $1 \times 10 \text{ mm}^2$ zusammengefügt (mehrere dieser Chips 15 auf einem nicht planaren Substrat werden beispielsweise für eine optoakustische Bildgebung eingesetzt). Diese Verbindung erfolgte durch automatisierten Drahtbond und ohne Verwendung eines elektrischen Trägers und ohne Verdrahtungsebenen auf Wafерlevel (Lithografieebenen o.ä.). Für eine andere Anwendungen (nicht abgebildet) wird beispielsweise das gleiche Wafermaterial genutzt, um beispielsweise einen quadratischen PMUT ($1 \times 1 \text{ mm}^2$) oder einen runden PMUT mit 5 mm Durchmesser und jeweils einem akustischen Kanal aufzubauen. Für jede Anwendung kann auf die Nutzung eines elektrischen Trägers mit Verdrahtungsebenen oder auf zusätzliche Maskenlithografie verzichtet werden.

[0052] In diesem Beispiel ist nur eine aktiv genutzte Chipfläche 9 vorhanden.

[0053] In **Figur 12** ist weiterhin die üblich verwendete Leiterplatte 16 sowie die dazugehörigen elektrischen Komponenten, wie zum Beispiel eine Kontaktierung 17 von Chip zu einem elektrischen Pad auf der Leiterplatte 18 und weiteren Kontaktierungen 19 von Leiterplatte zu einer Messeinrichtung ersichtlich.

[0054] Mit der erfindungsgemäßen Lösung können die Form des Chips und der akustischen Kanäle nach dem mikrotechnologischen Prozess frei gewählt werden.

[0055] Die Chips werden vorgefertigt und dann später nach Kundenwunsch fertig nach dem erfindungsgemäßen Verfahren konfiguriert, wodurch eine hohe Zeit- und Kostenersparnis gegeben ist.

[0056] Dem Kunden können in sehr kurzer Zeit seine kundenspezifischen Ultraschallwandler gefertigt werden.

Bezugszeichenliste

[0057]

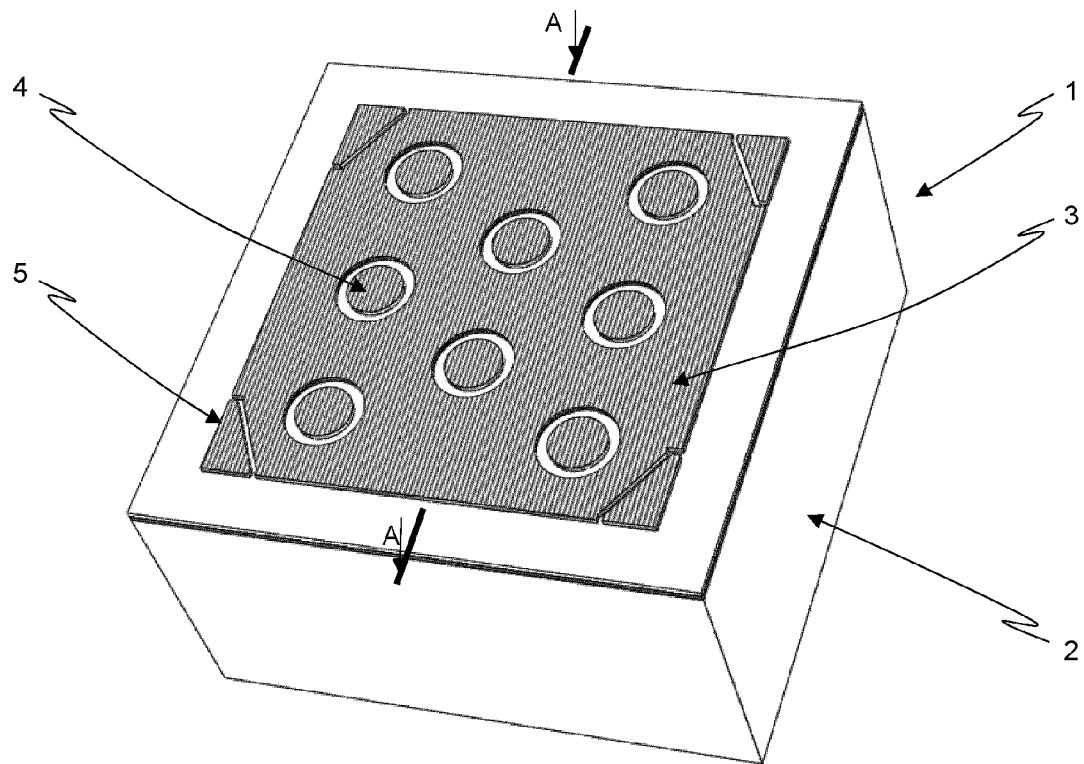
- 1 Basiszelle
- 2 Substrat/Waferverbund
- 3 Elektrode
- 4 elektromechanisches Wandlerelement
- 5 optionaler Kontakt
- 6 elektrischer Kontakt/Kontaktierung
- 7 Kontaktbereich
- 8 Vereinzelungslinie

- 9 aktiv genutzte Chipfläche
- 10 gesägte Chipfläche
- 11 passive Chipfläche
- 12 Aussparungen / Löcher / Isolation
- 5 13 mechanisch bewegliches Substrat / Membran
- 14 Schicht des elektromechanischen Wandlers
- 15 Chip
- 16 Leiterplatte
- 17 Kontaktierung von Chip zu Leiterplatte
- 10 18 Kontaktpad auf der Leiterplatte
- 19 Kontaktstecker für konfektionierte Kabel zur Messseinrichtung / Elektronik
- b Abstand zwischen Elektroden

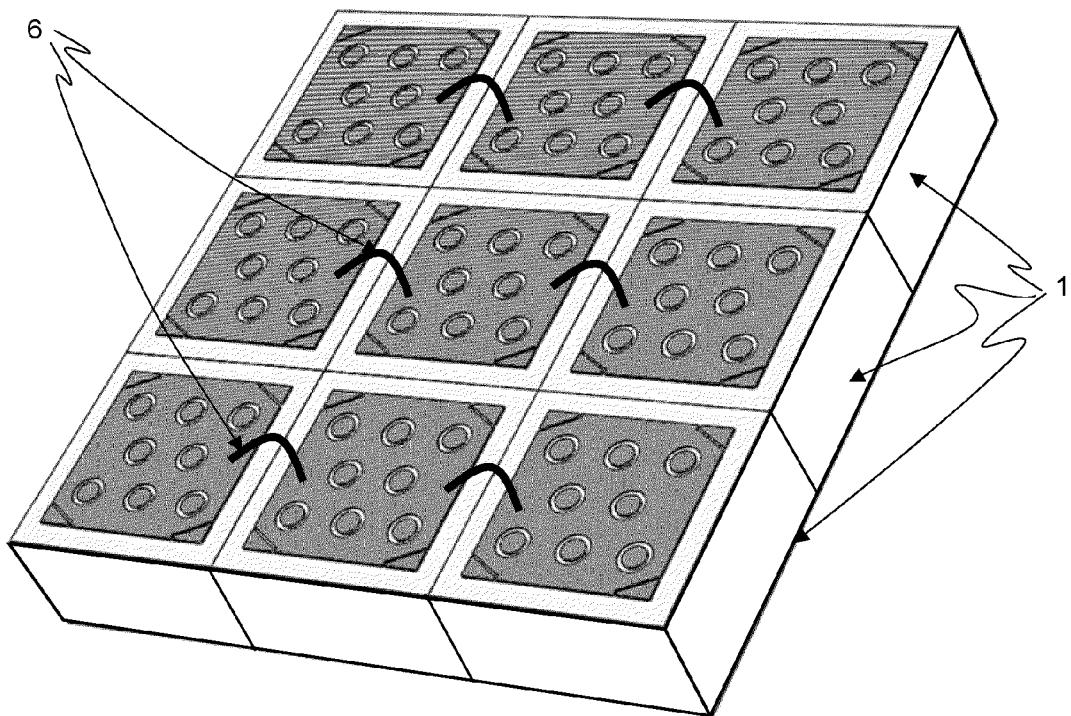
Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Ultraschallwandlers, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mikromechanische Ultraschallwandler aus mehreren modularen Basiszellen (1) auf einem Substrat (2) in einer mikrotechnologischen Fertigung per Dünnschichtabscheidung und lithografischem Verfahren gebildet wird, wobei eine Vielzahl von Basiszellen (1) rasterförmig auf einem Substrat (2) angeordnet sind und jede Basiszelle (1) mindestens eine Elektrode (3) und mindestens ein elektromechanisches Wandlerelement (4) aufweist und dass eine Gruppe von Basiszellen (1) einen Chip (15) bilden, wobei der Chip (15) aus dem Substrat (2) durch Auf trennen entlang wenigstens einer frei definierbaren Vereinzelungslinie (8) vereinzelt wird und
 - dass nebeneinander angeordnete Basiszellen (1) erst nach der mikrotechnologischen Fertigung mittels eines elektrischen Kontakts (6) miteinander kontaktiert werden oder
 - dass die nebeneinander angeordneten Basiszellen in der mikrotechnologischen Fertigung elektrisch miteinander über einen Kontaktbereich (7) verbunden wurden und deren elektrische Verbindung nach der mikrotechnologischen Fertigung durch Trennung des Kontaktbereiches (7) getrennt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Chip (15) in Abhängigkeit der Anforderungen individuell aus dem Substrat (2) durch Auf trennen entlang der frei definierbaren Vereinzelungslinie (8) vereinzelt wird,
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch die Vereinzelung entlang der Vereinzelungslinie (8) eine passive Chipfläche (11) und eine aktiv nutzbare Chipfläche (9) des Chips (15) entstehen.

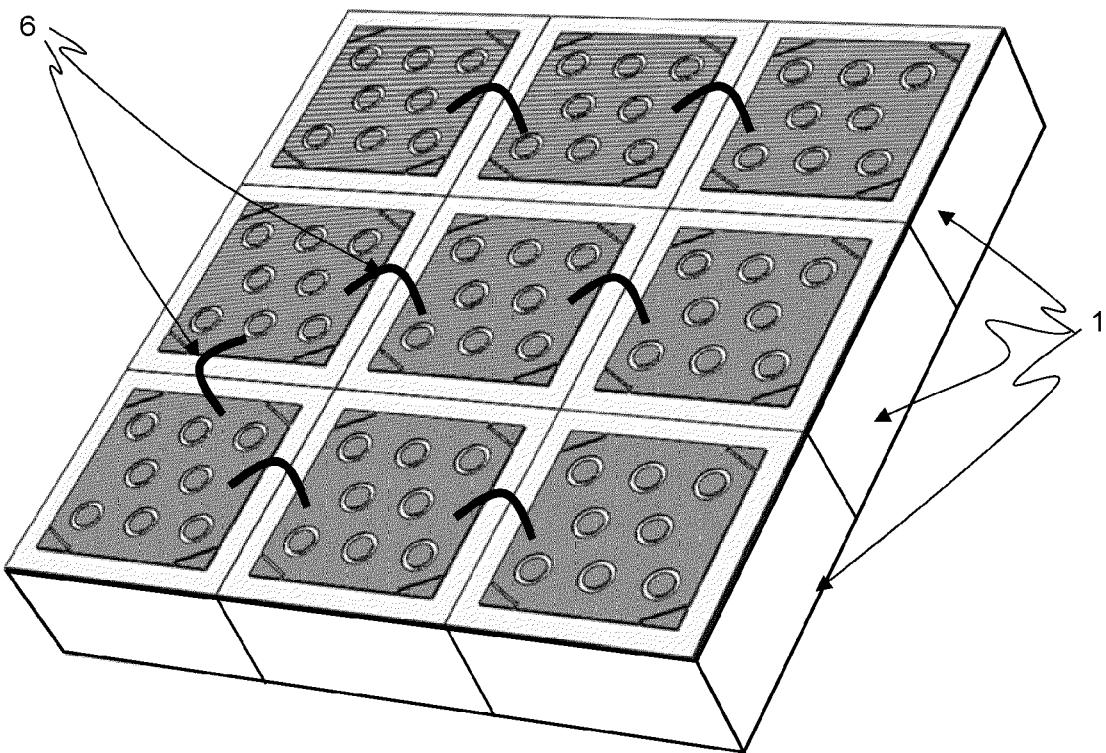
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** wobei die aktiv genutzte Chipfläche dem Vielfachen einer Basiszelle (1) entspricht, die miteinander verbunden oder von einander getrennt wurden. 5 ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die passive Chipfläche (11) im Bereich oder außerhalb der wenigstens einen Vereinzelungslinie (8) erzeugt wurde. 10
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Basiszellen (1), durch welche die Vereinzelungslinien (8) erzeugt werden, eine ungenutzte gesägte Chipfläche bilden. 15
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kontaktierung von nebeneinander angeordneten Basiszellen (1) mittels eines Kontakts (6) in Form eines Kontakt- 20 drahtes
- von einer Oberseite einer Elektrode (3) auf der Oberseite einer Basiszelle (1)
- zur Oberseite einer Elektrode (3) einer benachbarten Basiszelle (1) hergestellt wird. 25
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Auftrennen entlang der wenigstens einen frei definierbaren Vereinzelungslinie (8) entlang einer Sägelinie oder Bruchkante erfolgt. 30
9. Mikromechanischer Ultraschallwandler, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mikromechanische Ultraschallwandler mehrere zumindest teilweise rasterförmig angeordnete miteinander kontaktierte, mindestens eine Elektrode (3) und mindestens ein elektromechanisches Wandlerelement (4) aufweisende Basiszellen (1) aufweist, wobei eine Vielzahl von Basiszellen (1) auf einem Substrat (2) angeordnet sind und einen Chip (15) bilden, wobei die Basiszellen (1) auf Substratbene nicht elektrisch miteinander verbunden sind und dass der mikromechanische Ultraschallwandler durch wenigstens eine frei definierbare Vereinzelungslinie (8) randseitig begrenzt ist. 35 40 45
10. Mikromechanischer Ultraschallwandler nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine Vereinzelungslinie (8) in Form einer Gerade, Freiform oder eines Radius/kreisförmig ausgebildet ist. 50
11. Mikromechanischer Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine elektrische Ebene für jede Basiszelle (1) vollständig vorhanden 55
12. Mikromechanischer Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Chip (15) eine passive Chipfläche (11) und eine aktiv nutzbare Chipfläche (9) aufweist, wobei die aktiv nutzbare Chipfläche (9) dem Vielfachen einer Basiszelle (1) entspricht und bevorzugt die passive Chipfläche (11) im Bereich oder neben der wenigstens einen Vereinzelungslinie (8) liegt und/oder die Basiszellen (1), entlang der Vereinzelungslinien (8), eine gesägte Chipfläche (10) aufweisen. 60
13. Mikromechanischer Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 9 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Basiszellen (1) in einem Raster angeordnet sind und sich entlang einer ersten Richtung und/oder entlang einer orthogonalen zweiten Richtung nebeneinanderliegend erstrecken. 65
14. Mikromechanischer Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 9 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ultraschallwandler in Abhängigkeit der Kontaktierung der Basiszellen untereinander mehrere Kanäle aufweist. 70
15. Mikromechanischer Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 9 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ultraschallwandler wenigstens einen elektrischen Kanal aufweist und der eine Kanal mit einem weiteren Ultraschallwandler oder einer anderweitigen elektrischen Funktionalität kontaktiert ist. 75



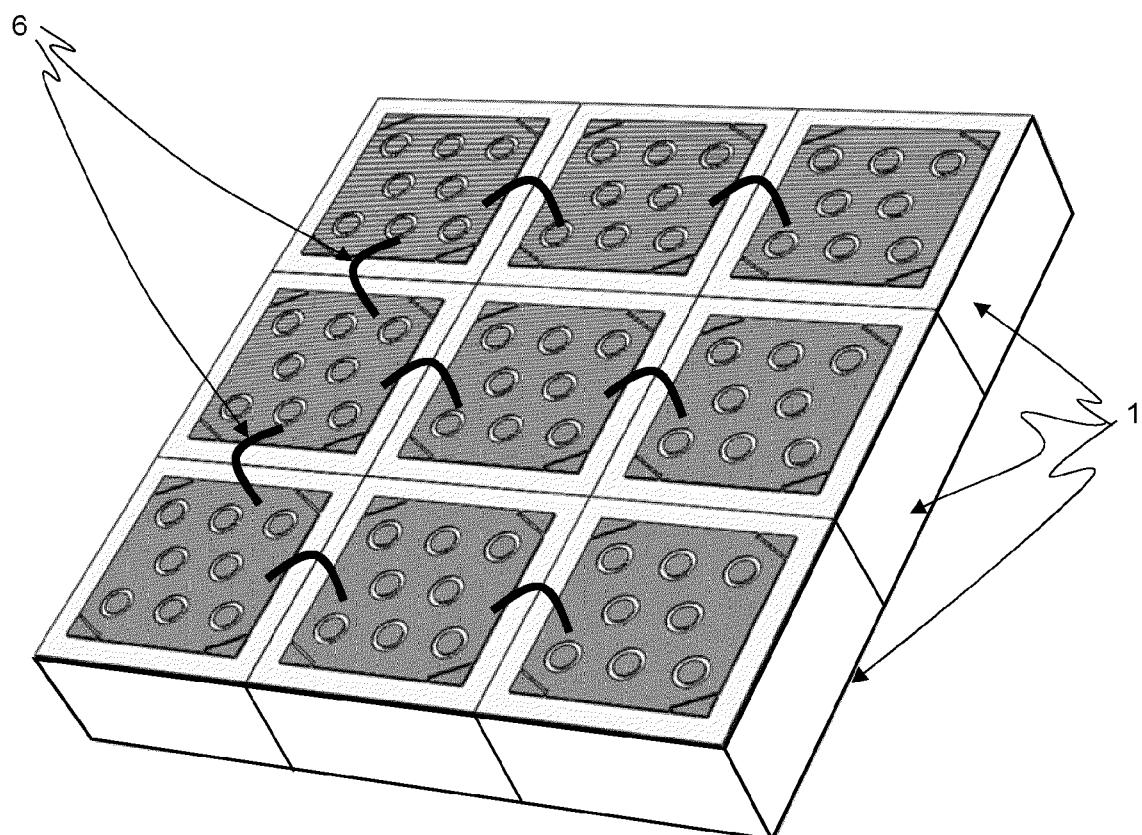
Figur 1



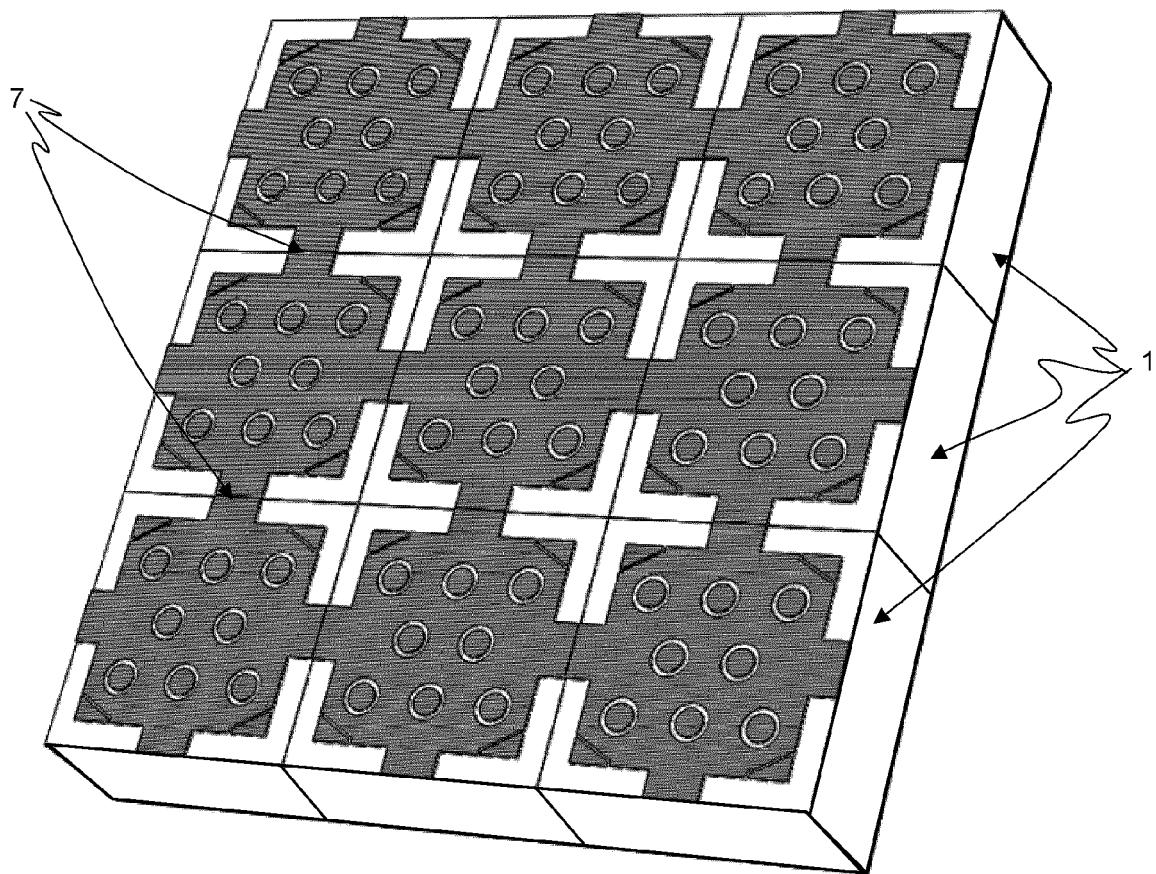
Figur 2



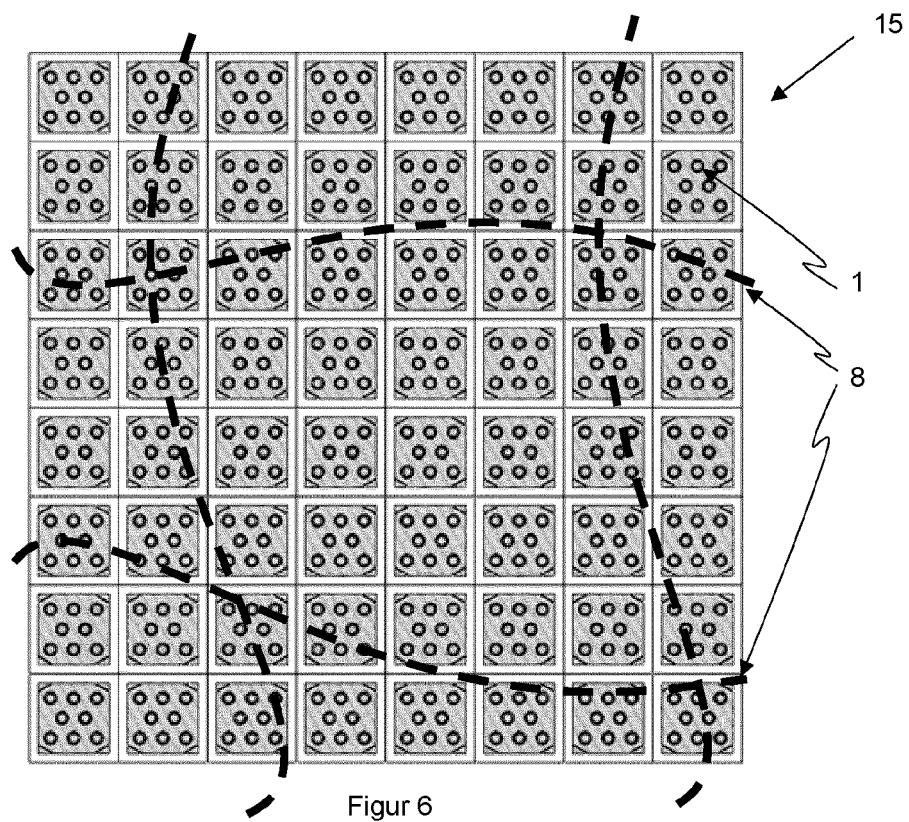
Figur 3



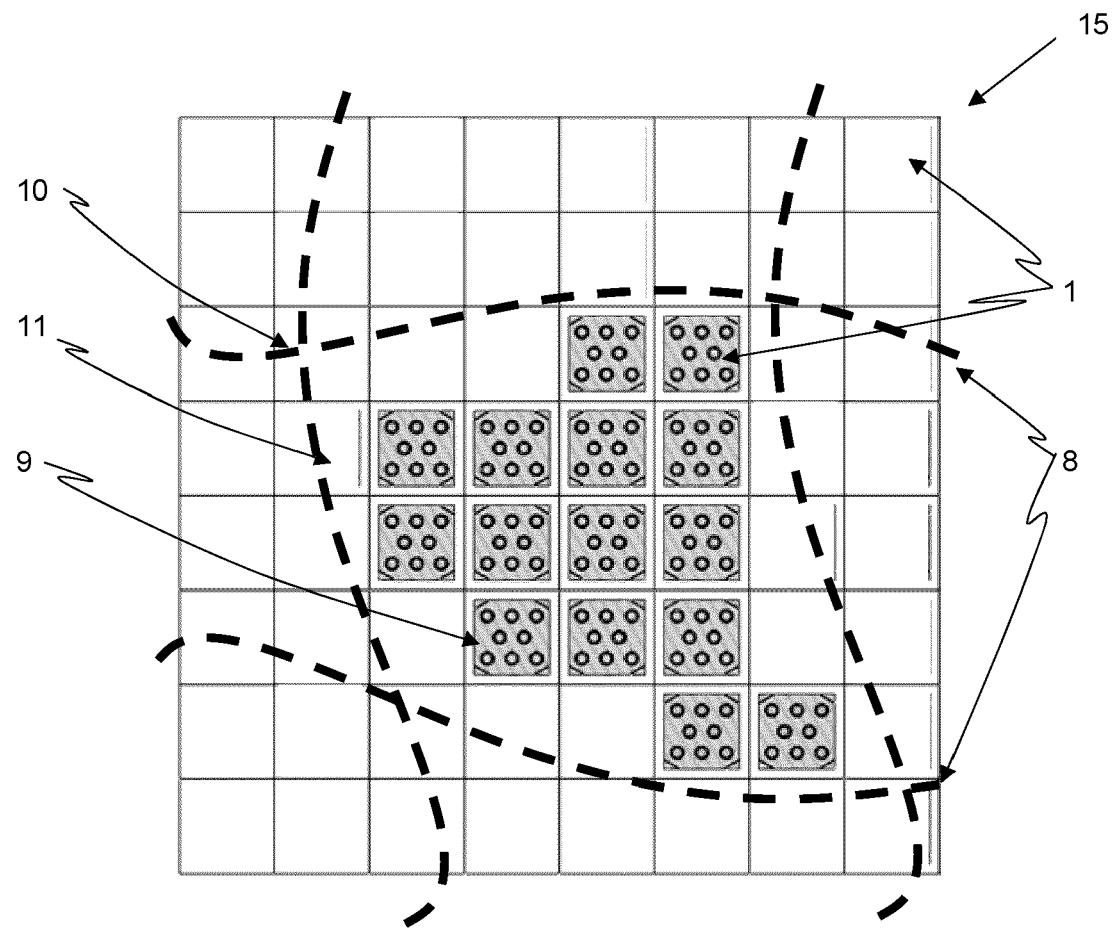
Figur 4



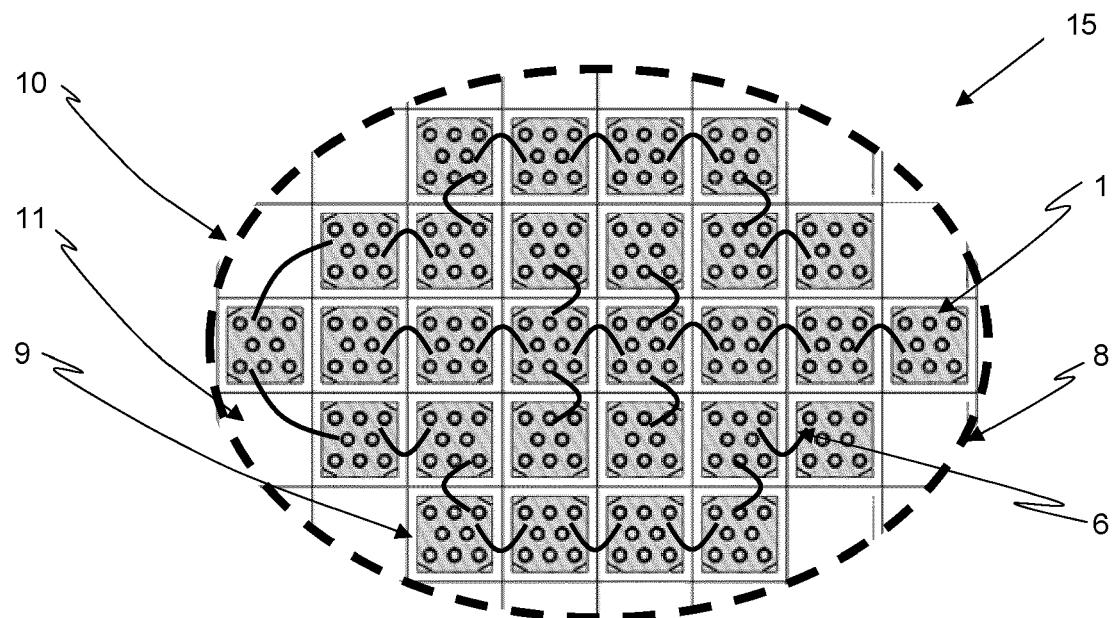
Figur 5



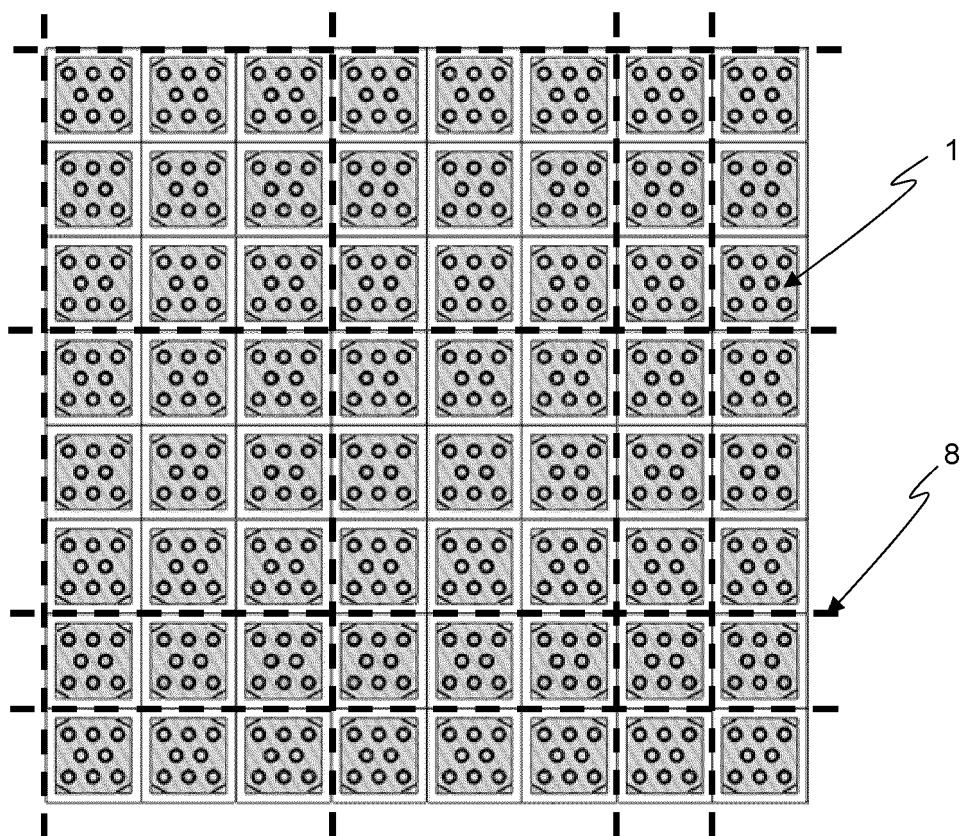
Figur 6



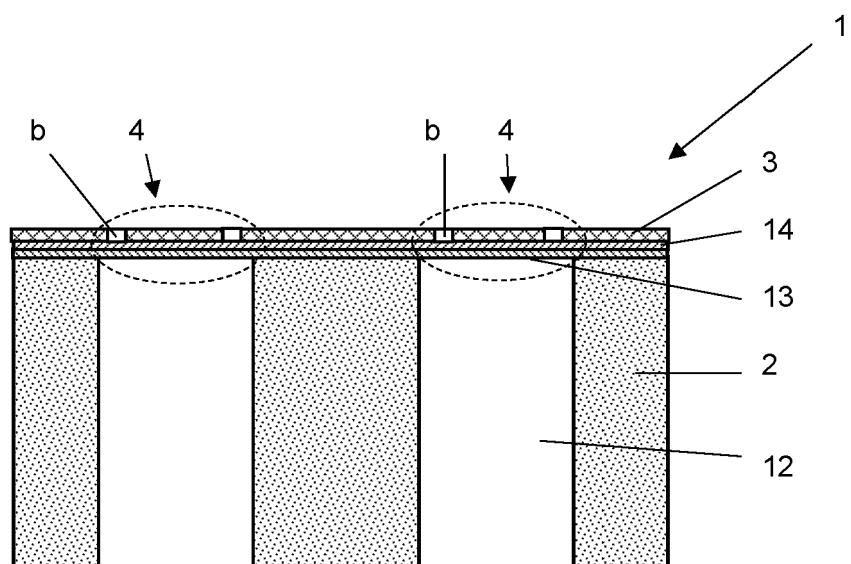
Figur 7



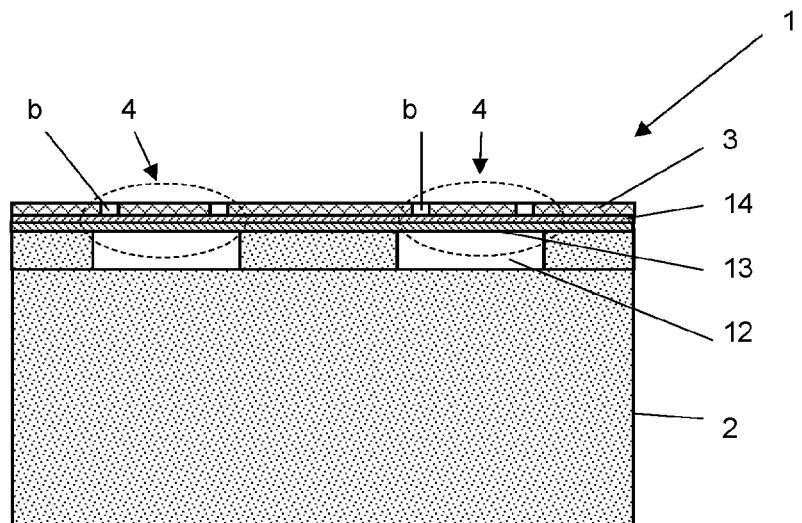
Figur 8



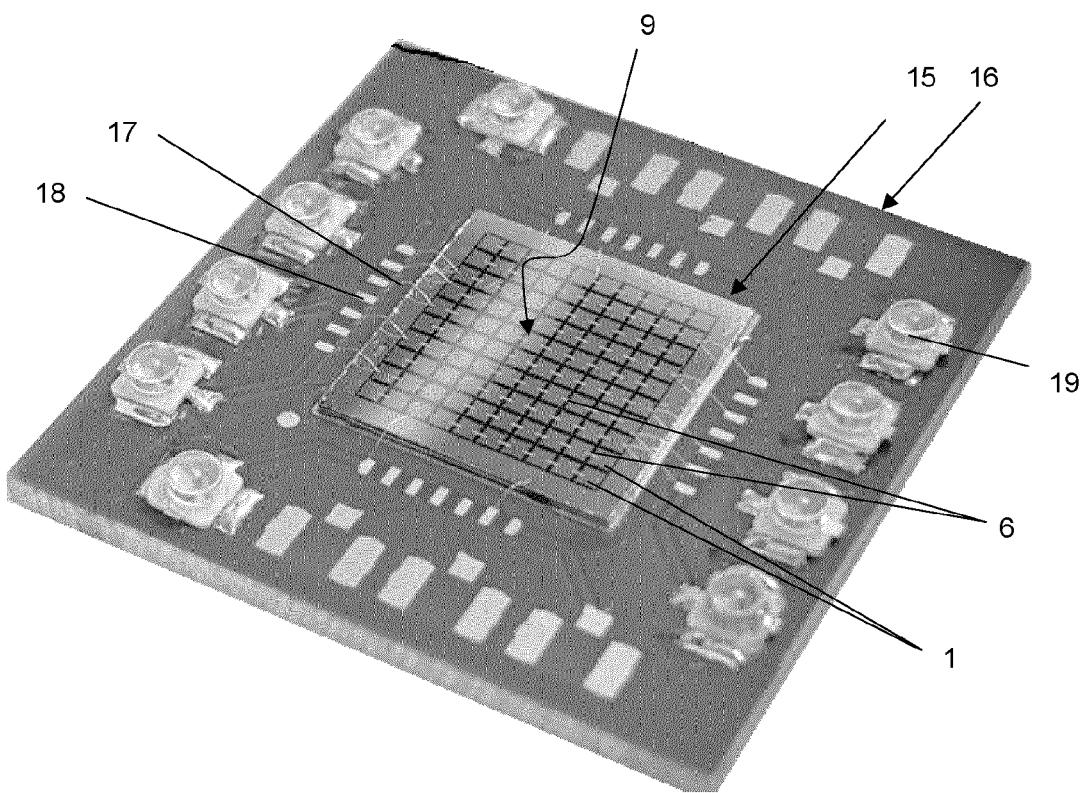
Figur 9



Figur 10



Figur 11



Figur 12



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 24 40 1015

5

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE				
	Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betreift Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
10	A	DE 10 2020 204773 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 21. Oktober 2021 (2021-10-21) * Ansprüche 1-3 * * Absatz [0016] - Absatz [0018] * * Abbildungen 2,3,6 *	1-15	INV. B06B1/02 B81C1/00 H01L21/00 B81B7/04
15	A	US 2017/165715 A1 (SUDOL WOJTEK [NL] ET AL) 15. Juni 2017 (2017-06-15) * das ganze Dokument *	1-15	
20	A	US 7 531 371 B2 (RATHER JOHN D G [US] ET AL) 12. Mai 2009 (2009-05-12) * das ganze Dokument *	1-15	
25	A	EP 3 684 081 B1 (USOUND GMBH [AT]) 27. April 2022 (2022-04-27) * das ganze Dokument *	1-15	
30				RECHERCHIERTE SACHGEBiete (IPC)
35				B06B B82B B81C H01L H04S B81B H04R
40				
45				
50	1	Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt		
55	EPO FORM 1503 03/82 (P04C03)	Recherchenort Den Haag	Abschlußdatum der Recherche 23. September 2024	Prüfer Tympel, Jens
		KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		
		X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
		Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie		E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldeatum veröffentlicht worden ist
		A : technologischer Hintergrund		D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
		O : nichtschriftliche Offenbarung		L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument
		P : Zwischenliteratur		& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 24 40 1015

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendifikamente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

23-09-2024

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patendifikument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	DE 102020204773 A1	21-10-2021	CN	113532485 A	22-10-2021
			DE	102020204773 A1	21-10-2021
			US	2021325422 A1	21-10-2021
15	-----				
	US 2017165715 A1	15-06-2017	EP	3169449 A1	24-05-2017
			JP	6357275 B2	11-07-2018
			JP	2017528032 A	21-09-2017
			US	2017165715 A1	15-06-2017
20			WO	2016008833 A1	21-01-2016

	US 7531371 B2	12-05-2009	US	2007194442 A1	23-08-2007
			US	2009283777 A1	19-11-2009
25	-----				
	EP 3684081 B1	27-04-2022	AU	2020200291 A1	06-08-2020
			CA	3068717 A1	17-07-2020
			CN	111439719 A	24-07-2020
			DE	102019101325 A1	23-07-2020
			EP	3684081 A1	22-07-2020
30			KR	20200090124 A	28-07-2020
			SG	10202000335V A	28-08-2020
			TW	202104067 A	01-02-2021
			US	2020236467 A1	23-07-2020
35	-----				
40					
45					
50					
55					

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 7531371 B2 [0004]
- EP 3684081 B1 [0005]
- DE 102020204773 A1 [0006] [0007]
- US 20170165715 A1 [0008]