(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
19. Mai 2023 (19.05.2023)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2023/083957 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B81C 1/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2022/081460

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. November 2022 (10.11.2022)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2021 129 411.8
11. November 2021 (11.11.2021) DE

(71) Anmelder: **SCHOTT AG** [DE/DE]; Hattenbergstr. 10, 55122 Mainz (DE).

(72) Erfinder: **THOMAS, Jens Ulrich**; Willi-Wolf-Str. 7, 55128 Mainz (DE). **MÄÄTTÄNEN, Antti**; Tillikatu 3a, 33710 Tampere (FI). **HOPPE, Bernd**; Talstraße 3g, 55218 Ingelheim (DE). **HETTLER, Robert**; Windten 5, 84036 Kumhausen (DE). **OTT, Christian**; Nelkenweg 1, 84539 Ampfing (DE).

(74) Anwalt: **SCHOTT CORPORATE IP**; Hattenbergstr. 10, 55122 Mainz (DE).

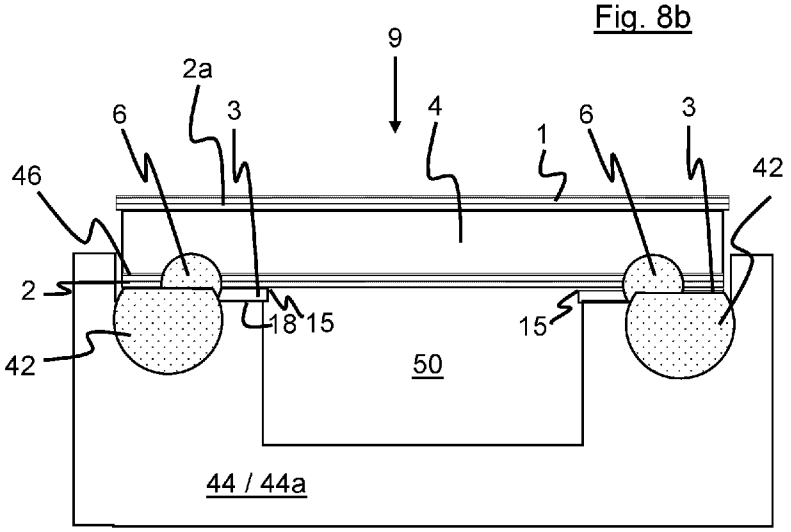
(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV,

WO 2023/083957 A1

(54) **Title:** HERMETICALLY CONNECTED ASSEMBLY

(54) **Bezeichnung:** HERMETISCH VERBUNDENE ANORDNUNG

Fig. 8b



(57) **Abstract:** The invention relates to a hermetically connected assembly comprising a first substrate which is designed to be transparent at least in some regions and/or at least partly transparent for at least one wavelength range, a metal foil, said metal foil being arranged such that a contact surface of the metal foil adjoins a contact surface of the first substrate, and at least one laser joint line or a plurality of binding points for directly and indirectly joining the metal foil with the first substrate at or in the contact surfaces. The laser joint line or the plurality of binding points reach into the first substrate and into the metal foil, and the two joint partners are directly melted together so as to be joined. In the process, the metal foil is configured to be flexible in order to compensate for an unevenness of the contact surface of the first substrate.

(57) **Zusammenfassung:** Es wird eine hermetisch verbundene Anordnung gezeigt umfassend ein erstes Substrat, welches zumindest bereichsweise und/oder zumindest teilweise für zumindest einen Wellenlängenbereich transparent ausgebildet ist, eine Metallfolie, wobei die Metallfolie mit einer Kontaktfläche 5 benachbart zu einer Kontaktfläche des ersten Substrats angeordnet ist und zumindest eine Laserfügelinie oder eine Mehrzahl von Heftungspunkten zum direkten und unmittelbaren Fügen der Metallfolie mit dem ersten

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

— *in Schwarz-Weiss; die internationale Anmeldung enthielt in ihrer eingereichten Fassung Farbe oder Graustufen und kann von PATENTSCOPE heruntergeladen werden.*

Substrat, an oder in den Kontaktflächen. Die Laserfügelinie bzw. die Mehrzahl von Heftungspunkten reicht einerseits in das erste Substrat und andererseits in die Metallfolie hinein und die beiden Fügepartner werden direkt schmelzend miteinander gefügt. 0 Dabei ist die Metallfolie flexibel hergerichtet, um Unebenheiten der Kontaktfläche des ersten Substrats auszugleichen.

Hermetisch verbundene Anordnung

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine hermetisch verbundene Anordnung, eine Umhäusung, ein Verfahren zur Herstellung eines hermetisch verschlossenen Verbunds sowie die mit dem Verfahren hergestellte hermetisch verbundene Anordnung.

Hintergrund und allgemeine Beschreibung der Erfindung

Grundsätzlich ist es bekannt, mehrere Teile zu einem hermetisch verschlossenen Verbund oder einer Umhäusung zusammenzufügen mittels unterschiedlicher Laserverfahren. Beispielsweise sind hermetisch verbundene Glas-Glasübergänge aus der Europäischen Patentschrift EP 3 012 059 B1 der Anmelderin bekannt. Dort wird ein Verfahren zur Herstellung eines transparenten Teils zum Schützen eines optischen Bauteils gezeigt. Es wird dabei ein neuartiges Laserverfahren vorgestellt.

Verbindungen, bei welchen unterschiedliche Materialien miteinander verbunden werden, stehen unter fortlaufender Entwicklung. Unter diesen ist besonders der Metall-Glas-Übergang interessant, da gerade die Kombination von Metall und Glas eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten hat. So sind Verbesserungen und neue Anwendungen im Bereich der Biophysik bzw. technischen Medizin, insbesondere im Hinblick auf Bioprozessoren wie auch Anwendungen in der Raumfahrt konkret realisierbar.

Wenn eine hermetisch verschlossene Umhäusung aufgebaut wird, kann dort ein Bauteil oder Bauteile im Inneren der Umhäusung vor widrigen Umweltbedingungen geschützt werden. So können in einer hermetisch verschlossenen Umhäusung sensible Elektronik, Schaltkreise oder beispielsweise Sensoren angeordnet werden, um beispielsweise medizinische Implantate, beispielsweise im Bereich des Herzens, in der Retina oder allgemein für Bioprozessoren aufzubauen und einzusetzen. Anwendungsbereiche können auch für MEMS (mikroelektromechanische Systeme), in der Sensorik, wie für ein Barometer, einen Blutgassensor oder einen Glukosesensor usw., wie auch für Elektronikanwendungen, zur Bereitstellung einer Antenne, zur Aufbringung von Leiterbändern an Glaskomponenten etc liegen. Die vorliegende

Erfindung vermag darüber hinaus eine „CTE-Brücke“ bereitzustellen, indem an ein Substrat ein Material mit einem davon deutlich verschiedenen CTE (Coefficient of Thermal Expansion) angebracht und fest verankert wird. Insbesondere im Bereich der Uhrenherstellung oder generell im Bereich von Wearables und Geräten, die beispielsweise wassergeschützt oder druckgeschützt aufgebaut werden sollen, können ebenfalls potentielle Anwendungen zu finden sein. Insbesondere kann eine Abdeckung für eine Smartwatch, oder dgl., mit der vorliegenden Erfindung verbessert werden. Auch in der Luftfahrt, in Hochtemperaturanwendungen, im Rahmen der Elektromobilität, beispielsweise zur Herstellung von Brennstoffzellen, in der Analytik, beispielsweise in Form optischer Zugänge und Flusszellen, wie auch im Bereich der Mikrooptik sind vielfältige Einsatzgebiete für die vorliegende Erfindung zu finden.

Im Unterschied zu einer Verbindung von zwei gleichartigen Komponenten miteinander stellt sich beim Einsatz von unterschiedlichen Materialien das Problem, dass die beiden Fügepartner oft schlecht aneinanderhaften bzw. überhaupt zu einem Verbund gebracht werden können. Die vorliegende Erfindung baut dabei auf den Voruntersuchungen auf, die im Hause der Anmelderin durchgeführt wurden. Es wird in diesem Rahmen Bezug genommen auf die unveröffentlichte Deutsche Patentanmeldungsschrift DE 10 2020 129 380.1, welche hiermit durch Referenz in ihrer Gesamtheit inkorporiert wird.

Die vorliegende Erfindung hat sich die Aufgabe gestellt, eine hermetisch verbundene Anordnung zwischen zwei Komponenten aus unterschiedlichem Material bereitzustellen, nämlich die Verbindung eines ersten Substrats, welches beispielsweise ein Glasmaterial oder glasartiges Material umfasst, mit Metall. Es hat sich ferner die Aufgabe gestellt, auch Umhäusungen bereitzustellen, wobei zwei Teile unterschiedlichen Materials miteinander verbunden werden sollen.

Insbesondere ergibt sich ein Teilaspekt der vorliegenden Aufgabe darin, dass die hermetisch verbundene Anordnung oder die Umhäusung ausreichend widerstandsfähig hergestellt werden kann, um besonders dafür zu sorgen, dass sich die beiden Teile nicht voneinander lösen bzw. unter geringer Krafteinwirkung bereits voneinander gelöst werden. Ein Ziel der vorliegenden Erfindung ist somit, zuverlässigere und langlebigere hermetisch verbundene Anordnungen bzw. Umhäusungen bereitzustellen.

Eine hermetisch verbundene Anordnung gemäß der Erfindung umfasst ein erstes Substrat, welches zumindest bereichsweise und/oder zumindest teilweise für zumindest einen Wellenlängenbereich transparent ausgebildet ist. Das erste Substrat ist mit einer Kontaktfläche

benachbart zu einer Kontaktfläche einer Metallfolie angeordnet. Mit anderen Worten ist eine Metallfolie an dem ersten Substrat angeordnet, beispielsweise haftet die Metallfolie an dem ersten Substrat oder sie ist dort angedrückt oder provisorisch angeklebt.

Substrat und Metallfolie werden typischerweise zu deren Verbindung zunächst aneinander angeordnet, also zum Beispiel aufeinandergestapelt. Die Schwerkraft kann dann das obenliegende Substrat an die untenliegende Metallfolie andrücken. Die Orientierung oberhalb bzw. unterhalb ist dabei lediglich beschreibend, da die Anordnung selbstverständlich jede Orientierung im Raum annehmen kann und auch eine Nebeneinanderanordnung nicht den Schutzbereich verlässt. Die Metallfolie ist typischerweise mit einer größeren Seite ihrer Ausdehnung an dem Substrat anliegend angeordnet. Beispielsweise sind Substrat und/oder Metallfolie scheibenförmig bzw. flach ausgebildet und weisen daher jeweils zumindest eine größere Flachseite auf. Allerdings ist das Aufbringen einer Kraft zum „Aneinanderpressen“ von Substrat und Metallfolie typischerweise nicht möglich bzw. erwünscht, da hierdurch im Fügeprozess verschiedene Spannungen (z.B. Scherspannungen) permanent in das Substrat „eingebrannt“ werden können. Der hermetische Verbund bzw. Umhäusung weist dann möglicherweise eine geringere Festigkeit bzw. eine höhere Bruchtendenz auf, wenn der Fügeprozess unter Spannung durchgeführt wird. Daher ist es ggf. nicht möglich, das Substrat ausreichend dicht an ein Metallbauteil anzuordnen, dass der Laserfügeprozess zu einem qualitativ guten und reproduzierbaren Ergebnis führt. Um das Fügeergebnis weiter zu verbessern, ist daher die Metallfolie umfasst. Unter dem erfindungsgemäßen Einsatz der Metallfolie kann somit die Endfestigkeit der Umhäusung bzw. des Substrats erhöht werden und Metallfolie und Substrat können spannungsfrei aneinander gefügt werden. Die Spannungsfreiheit differenziert diese Methode insbesondere von „heißen“ Beschichtungsprozessen, wie dem Aufsputtern einer Metallbeschichtung. Bei Anwendung solcher Prozesse können nach dem Abkühlen Spannungen in den beschichteten Substraten verbleiben. Der Einsatz einer Metallfolie kann überdies kostengünstig in der Herstellung sein, insbesondere kostengünstiger als das Aufsputtern einer Metallbeschichtung auf das Substrat, die Metallfolie kann dicker und robuster bereitgestellt werden als eine solche Beschichtung, und überdies kann die Metallfolie Unebenheiten in der Oberfläche des Substrats auf einfache Weise ausgleichen bzw. überbrücken. Ein Zwischenschritt zum Besputtern des Substrats kann dadurch vollständig eingespart werden, was Prozesslaufzeiten weiter verkürzt und Kosten senkt.

Die hermetisch verbundene Anordnung umfasst ferner zumindest eine Laserfügelinie oder eine Mehrzahl von Heftungspunkten zum direkten und unmittelbaren Fügen der Metallfolie mit dem ersten Substrat, an oder in den Kontaktflächen. Die Laserfügelinie bzw. die Mehrzahl von Heftungspunkten reicht einerseits in das erste Substrat und andererseits in die Metallfolie hinein und fügt das erste Substrat direkt schmelzend mit der Metallfolie. Mit anderen Worten sind erstes Substrat und Metallfolie in der Laserfügelinie miteinander gefügt.

Kontaktfläche im Sinne dieser Anmeldung ist ein Bereich oder ein Teil einer Oberfläche, oder auch eine ganze Seite des jeweiligen Substrats bzw. Metallfolie, mit welcher das jeweilige Substrat benachbart zu einem anderen Substrat oder der Metallfolie zu liegen kommt bzw. angeordnet ist. Typischerweise ist das Substrat neben oder auf der Metallfolie angeordnet. Wenn sich Substrat und Metallfolie direkt und unmittelbar berühren, so wird eine Berührkontaktfläche gebildet. Die Berührkontaktfläche ist also beispielsweise eine Teilfläche der Kontaktfläche, bei der der Abstand der beiden Substrate zueinander so gering ist, dass er optisch nicht mehr messbar ist.

An den Kontaktflächen ist das erste Substrat so planar wie möglich ausgebildet. Dabei ist allerdings eine absolut plane Oberfläche nur theoretisch erreichbar, da in Abhängigkeit des Betrachtungsmaßstabs auch bei polierten Oberflächen noch Vertiefungen, Erhöhungen oder Krümmungen oder eine Mehrzahl der vorgenannten Variationen aufgefunden werden kann. Ein vollflächiger Berührkontakt ist daher schwierig zu realisieren, vor allem dann, wenn ein Substrat wie ein Glas o.dgl. an einem Metallbauteil angeordnet werden soll. Vielmehr sind Substrate, wenn auch nur in sehr kleinem Maße, gewölbt, geneigt, gekrümmt, mit Vertiefungen oder Erhöhungen versehen. Beispielsweise kann eine Berührkontaktfläche definiert werden, wenn das erste Substrat zur Metallfolie einen mittleren Abstand von kleiner oder gleich 1 µm aufweist, bevorzugt kleiner oder gleich 0,5 µm und weiter bevorzugt kleiner oder gleich 0,2 µm.

Eine noch weitere Reduzierung der Variationen der Oberfläche des Substrats kann ggf. sehr aufwändig sein. Bei manchen Substraten kann eine genügend weite Reduzierung der Variation ggf. gar nicht möglich oder gewünscht sein. So kann das Polieren der Oberfläche wiederum optische Eigenschaften des ersten Substrats verändern, oder ggf. Oberflächenspannungen des ersten Substrats verändern. Auch kann sich ein Substrat bei weiterer Reduzierung beginnen zu wölben oder anderweitig verformen, wodurch sich die resultierende Beabstandung zum gewünschten Fügepartner – d.h. der sich einstellende Luftspalt – weiter vergrößern. Auch kann unter Umständen eine polierte Oberfläche insbesondere eines

Metallobjekts für ein Laserfügeverfahren nachteilig sein, da an einer polierten Oberfläche eine erhöhte Menge an Reflexion oder Streuung auftritt und deswegen die genaue Positionierung und Leistungsdeposition für den Fügevorgang erschwert ist bzw. der Fügevorgang möglicherweise so nicht durchgeführt werden kann.

Im Rahmen der Erfindung wurde dabei überraschend herausgefunden, dass eine Metallfolie eingesetzt werden kann, um eine besonders gute Haftung zwischen der Metallfolie bzw. einem Metallobjekt und dem ersten Substrat herbeizuführen. Die Metallfolie ist dabei so beschaffen, dass diese flexibel ist und sich an die Kontaktfläche des ersten Substrats anschmiegen kann. Insbesondere kann die Metallfolie eigene Unebenheiten, das heißt Unebenheiten der Oberfläche der Metallfolie, dabei ausgleichen. Indem diese Unebenheiten (meist Krümmungen) ausgeglichen werden, kann der Abstand zwischen Metallfolie und erstem Substrat verringert werden. Beispielsweise kann eine Aluminiumfolie eingesetzt sein, welche an eine Seite des ersten Substrats angedrückt wird. Die Aluminiumfolie verharrt hierbei in einer Form, die sie durch das Andrücken bzw. Anschmiegen an das erste Substrat erhält. Mit anderen Worten wird die Metallfolie verformt, beispielsweise gebogen, geknickt oder gekrümmt, und legt sich an die Kontaktfläche an, wodurch sie eine zur Kontaktfläche komplementäre Form einnimmt. Die Metallfolie wird somit zu einer komplementären Metallfolie, da sie die Kontaktfläche des ersten Substrats so ergänzt, dass die Berührkontaktfläche zwischen Metallfolie und erstem Substrat erhöht wird und/oder Luftspalte verringert werden.

Insbesondere ist die Verformung der Metallfolie zum Anschmiegen an die Kontaktfläche nicht-elastisch, so dass die Metallfolie die veränderte Form auch ohne signifikante Kraftbeaufschlagung beibehält. Dies kann beispielsweise bei einem Glassubstrat oder glasartigem Substrat Bedeutung erlangen, da unter Umständen Spannungsfelder in das Substrat eingebracht würden, wenn der Fügevorgang unter äußerer Kraftbeaufschlagung stattfindet. Der Fügevorgang kann bei Einsatz der Metallfolie also besonders bevorzugt ohne äußere Kraftbeaufschlagung stattfinden, da die Metallfolie in der geänderten Form verharrt und nicht von selbst wieder in die ursprüngliche Form fällt. Die geänderte Form ist demnach eigenstabil bzw. irreversibel und die Verformung insbesondere nicht-elastisch. Beispielsweise reicht das Eigengewicht des ersten Substrats aus, wenn dieses auf die Metallfolie aufgelegt wird, so dass sich die Metallfolie an das erste Substrat anschmiegt und eine verbesserte Kontaktfläche bereitgestellt werden kann, ohne dass signifikante Substratspannungen im ersten Substrat

auftreten, welche ansonsten möglicherweise in das Substrat durch den Fügevorgang „eingebrannt“ werden könnten.

Die Metallfolie ist bevorzugt entlang eines äußeren Randbereichs des ersten Substrats angeordnet. Mit anderen Worten erstreckt sich die Metallfolie entlang des Randbereiches, beispielsweise in Form eines innen offenen Quadrats bzw. Rechtecks. Beispielsweise deckt die Metallfolie die Kontaktfläche des ersten Substrats teilweise oder bereichsweise ab, also insbesondere nicht vollständig. Mittels der Metallfolie können auch ein oder mehrere Kontaktpunkte auf der Kontaktfläche des ersten Substrats gebildet sein. Zweck der Metallfolie kann die Herstellung eines verbesserten Verbunds des ersten Substrats zu einem Metallbauteil sein, wobei die Metallfolie zunächst mittels des hier vorgestellten Laserfügeverfahrens mit dem ersten Substrat verschweißt wird und dann das Metallbauteil mit herkömmlichen Fügeverfahren mit dem ersten Substrat mittels der damit verbundenen Metallfolie verbunden werden kann.

Zusätzlich oder alternativ kann die Metallfolie einen senkrechten Abschnitt aufweisen. Über den senkrechten Abschnitt kann dabei eine schmelzflüssige Verbindung in der Laserfügelinie nicht nur in der horizontalen Ebene, sondern auch abschnittsweise in einem vertikalen Bereich eingebracht werden. Ferner kann das zu fügende Bauteil, insbesondere ein Metallbauteil, eine Einfassung bzw. Umfassung der hermetischen Anordnung bereitstellen, indem zusätzlich oder alternativ eine seitliche Fügung mittels eines herkömmlichen Fügeverfahrens in den seitlichen Randbereich hinein verlegt ist.

Die Metallfolie kann des weiteren vertikale Strukturen aufweisen, die beispielsweise durch Stanzen mit einem Profil, oder durch Prägen eingebracht werden können. Diese vertikalen Strukturen können beim Ausrichten des mit dem Substrat zu fügenden Bauteils als Ausrichthilfe bzw. Zentrierhilfe dienen.

Anstelle eines Metallbauteils kann beispielsweise auch ein Kunststoff-Bauteil oder ein Kristallbauteil mit dem ersten Substrat über die Metallfolie gefügt werden. Beispiele für Kristallbauteile sind insbesondere Silizium- oder Germanium-Wafer, Saphir, Yttriumoxid (Y_2O_3), Zirkonoxid (ZrO_2), Aluminiumoxid (Al_2O_3), Yttrium-dotiertes Zirkoniumdioxid, Yttrium dotiertes Aluminiumoxid, Lanthan dotiertes Yttriumoxid, Aluminium dotiertes Aluminiumnitrid und Magnesium dotiertes Aluminiumoxid.

Die Metallfolie kann im Fügebereich, das ist also der Bereich, der die Laserfügelinie oder die Mehrzahl von Laserfügelinien umfasst, nach Einbringung der Laserfügelinie(n) durch den Fügeprozess aufgrund der Haftung an dem ersten Substrat keine Flexibilität (mehr) aufweisen.

Da die Folie im Fügebereich nicht-lösbar mit dem ersten Substrat verbunden ist, kann die Metallfolie in diesem Bereich nurmehr dann flexibel bleiben, wenn auch das erste Substrat flexibel ist. Die Metallfolie kann allerdings außerhalb des Fügebereichs, der die Laserfügelinie(n) umfasst, auch nach Einbringung der Laserfügelinie(n) flexibel bleiben.

In der Laserfügelinie bzw. in der Mehrzahl von Heftungspunkten ist eine Durchmischungszone, in welcher Material des ersten Substrats und Material der Metallfolie eingemischt ist. In der Durchmischungszone kann Metallmaterial der Metallfolie in das erste Substrat eingetreten sein. In der Durchmischungszone kann auch Material des ersten Substrats in die Metallfolie eingetreten sein. Besonders bevorzugt ist in der Durchmischungszone sowohl Metallmaterial des ersten Substrats in die Metallfolie als auch Material der Metallfolie in das erste Substrat eingetreten. Die Durchmischungszone kann eine Dicke gemessen in einer Richtung senkrecht auf die Kontaktflächen aufweisen, wobei die Dicke der Durchmischungszone eine Dicke von bevorzugt mindestens 1 µm aufweisen kann, weiter bevorzugt 2 µm oder mehr, weiter bevorzugt 5 µm oder mehr.

Die Metallfolie ist ausreichend flexibel ausgebildet, so dass sie sich an die Kontaktfläche anschmiegen kann. Dies ist unter anderem materialabhängig. Um noch ausreichend flexibel zu sein kann die Metallfolie eine Dicke von 500 µm oder geringer aufweisen, bevorzugt 250 µm oder geringer, weiter bevorzugt 100 µm oder geringer, weiter bevorzugt 50 µm oder geringer. Andererseits ist es vorteilhaft, wenn die Metallfolie eine Mindestdicke aufweist, bei welcher die Metallfolie noch zuverlässig mit dem ersten Substrat verschweißt werden kann. Die Mindestdicke der Metallfolie kann 10 µm oder mehr betragen, bevorzugt 20 µm oder mehr, weiter bevorzugt 40 µm oder mehr.

Die zu der Kontaktfläche gegenüberliegend angeordnete Unterseite der Metallfolie kann so ausgebildet sein, dass sie für den nachfolgenden, konventionellen Schweissprozess vorteilhafte Oberflächen-Eigenschaften bereitzustellen vermag. Für manche Verfahren ist die Unterseite als eine Oberfläche mit sehr geringer Rauheit ausgebildet. Andere Verfahren jedoch können durch eine höhere Rauheit im µm-Bereich begünstigt werden, bzw. eine Rillen- und Furchenstruktur voraussetzen.

An der der Kontaktfläche gegenüberliegenden Unterseite kann die Metallfolie eine Schweißrippe aufweisen. Diese Schweißrippe kann sich beim Fügevorgang herausbilden. Beispielsweise kann sich eine unterseitige Nase oder Schweißrippe ausbilden, wenn die Metallfolie beim Laserschweißen punktuell stark erhitzt und Material der Metallfolie aus der

Fügezone ausweicht. Die Schweißrippe kann vorteilhaft sein, da sich hierdurch das spätere herkömmliche Verschweißen mit dem Metallbauteil vereinfachen kann, wenn hierbei eine unterseitige Schweißrippe vorhanden ist. Ein solches Metallbauteil kann an die mit dem ersten Substrat verschweißte Metallfolie nun nicht-lösbar verbunden werden, das heißt beispielsweise gefügt.

Das Metallbauteil wird bevorzugt mit der Metallfolie mittels herkömmlichem Fügeverfahren, das heißt unter Anwendung von Wärme und/oder Druck, mit oder ohne Schweißzusatzwerkstoffen, stoffschlüssig verbunden, insbesondere mittels Metallschmelzschweißens wie Lichtbogenschweißen. Der Einsatz eines solchen Schweißverfahrens für die Verbindung eines Metallbauteils – beispielsweise eines Uhrengehäuses für eine Smartwatch – mit der Anordnung – beispielsweise einem Uhrenglas bzw. Uhrenabdeckung – ist in dieser Weise erst durch den erfindungsgemäßen Einsatz der Metallfolie ermöglicht, da hier Metall mit Metall gefügt werden kann.

Es kann also beispielsweise die hermetische Anordnung, an die die Metallfolie bereits angefügt ist, zur weiteren Verarbeitung ausgeliefert werden, so dass der Uhrenhersteller ggf. gar keine zusätzliche Installationen vorhalten muss, um das Laserfügeverfahren durchzuführen, sondern wenn die hermetische Anordnung fertig ausgeliefert wird, kann der Uhrenhersteller (bzw. der Hersteller der finalen Umhäusung, beispielsweise der Uhr) mittels herkömmlichen Fügeverfahrens einen hermetischen und dauerhaften Verbund herstellen, was ggf. eine deutliche Vereinfachung des Herstellungsprozesses auf Seiten des Herstellers der finalen Umhäusung – beispielsweise dem Uhrenhersteller – bedeutet.

Die Durchmischungszone reicht bevorzugt mehr oder gleich 1 µm in das erste Substrat hinein. Bevorzugt reicht die Durchmischungszone 5 µm in das erste Substrat hinein. Weiter bevorzugt reicht die Durchmischungszone soweit in das erste Substrat hinein wie die wiedererstarrte Zone, so dass die Durchmischungszone die wiedererstarrte Zone überlagert. Beispielsweise reicht die Durchmischungszone in etwa so weit in das erste Substrat hinein wie in die Metallfolie. Dies ist auf den ersten Blick überraschend, da beispielsweise im Falle eines Metall-Glas-Verbunds der CTE der Metallfolie um 3 bis 10 mal höher ist als der CTE eines Glases (erstes Substrat). Auch die Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit des Metalls ist typischerweise erheblich höher als diejenige des ersten Substrats. Es hat sich allerdings gezeigt, dass es möglich ist, die Durchmischungszone so vorteilhaft in der Laserfügelinie bzw. den

Heftungspunkten einzustellen, dass diese in etwa so weit in die Metallfolie hineinreicht wie in das erste Substrat und somit die gefügte Verbindung zu verbessern.

Die Durchmischungszone weist eine Breite auf, wobei die Breite der Durchmischungszone bevorzugt größer ist als die Höhe der Durchmischungszone im ersten Substrat. Die Breite der Durchmischungszone kann auch um 50 % oder mehr größer sein als die Höhe der Durchmischungszone, weiter bevorzugt 100 % oder mehr größer sein als die Höhe der Durchmischungszone.

Die Breite kann dabei beispielsweise an der Kontaktfläche zwischen dem ersten und dem ersten Substrat und in einer Richtung parallel zu der Kontaktfläche und senkrecht zur Laserfügelinie gemessen sein.

Die zumindest eine Laserfügelinie bzw. die Mehrzahl von Heftungspunkten kann ferner eine wiedererstarrte Zone umfassen, wobei die wiedererstarrte Zone eine Höhe gemessen in der Richtung senkrecht auf die Kontaktflächen aufweist. Die Höhe der wiedererstarrten Zone kann bevorzugt kleiner oder gleich 20 µm betragen, bevorzugt kleiner oder gleich 10 µm und weiter bevorzugt kleiner oder gleich 5 µm.

Die wiedererstarrte Zone kann auch weniger oder gleich 20 µm in eine Tiefe des ersten Substrats hineinreichen, bevorzugt weniger oder gleich 10 µm und noch weiter bevorzugt weniger oder gleich 5 µm.

Die wiedererstarrte Zone der zumindest einen Laserfügelinie bzw. der Mehrzahl von Heftungspunkten kann sich entlang der Laserfügelinie erstrecken bzw. in den jeweiligen Heftungspunkten angeordnet sein. Die wiedererstarrte Zone kann an der Kontaktfläche zwischen dem ersten Substrat und der Metallfolie und in einer Richtung parallel zu der Kontaktfläche eine Breite von 10 µm aufweisen, beispielsweise +/- 5 µm. Bevorzugt kann diese Breite 20 µm +/- 10 µm betragen, weiter bevorzugt 30 µm +/- 10 µm.

Die wiedererstarrte Zone kann in einer Richtung parallel zu der Kontaktfläche und senkrecht zur Laserfügelinie auch eine Breite aufweisen, die größer ist als die Höhe der wiedererstarrten Zone.

Die wiedererstarrte Zone ist besonders vorteilhaft möglichst klein, das heißt die Parameter der Bestrahlung mit dem Fügelaser können so ausgesucht werden, dass die wiedererstarrte Zone möglichst klein wird. Die wiedererstarrte Zone hat keinen wesentlichen Nutzen für den Fügevorgang, da sich dort kein Material so vermischt, dass eine Verzahnung oder eine Haftung zwischen dem ersten Substrat und der Metallfolie entsteht. Die wiedererstarrte Zone

absorbiert also Laserenergie ohne das Ziel der Haftung zu verbessern. Zugleich entstehen in der wiedererstarrten Zone beim Erkalten derselben möglicherweise Risse und/oder Löcher bzw. Hohlräume, was ggf. dadurch erklärt werden kann, dass sich das gefügte Material beim Aufheizen ausdehnt, dadurch Spannungen erzeugt, und beim Erkalten wieder zusammenzieht.

Die Durchmischungszone kann also bevorzugt möglichst groß eingestellt sein, wohingegen die wiedererstarrte Zone möglichst klein einzustellen ist. Bevorzugt weist die Durchmischungszone eine Höhe von mindestens 1/5 der Höhe der wiedererstarrten Zone auf, weiter bevorzugt ½ der Höhe der wiedererstarrten Höhe, weiter bevorzugt ist die Durchmischungszone so hoch wie die wiedererstarrte Zone. Beispielsweise ist dabei bei einer Höhe der Durchmischungszone von 5 µm die Höhe der wiedererstarrten Zone über der Durchmischungszone 25 µm, wenn die Höhe der Durchmischungszone 1/5 der Höhe der wiedererstarrten Zone beträgt. Wenn die Höhe der Durchmischungszone 10 µm beträgt, und darüber die Höhe der wiedererstarrten Zone des ersten Substrats ebenfalls 10 µm, dann entspricht die Höhe der wiedererstarrten Zone der Höhe der Durchmischungszone. Die Durchmischungszone kann auch eine größere Dicke aufweisen als die wiedererstarrte Zone, beispielsweise 1,5 mal so dick oder mehr, beispielsweise 5 mal so dick wie die wiedererstarrte Zone.

Auch die Metallfolie kann unterseits der Durchmischungszone eine wiedererstarrte Zone aufweisen. Es kann dahingestellt sein, ob die Größe der wiedererstarrten Zone der Metallfolie nachteilig für den Fügevorgang wäre, so wie es im Falle des ersten Substrats ist. Im Gegenteil kann das Material des ersten Substrats bis in die wiedererstarrte Zone der Metallfolie eindringen und dort eine Dentritenbildung provoziert werden, also eine ankerhafte Verbindung des ersten Substrats an der Metallfolie über einen oder mehrere Dentrite erfolgen, wobei die Dentrite bis in die wiedererstarrte Zone der Metallfolie reichen können.

In der Durchmischungszone kann Material des ersten Substrats und Material der Metallfolie derart angeordnet sein, dass eine formschlüssige Verzahnung zwischen dem Material des ersten Substrats mit dem Material der Metallfolie hervorgerufen ist. Die hermetisch verbundene Anordnung kann eine miteinander verschmolzene Verzahnungsstruktur zwischen dem ersten Substrat und der Metallfolie umfassen. In der miteinander verschmolzenen Verzahnungsstruktur kann ein Ausstülpen, Einstülpen oder Hintergreifen von Material vorliegen, so dass hierdurch der Haftverbund der hermetisch verbundenen Anordnung gestärkt werden kann. Eine solche miteinander verschmolzene Verzahnungsstruktur stellt einen formschlüssigen

Verbund bereit, was insbesondere dann von Vorteil ist, wenn der stoffschlüssige Verbund zwischen unterschiedlichen Materialien gegebenenfalls nur eine geringe Haftkraft oder eine geringe Stoffschlüssigkeit bereitzustellen vermag. Die Verzahnungsstruktur fungiert dabei wie ein mikroskopischer Reißverschluss.

In der Durchmischungszone kann Metallmaterial der Metallfolie in Form von Droplets und/oder Dentriten vorliegen, wobei die Anordnung als Droplets und/oder Dentriten eine Verfestigung des Verbunds bewirkt.

Noch bemerkenswerter ist, dass auch in zumindest einer der Wiedererstarrungszonen Metallmaterial der Metallfolie und/oder Material des ersten Substrats eingedrungen sein kann, insbesondere in Form von Droplets, Abschmelzungen und/oder Dentriten, und eine Verfestigung des Verbunds bewirkt. Mit anderen Worten werden die Fügepartner, d.h. das Material des ersten Substrats und/oder das Material der Metallfolie, ausgewählt und/oder der Strahlerzeuger so eingestellt und/oder hergerichtet sein, den Fügeprozess derart einzustellen, dass Metallmaterial des ersten Substrats und/oder Material der Metallfolie in die jeweils der anderen Komponente zugeordnete Wiedererstarrungszone eindringt.

Beispielsweise kann Material des ersten Substrats durch oder nach Einbringung der Laserfügelinie einen amorphen Bereich oder Zone aufweisen. Ein solcher amorpher Bereich, also beispielsweise amorphes Metallmaterial, kann die Verzahnung weiter verbessern.

Die Kontaktfläche des ersten Substrats weist zumindest einen Berührkontaktbereich auf, in welchem das erste Substrat in flächigem Berührkontakt mit der Metallfolie steht. Die Berührkontaktfläche kann insbesondere einen mittleren Abstand von kleiner oder gleich 1 µm aufweisen, bevorzugt kleiner oder gleich 0,5 µm und weiter bevorzugt kleiner oder gleich 0,2 µm. Möglicherweise sind dabei aus technischen Gründen oder anderen Gründen beispielsweise geringste Gaseinschlüsse oder Unreinheiten, wie Staubpartikel oder Unebenheiten aus einem Poliervorgang, in der Kontaktebene nicht zu vermeiden. Dies kann sich auch aus eventuellen Unebenheiten auch bis in den Mikrobereich in der Kontaktebene oder an den Oberflächen der Komponenten ergeben. Die Berührkontaktfläche kann der Kontaktfläche entsprechen, wenn ein vollflächiger Kontakt hergestellt werden kann.

Die Laserfügelinie kann das erste Substrat mit der Metallfolie so miteinander verbinden, dass diese nur unter Überwindung der Haltekraft voneinander getrennt werden können. Die Fügung kann auch so stark erreicht werden, dass ein Trennen nur unter Zerstörung des ersten Substrats erreicht werden kann, wenn die Scherfestigkeit größer ist als die Materialfestigkeiten,

z.B. die Kantenfestigkeit, des ersten Substrats. Beispielsweise kann die Scherfestigkeit unter Anwendung der Norm ISO 13445:2003 ermittelt werden. Die Scherfestigkeit des Verbunds zwischen der Metallfolie und dem ersten Substrat kann beispielsweise größer sein als 10 N/mm^2, bevorzugt größer sein als 25 N/mm^2, weiter bevorzugt größer sein als 50 N/mm^2, noch weiter bevorzugt größer sein als 75 N/mm^2 und schließlich am bevorzugtesten größer als 100 N/mm^2.

Es ist bevorzugt, wenn die Kontaktseite des ersten Substrats flach ausgebildet ist, also insbesondere planar. Die Kontaktseite des ersten Substrats kann poliert sein, wenn sich die Metallfolie an die Kontaktseite anschmiegt. Die Kontaktseite des ersten Substrats kann beispielsweise einen Mittenrauwert Ra von kleiner oder gleich 0,5 µm aufweisen, bevorzugt kleiner oder gleich 0,2 µm, weiter bevorzugt kleiner oder gleich 0,1 µm, noch weiter bevorzugt kleiner oder gleich 50 nm und schließlich bevorzugt kleiner oder gleich 20 nm. Die Metallfolie schmiegt sich an die Kontaktseite des ersten Substrats an und folgt ggf. der Unebenheiten der Kontaktseite. Wenn die Metallfolie selbst nicht planar bereitgestellt wird, beispielsweise da sie sich durch Warp (also Verbiegung) verformt, bspw. aufrollt, kann das Anschmiegen der Metallfolie darauf beziehen, dass die Metallfolie sich an die planare Kontaktseite des ersten Substrats anschmiegt.

Die Laserfügelinie wird mittels eines Fügelasers eingebracht. Beispielsweise hat der Fügelaser eine Wellenlänge im Bereich von 1000 nm bis 1100 nm, bevorzugt 1030 nm bis 1060 nm , wenn es sich um einen Infrarotlaser handelt, oder auch eine Wellenlänge von 500 bis 550 nm. Ein Ultrakurzpulslaser mit Pulslängen im Bereich von 50 ps oder kleiner, bevorzugt 10 ps, weiter bevorzugt 1 ps oder weiter bevorzugt 500 fs oder kleiner kann beispielsweise eingesetzt werden.

Der Fügelaser weist einen Strahlfokus auf. Der Strahlfokus kann eine Strahltaillenbreite 2w0 aufweisen. Ferner weist der Fügelaser eine Strahlbreite $2W_{Laser}$ für den Fügeprozess auf, die größer oder gleich der Strahltaillenbreite 2w0 sein kann. Die Fokalebene für das Eindringen der Laserfügelinie kann relativ zur Fügeebene distal verschoben sein. Die Strahlbreite $2W_{Laser}$ ist insbesondere dann größer als die Strahltaillenbreite 2w0, wenn die Fokaleben für das Eindringen der Laserfügelinie distal verschoben ist. Insbesondere liegt die Fokalebene in der Metallfolie beim Einbringen der Laserfügelinie. Die Fokalebene ist bevorzugt 10 µm +/- 10 µm distal in die Metallfolie verschoben, weiter bevorzugt 20 µm +/- 10 µm.

Die Strahlbreite $2W_{Laser}$ beträgt an der Fügeebene bevorzugt 4µm ± 1 µm, weiter bevorzugt 4µm ± 2µm, weiter bevorzugt 4µm ± 3µm. Dies kann beispielsweise erreicht werden,

wenn die die Fokalebene in der Metallfolie beim Einbringen der Laserfügelinie liegt, also beispielsweise 10 µm +/- 10 µm oder 20 µm +/- 10 µm distal in die Metallfolie verschoben ist. Alternativ oder kumulativ kann eine Aufweitung oder Verschmälerung des Laserstrahles vor dem Einschreibe-Objektiv erfolgen, beispielsweise durch eine Blende oder ein Teleskop, um die Strahlbreite $2W_{Laser}$ auf die gewünschte Breite einzustellen.

Die Metallfolie besteht bevorzugt vollständig aus Metallmaterial oder einem Halbmetallmaterial. Die Metallfolie umfasst dabei bevorzugt Metall oder ein Halbmetall im Sinne der Definition des Periodensystems. Die Metallfolie kann zumindest eines aus Aluminium, Molybdän, Wolfram, Silizium, Platin, Silber oder Gold umfassen oder daraus bestehen. Die Metallfolie kann auch eine Legierung umfassen. Insbesondere kann die Metallfolie zumindest eines aus Kohlenstoff, Kupfer, Mangan, Chrom, Magnesium, Kobalt, Nickel, Zinn, Zink, Niob, Palladium, Rhenium, Indium, Tantal, Titan oder Iridium umfassen oder daraus bestehen.

Das erste Substrat ist bevorzugt ein transparentes Substrat. Das erste Substrat kann Glas, Glaskeramik, Silizium, Germanium, Saphir oder eine Kombination der vorgenannten Materialien umfassen oder daraus bestehen. Ein Beispiel für ein Glas mit guter Transparenz im IR Bereich ist das unter der Bezeichnung IRG11A von der SCHOTT AG erhältliche Ca-Aluminat-Glas.

Das erste Substrat kann auch eine Faserplatte oder ein Faserstab sein oder daraus bestehen. Derartige Faserplatten oder Faserstäbe umfassen eine Vielzahl von Lichtleitfasern, wobei jede der Fasern einen länglichen Glaskern aufweist. Die Kerne sind von einer Glasummantelung umgeben, so dass die Ummantelung mit den Kernen ein starres, durchgehendes Glaselement bildet. Die Kerne haben einen höheren Brechungsindex als die Ummantelung, so dass das Licht durch Totalreflexion an den Glaskernen entlang geleitet werden kann. Alternativ kann die Lichtleitung auch durch Anderson-Lokalisierung erfolgen, wie beispielsweise in dem aus DE 10 2020 116 444 bekannten Wellenleiter. In diesem Fall sind hoch- und niedrigbrechende Glaszylinder mit variierenden Durchmessern ungleichmäßig chaotisch oder ungleichmäßig nach einer eindeutig vorbestimmten Regel angeordnet. Das Glaselement des Mehrfaser-Lichtleiters hat zwei aneinanderstoßende Flächen, wobei die Kerne in beiden Stirnflächen enden, so dass das Licht entlang der Kerne von einer Stirnfläche zur anderen geleitet werden kann.

Das erste Substrat kann auch keramisches Material umfassen oder daraus bestehen, insbesondere oxidkeramisches Material. Das erste Substrat kann auch ein kristallines Material

bzw. einen Kristall umfassen oder daraus bestehen, insbesondere kristalliner Quartz, Yttriumoxid (Y_2O_3), Zirkonoxid (ZrO_2), Aluminiumoxid (Al_2O_3), Yttrium-dotiertes Zirkoniumdioxid, Yttrium dotiertes Aluminiumoxid, Lanthan dotiertes Yttriumoxid, Aluminium dotiertes Aluminiumnitrid und Magnesium dotiertes Aluminiumoxid. Die Dotierungen sind dabei bevorzugt jeweils Metalloxide.

Das erste Substrat kann zumindest eines aus Quarzglas, Borosilikatglas, Aluminosilikatglas, eine Glaskeramik, wie Zerodur, Ceran oder Robax, eine Optokeramik, wie Aluminiumoxid, Spinell, Pyrochlor oder Aluminiumoxynitrit, Kalziumfluorridkristall oder Chalcogenidglas umfassen oder daraus bestehen.

In einer Weiterbildung kann die hermetisch verbundene Anordnung einen Abstandshalter zum Festlegen eines Abstands zwischen dem ersten Substrat und dem Metallbauteil aufweisen. Der Abstandshalter kann horizontal zwischen der Metallfolie eingesetzt oder umfasst sein, also in Bereichen, die von der Metallfolie ausgespart sind, wie beispielsweise in einem von der Metallfolie eingerahmten Fenster. Beispielsweise kann das erste Substrat dann über den Abstandshalter mit dem Metallbauteil in Kontakt stehen. Mit anderen Worten kann der Abstandshalter beispielsweise bereichsweise auf der Kontaktfläche des ersten Substrats angeordnet sein, so dass das Substrat mit dem Abstandshalter in Kontakt bzw. in Berührkontakt kommt, aber zwischen der Kontaktfläche des ersten Substrats und der Kontaktfläche des Metallbauteils außerhalb des Abstandshalters ein Abstand, beispielsweise in der Größe der Dicke des Abstandshalters und/oder in der Dicke der Metallfolie, verbleibt.

Der Abstandshalter kann den Bereich zwischen Substrat und dem mit dem Substrat zu fügenden Bauteil, insbesondere dem Metallbauteil, ausfüllen. So kann sich das Substrat im gefügten Zustand am Metallbauteil abstützen. Beispielsweise kann der Abstandshalter als Beschichtung oder ebenfalls als Metallfolie auf dem ersten Substrat ausgebildet sein. Der Abstandshalter kann auch einstückig mit dem ersten Substrat ausgebildet sein, beispielsweise in Form einer Ausstülpung, die dort einen Absatz oder eine Erhöhung bildet. Beispielsweise kann der Abstandshalter beim Polieren der Kontaktfläche des ersten Substrats hergestellt werden, wenn Bereiche der Kontaktfläche des ersten Substrats nicht poliert werden und somit Erhöhungen dort stehen bleiben. Gerade im Fall von Saphir als erstem Substrat, wie insbesondere als Uhrenglas, bei welchem typischerweise bereits eine aufwändige Politur des Saphirglases erfolgt, kann eine zusätzliche bzw. geänderte Politur des Saphir-Glases im Polierschritt mit erfolgen, so dass kein zusätzlicher Arbeitsschritt bei der Herstellung benötigt wird.

Der Abstandshalter kann aufgesputtert werden. Der Abstandshalter kann eine direkt abgeschiedene Lithoglasschicht umfassen. Der Abstandshalter kann auch aufgedruckt sein beispielsweise im Tintenstrahldruckverfahren. Der Abstandshalter kann sich auch mittels 3D - Druck ergeben. Dabei kann sich der Abstandshalter entlang der Laserfügelinie erstrecken, wobei der Abstandshalter außerhalb der Laserfügelinie bzw. außerhalb der Bereiche der Heftungspunkte angeordnet ist. Der Abstandshalter kann das erste Substrat stützen, beispielsweise gegen das Metallbauteil. Der Abstandshalter ist allerdings bevorzugt nicht zur nicht-lösbaren Verbindung des ersten Substrats mit dem Metallbauteil vorgesehen. Der Abstandshalter kann eine Dicke von zumindest 5 µm aufweisen, weiter bevorzugt eine Dicke von zumindest 10 µm und noch weiter bevorzugt eine Dicke von zumindest 20 µm. Der Abstandshalter weist bevorzugt die gleiche Dicke der Metallfolie auf.

Der Abstandshalter kann zudem Strukturen in Form von Erhebungen, Ausbuchtungen und/oder Vertiefungen aufweisen, welche als Ausrichthilfe bzw. als Zentrierhilfe dienen können und das exakte Positionieren des Substrats in Bezug auf das mit dem Substrat zu verbindende Bauteil erleichtern können.

In einer Weiterbildung der Erfindung kann auch zumindest eine Ausweichzone vorgesehen sein zum Aufnehmen von schmelzflüssigem Material aus der Laserfügelinie oder dem Heftungspunkt. Die zumindest eine Ausweichzone ist dabei bevorzugt benachbart zu der Laserfügelinie oder der Mehrzahl von Heftungspunkten angeordnet. Mit anderen Worten ist die Ausweichzone so angeordnet, dass schmelzflüssiges Material, insbesondere im Moment der Erzeugung der Laserfügelinie, in die Ausweichzone ausweichen kann. Beispielsweise kann die Ausweichzone um die Laserfügelinie herum und damit kommunizierend angeordnet sein, so dass Material, welches in der Laserfügelinie schmelzflüssig erhitzt wird, geringfügig in die Ausweichzone ausweichen kann. Dabei kann das schmelzflüssige Material bei dem Ausweichvorgang einem Druckgradienten folgen.

Beispielsweise kann beim Einbringen der Laserfügelinie das erste Substrat und/oder die Metallfolie eine Expansion zeigen, beispielsweise thermische Expansion. Da der Laser nur lokal Material erhitzt, also um die Laserfügelinie herum Material im festen Zustand verbleibt, können ggf. enorme Spannungen zwischen dem Material der Laserfügelinie und dem die Laserfügelinie umgebenden Material entstehen, die ggf. Risse, wie Spannungsrisse, oder Hohlräume entstehen lassen. Unter Vorhalten der Ausweichzone kann schmelzflüssiges Material in die Ausweichzone ausweichen, so dass die Entstehung von Rissen oder Hohlräumen vermindert wird. Die

zumindest eine Ausweichzone, oder auch Pufferzone oder Relaxationszone, ist ferner bevorzugt zwischen dem ersten Substrat und der Metallfolie angeordnet, beispielsweise dort an der Kontaktfläche.

Die Ausweichzone kann auch dadurch gebildet sein, dass der Abstandshalter umfasst ist, welcher die beiden Kontaktflächen in einem definierten Abstand zueinander aneinander zu liegen kommen lässt, wenn das erste Substrat an der Metallfolie angeordnet wird. Die sich dabei ausbildenden Hohlräume in den Bereichen, in denen kein Abstandshalter vorliegt, können so im Vorfeld gestaltet oder angeordnet werden, dass diese als Ausweichzone für beim Laserfügen ausweichendes Material genutzt werden können. Hierdurch wird die entstehende Laserfügelinie spannungsärmer und dadurch ggf. stärker bzw. eine höhere Haftkraft bereitstellend, wobei zugleich Spannungen aus dem ersten Substrat herausgehalten werden können, sich also in dem ersten Substrat weniger Spannungsrisse bzw. Hohlräume bilden.

Wenn die Zone, in der schmelzflüssiges Material miteinander durchmischt wird, als Durchmischungszone bezeichnet wird, und die daran angrenzenden Zonen der Laserfügelinie als Wiedererstarrungszonen, dann sind gerade die Wiedererstarrungszonen problematisch in der Hinsicht, dass dort Risse bzw. Hohlräume durch den Eintrag der Laserfügelinie entstehen können. Dies ist besonders dann nachteilig, wenn das erste Substrat beispielsweise ein Einkristall wie ein Saphir ist, in welchem Schäden durch das Einbringen einer Laserfügelinie nicht durch das nachträgliche Einbringen einer deckungsversetzten nachfolgenden Laserfügelinie geheilt werden können. Mit den vorliegenden Ideen, insbesondere der Ausweichzone und/oder dem Abstandshalter, ist es daher möglich, die Wiedererstarrungszone möglichst klein zu halten, gleichzeitig aber die Durchmischungszone möglichst groß bzw. möglichst weit in das Substrat bzw. die Metallfolie hineinragen zu lassen. Im Idealfall ist die Durchmischungszone so groß wie die Wiedererstarrungszone, dass also die Durchmischungszone die Wiedererstarrungszone vollständig überlagert und keine Wiedererstarrungszone als solche erkennbar bleibt. Dann ist die Haftung aneinander besonders gut, zugleich aber die Entstehung von Rissen bzw. Hohlräumen minimiert.

Eine zweite Laserfügelinie kann erreicht werden, indem derselbe Laser erneut auf eine vorherige oder dazu ähnliche Fügeposition eingestellt wird, also der neue Laserfokus mit einem bereits eingestellten bzw. bereits angefahrenen Fokuspunkt überlappt. Die Einbringung einer zweiten Laserfügelinie, insbesondere in die noch warme bzw. heiße erste Laserfügelinie, kann auch durch Einsatz eines Doppelfokus am Lasergenerator erzeugt werden. Beispielsweise kann

hierfür ein Strahlteiler oder ein Beugungsgitter eingesetzt sein, oder auch zwei Lasergeneratoren eingesetzt sein. Die zweite Laserfügelinie wird dabei in noch warmes, insbesondere noch schmelzflüssiges Material der Fügepartner eingebracht.

Ein solcher Effekt, also das Einbringen von Laserenergie in noch warmes bzw. sogar noch schmelzflüssiges Material, kann auch beispielsweise erzielt werden, wenn der Lasergenerator über eine Burst-Funktion verfügt, und auf diese Weise eine Mehrzahl von Laserpunkten überlappend und in kurzer Zeitfolge in die Anordnung eingebracht werden kann. Mit anderen Worten wird an einem Fokuspunkt der ersten Laserfügelinie in einem definierten zeitlichen Abstand und/oder einem definierten räumlichen Abstand ein weiterer Fokuspunkt angefahren bzw. eine zweite Laserfügelinie eingebracht. Eine zweite Laserfügelinie kann den Verbund ggf. weiter verbessern und somit die Haltekraft der Metallfolie an dem ersten Substrat erhöhen.

Im Rahmen der Erfindung ist auch eine hermetisch verschlossene Umhäusung gezeigt, insbesondere aufweisend eine hermetisch verbundene Anordnung, wie sie zuvor bereits ausführlich beschrieben ist. Die hermetisch verschlossene Umhäusung umfasst ein erstes Substrat, welches zumindest bereichsweise und/oder zumindest teilweise für zumindest einen Wellenlängenbereich transparent ausgebildet ist und eine Metallfolie, wobei die Metallfolie mit einer Kontaktfläche benachbart zu einer Kontaktfläche des ersten Substrats angeordnet ist. Die Metallfolie ist flexibel hergerichtet, um Unebenheiten der Kontaktfläche des ersten Substrats auszugleichen. Ferner ist ein Funktionsbereich vorgesehen. Der Funktionsbereich kann zwischen der Metallfolie und dem ersten Substrat angeordnet sein. Der Funktionsbereich kann an der Kontaktfläche des ersten Substrats angeordnet sein, beispielsweise umrandet von der Metallfolie.

Die Umhäusung weist zumindest eine Laserfügelinie oder eine Mehrzahl von Heftungspunkten zum direkten und unmittelbaren Fügen der Metallfolie mit dem ersten Substrat, an oder in den Kontaktflächen, insbesondere um den Funktionsbereich herum zum hermetischen Abdichten des Funktionsbereichs auf. Die Laserfügelinie bzw. die Mehrzahl von Heftungspunkten reicht einerseits in das erste Substrat und andererseits in die Metallfolie hinein und fügt diese direkt schmelzend miteinander.

In der hermetisch verschlossenen Umhäusung kann die Laserbondlinie der Umhäusung vollständig um den Funktionsbereich herum geschlossen ausgeführt sein. Ferner oder alternativ kann ein potentieller Luftspalt, d.h. eine Beabstandung zwischen dem ersten Substrat und der

Metallfolie, in der Laserbondlinie durchgehend kleiner sein als 0,75 µm, bevorzugt kleiner sein als 0,5 µm und weiter bevorzugt kleiner sein als 0,2 µm.

Der Funktionsbereich der Umhäusung kann eine hermetisch verschlossene Beherbergungskavität zur Aufnahme eines Beherbergungsobjekts aufweisen, wie eines elektronischen Schaltkreises, eines Sensors oder MEMS. Andererseits können das oder die Beherbergungsobjekt(e) ggf. auch im Bereich des Metallbauteils angeordnet sein. Der Funktionsbereich kann eine optische Beschichtung des ersten Substrats sein, eine Schicht umfassend eine oder mehrere Licht Emittierende Dioden (LED), ein Polarisator.

Im Rahmen der Erfindung ist auch ein Verfahren zur Herstellung eines hermetisch verschlossenen Verbunds aus zumindest zwei Teilen mit den Schritten: Bereitstellen eines ersten Substrats und einer Metallfolie, Andrücken der Metallfolie an das erste Substrat, so dass zwischen der Metallfolie und dem ersten Substrat eine Kontaktfläche gebildet wird, an welcher die Metallfolie mit dem ersten Substrat in Berührkontakt steht, wobei sich die Metallfolie durch das Andrücken an Unebenheiten der Kontaktfläche des ersten Substrats anschmiegt und dauerhaft anformt. Es folgt das hermetisch dichte Verbinden der Metallfolie und des ersten Substrats miteinander durch direktes Fügen miteinander im Bereich der zumindest einen Kontaktfläche, so dass sich eine Durchmischungszone herausbildet, die einerseits in das erste Substrat und andererseits in die Metallfolie hineinreicht und diese direkt schmelzend miteinander fügt.

Eine Kontaktfläche kann als Ebene aus den sich zugeneigten Flächen der beiden in Kontakt zu bringenden Komponenten aufgefasst werden. Die Berührkontaktfläche meint eine Teilfläche der Kontaktfläche, bei der der Abstand der beiden Substrate zueinander so gering ist, dass er optisch nicht mehr messbar ist. Schließlich wird im Sinne der vorliegenden Erfindung eine Gutfläche definiert, bei welcher der Abstand der Substrate zueinander ausreichend klein ist, wie im Weiteren ausführlich beschrieben werden wird, oder aber eine tatsächliche Berührung zwischen den beiden Substraten stattfindet. Im Allgemeinen ist dabei die Kontaktfläche größer oder gleich der Gutfläche und die Gutfläche wiederum größer oder gleich der Berührkontaktfläche. Sowohl das erste Substrat als auch die Metallfolie können jeweils zumindest eine Kontaktfläche aufweisen. Die Kontaktebene kann als die Ebene aufgefasst werden, in welcher der Kontakt zwischen erstem Substrat und Metallfolie stattfindet. Wenn die Metallfolie dauerhaft verformt ist bzw. an die Kontaktfläche des ersten Substrats angeschmiegt ist, ist

entsprechend auch die Kontaktebene „verformt“, folgt also der Kontaktstruktur der aufeinanderliegenden Kontaktflächen.

Mit anderen Worten wird zunächst die Metallfolie unter oder an dem ersten Substrat angeordnet, also zum Beispiel aufeinandergestapelt, wobei die Schwerkraft das obenliegende typischerweise erste Substrat an die Metallfolie andrückt. Die Orientierung oberhalb bzw. unterhalb ist dabei lediglich beschreibend gemeint, da selbstverständlich die Komponenten jede Orientierung im Raum annehmen können und auch eine Nebeneinanderanordnung nicht den Schutzbereich verlassen soll. Die beiden Komponenten sind typischerweise mit einer größeren Seite ihrer Ausdehnung aneinander anliegend angeordnet.

Insbesondere sind zwischen dem ersten Substrat und der Metallfolie keine anderen Materialien oder Schichten vorhanden oder eingefügt, wie beispielsweise Klebstoffe oder Glasfritte oder dgl. Möglicherweise sind aus technischen Gründen geringste Gaseinschlüsse oder Unreinheiten, wie Staubpartikel, nicht zu vermeiden. Dies kann sich auch aus eventuellen Unebenheiten auch im Mikrobereich zwischen den Substratschichten oder an den Oberflächen der Substratschichten ergeben. Wenn die vom Laser erzeugte Fügezone bzw. Laserbondlinie in bevorzugter Weise beispielsweise eine Höhe HL zwischen 4 - 25 µm bereitstellt, kann mittels der Laserbondlinie eine hermetische Versiegelung sichergestellt werden, da der möglicherweise auftretende Abstand zwischen den beiden Substraten überbrückt werden kann.

Eine der oder die Laserbondlinie kann den Funktionsbereich in einem Abstand DF umlaufend umschließen. Der Abstand DF umlaufend um den Funktionsbereich kann konstant sein, so dass die Laserbondlinie allseits im ungefähr gleichen Abstand um den Funktionsbereich herum angeordnet ist. Der Abstand DF kann je nach Anwendungsfall auch variieren, was gegebenenfalls produktionstechnisch günstiger sein kann, wenn beispielsweise eine Mehrzahl von Umhäusungen in einem gemeinsamen Arbeitsschritt gefügt wird, oder wenn der Funktionsbereich eine runde oder beliebige Form aufweist und die Laserbondlinie in gerader Linie gezogen wird. Auch in dem Fall, dass die Kavität optische Eigenschaften aufweist, beispielsweise in Form einer Linse, wie einer Sammellinse, ausgeformt ist, kann die Laserbondlinie um die Kavität herum ausgebildet sein und gegebenenfalls verschiedene Abstände zur Kavität aufweisen. Eine Umhäusung kann auch mehrere Kavitäten umfassen.

Das Verfahren kann ferner den Schritt umfassen: Überprüfen des hermetischen Verbunds der zumindest zwei Substrate mittels Ermittlung eines Abstandsprofils zwischen den zumindest zwei Substraten. Es kann auch der Schritt umfasst sein: Ermittlung eines ersten Bond

Quality Index Q1 zur Überprüfung der mechanischen Festigkeit bzw. der Hermetizität des Verbunds.

Der erste Bond Quality Index Q1 kann ermittelt werden zu Q1 = 1 - (A - G)/A. Dabei stellt A die Fläche der Kontaktfläche dar sowie G eine Gutfläche. Die Gutfläche G entspricht insbesondere der Berührkontaktfläche, die Gutfläche G kann einen Teil der Kontaktfläche beschreiben, bei der der Abstand zwischen den Komponenten erstes Substrat und Metallfolie kleiner ist als 5 µm, bevorzugt kleiner als 1 µm und weiter bevorzugt kleiner als 0,5 µm, am bevorzugtesten schließlich kleiner als 0,2 µm. Der Bond Quality Index Q1 kann größer oder gleich 0,8 sein, bevorzugt größer oder gleich 0,9 und weiter bevorzugt größer oder gleich 0,95.

Die Kontaktfläche kann einen Nutzbereich N aufweisen, und zur Berechnung des ersten Bond Quality Index Q1 kann der Nutzbereich herangezogen werden. Q1 ermittelt sich dann zu Q1 = 1 - (N - G)/N.

Im Rahmen des Verfahrens kann hierfür eine Rückstrahlung erfasst werden, welche durch das Bestrahlen der Anordnung mit einer Einstrahlung an zumindest einer Kontaktfläche der Anordnung entsteht. Mit anderen Worten wird die Anordnung bestrahlt bzw. beleuchtet, so dass an den Oberflächen eine Rückstrahlung aus der Einstrahlung erzeugt wird. Hierbei kann es sich bei der Rückstrahlung um die reflektierte Einstrahlung handeln, welche zu einem gewissen Anteil an einer der Oberflächen reflektiert wird. Im Falle von zwei Substraten, wobei also gegenüberliegend zur Metallfolie ein weiteres Substrat angeordnet wird, können hierzu drei Oberflächen infrage kommen, an welchen bereits eine solche Reflexion auftreten kann. Diese sind die Oberseite des ersten Substrats, die Innenseite des zweiten Substrats sowie die Außenseite des zweiten Substrats.

Mit anderen Worten weist das erste Substrat eine Außenseite oder auch äußere Flachseite auf, die zur Umgebung hin ausgerichtet ist und welche im Wesentlichen flächig bzw. flach ausgebildet ist. An die äußere Flachseite angrenzend und typischerweise in einem rechten Winkel zu der äußeren Flachseite orientiert, beispielsweise um den Rand der äußeren Flachseite umlaufend ausgestaltet, ist eine umlaufende Schmalseite. In einem Beispiel ist das erste Substrat als Platte oder Quader beschreibbar, aufweisend zwei großflächige Seiten (also die Außenseite und die Innenseite) sowie vier zwischen den großflächigen Seiten angeordnete kleinere Seiten, die insbesondere senkrecht auf die beiden großflächigen Seiten stehen und an die großflächigen Seiten angrenzen. Dann bilden die vier kleineren Seiten gemeinsam die umlaufende Schmalseite und die Oberseite die äußere Flachseite des ersten Substrats. Die Oberseite weist dabei

typischerweise eine größere Oberfläche auf als die kleineren Seiten der umlaufenden Schmalseite zusammen. Diese Ausführungen zu Größen und Größenverhältnissen können analog auch für weitere Substrate gelten.

In einem Bereich, in dem das Substrat mit der Metallfolie in Berührkontakt steht, findet an den Innenseiten keine oder keine nennenswerte Reflexion statt, so dass dieser Anteil vergleichsweise gering ist. Liegt dort ein Abstand vor, das Substrat in diesem Teilbereich also nicht in Berührkontakt mit der Metallfolie steht, wird die Einstrahlung an allen drei Oberflächen jeweils zu einem gewissen Anteil reflektiert. Im Falle von mehr Substraten, wie beispielsweise drei Substraten, können entsprechend mehr Oberflächen zu berücksichtigen sein.

Aus der Rückstrahlung, die aus dem Substratstapel in eine Mess- bzw. Beobachtungseinrichtung fällt, wird ein erster Bond-Quality-Index Q_1 der Kontaktfläche der Anordnung ermittelt. Beispielsweise wird der erste Bond Quality Index Q1 vor dem Fügen des ersten Substrats mit der Metallfolie ermittelt. Es kann ferner der Schritt: Ermittlung eines zweiten Bond Quality Index Q2 der Kontaktfläche des hermetisch dicht gefügten Verbunds in dem Verfahren umfasst sein, wobei insbesondere Q2 größer ist als Q1. Weiter insbesondere gilt Q2/Q1 größer 1,001.

Die Rückstrahlung erzeugt bevorzugt ein Muster, insbesondere ein Interferenzmuster, weiter insbesondere wird dieses Muster aus der Überlagerung der Einstrahlung mit der Rückstreuung an der zumindest einen Kontaktfläche der Umhäusung erzeugt. Dann ist es möglich, die Mess- bzw. Beobachtungseinrichtung so auszugestalten, dass diese das Interferenzmuster erkennt bzw. erfasst und daraus den Abstand zwischen Substrat und Metallfolie berechnen bzw. herleiten kann.

Das Muster aus der Rückstrahlung kann eine Anordnung aufweisen, bei welcher sich das Muster um eine oder mehrere Fehlstellen herum erstreckt. Mit anderen Worten kann das Muster besonders um solche Stellen herum angeordnet sein, bei welchen das Substrat nicht mit der Metallfolie in Berührkontakt steht. Dann ist es besonders einfach, mit der Mess- bzw. Beobachtungseinrichtung die Stellen zu lokalisieren, bei welcher das Substrat nicht mit der Metallfolie in Berührkontakt steht. Eine Fehlstelle kann dabei dadurch gekennzeichnet sein, dass der Abstand an diesen Fehlstellen größer ist als 5 µm, bevorzugt größer ist als 2 µm und weiter bevorzugt größer ist als 1 µm, größer als 0,5 µm, oder auch bevorzugt größer als 0,2 µm. Mit anderen Worten liegt eine Fehlstelle besonders bevorzugt genau dort vor, wo gerade nicht die

Kriterien einer Gutfläche G erfüllt sind. In diesem Fall kann die Kontaktfläche zwischen dem Substrat und der Metallfolie vollständig aufgeteilt werden in Gutfläche G und Fehlstelle F.

Die entsprechende Bereichszuordnung kann in einem Beispiel anhand eines Interferenzmusters in Form von Newtonschen Ringen identifizierbar werden. Wenn die Einstrahlung im Bereich des sichtbaren Lichts eingestellt ist, beispielsweise mit λ = 500 nm zeigt jeder Newton-Ring einen Höhenunterschied von $\lambda/2$ = 250 nm. Wenn beispielsweise das Auftreten von drei Newton-Ringen als Grenzkriterium für die Feststellung, ob ein Gutbereich vorliegt, eingestellt wird, so kann in einer optischen Bildanalyse einer Rückstrahlung aus der Umhäusung derjenige Bereich als Gutbereich definiert werden, bei welchem der Abstand zwischen Substrat und Metallfolie kleiner oder gleich $3^* \lambda /2$ = 750 nm beträgt.

Im Rahmen der Erfindung ist auch die Umhäusung umfasst, hergestellt mit dem zuvor vorgestellten Verfahren.

Die vorgeschlagene Umhäusung ist insbesondere zur Verwendung als Uhrengehäuse geeignet. Weitere Anwendungsgebiete betreffen insbesondere Vorrichtungen für die optische Analytik, wie beispielsweise Endoskopie, optische Zugänge zu Proben- oder Reaktorgefäßen und Flusszellen.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die Figuren näher erläutert, wobei gleiche und ähnliche Elemente teilweise mit gleichen Bezugszeichen versehen sind und die Merkmale der verschiedenen Ausführungsbeispiele miteinander kombiniert werden können.

Kurzbeschreibung der Figuren

Es zeigen:

Fig. 1	eine erste Ausführungsform eines hermetischen Verbunds,
Fig. 1a	einen Detailausschnitt aus einer Fügezone vor dem Laserfügen
Fig. 1b	Detailausschnitt einer Fügezone mit eingebrachter Laserfügelinie,
Fig. 2	Draufsicht auf einen hermetischen Verbund, hier ausgeführt als Umhäusung mit Funktionsbereich
Fig. 3	Seitenschnittansicht einer Ausführungsform eines hermetischen Verbunds,
Fig. 4	Seitenschnittansicht eines hermetischen Verbunds mit anzufügendem

Metallbauteil,

Fig. 5 Seitenschnittansicht eines hermetischen Verbunds mit angefügtem Metallbauteil,

Fig. 6 perspektivische Ansicht eines hermetischen Verbunds mit Fenster,

Fig. 7 Seitenschnittansicht eines hermetischen Verbunds mit nur partieller Bedeckung mit Metallfolie,

Fig. 8a Ausführungsform einer Umhäusung,

Fig. 8b weitere Ausführungsform einer Umhäusung mit seitlicher Einfassung,

Fig. 9a - 9h Ausführungsform für Herstellungsschritte eines hermetischen Verbunds bzw. einer Umhäusung,

Fig. 10 weitere Ausführungsform eines hermetischen Verbunds mit Kantenfügung,

Fig. 11 die Ausführungsform der Fig. 10 mit angefügtem Metallbauteil,

Fig. 11a weite Ausführungsform der Fig. 10 mit seitlich angefügtem Metallbauteil,

Fig. 12 weitere Ausführungsform eines hermetischen Verbunds,

Fig. 13 einen in einen Flansch eingeschweißten Faserstab,

Fig. 14 eine hermetische Umhäusung mit einem Kristallbauteil und

Fig. 15 das Herstellen mehrerer hermetischer Umhäusungen auf einem Wafer.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

Bezug nehmend auf Fig. 1 ist eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen hermetischen Verbunds 1 dargestellt, wobei Dielektrikum 4 bzw. erstes Substrat 4 auf einer vollflächigen Metallfolie 3 angeordnet ist. Das Dielektrikum 4 bzw. erstes Substrat 4 ist auf die Metallfolie 3 aufgelegt, so dass es mit seiner Innenseite 11 an der Innenseite 12 der Metallfolie 3 zu liegen kommt. Die beiden Fügepartner 3, 4 stehen daher miteinander in Kontakt. Je nach konkreter Oberflächenbeschaffenheit können die Fügepartner 3, 4 miteinander flächig in Berührkontakt stehen. Wenn die Oberfläche des ersten Substrats 4 rau ist, können die Fügepartner 3, 4 auch zunächst nur partiell bzw. bereichsweise in Berührkontakt stehen. Wenn die Fügepartner 3, 4 aufeinander gestapelt liegen ist bereits durch die Gravitation bedingt ein Mindestmaß an Berührkontakt zwischen den Fügepartnern 3, 4 gegeben. In diesem Fall kann die Metallfolie 3 an die Innenseite 11 des ersten Substrats 4 angedrückt werden und sich dauerhaft verformen, so dass es die eventuellen Unebenheiten der Innenseite 11 des ersten Substrats 4 ausgleichen kann.

Im Beispiel der Fig. 1 sind drei Laserfügelinien 6a, 6b, 6c bzw. Heftungspunkte 6a, 6b, 6c eingebracht, um die beiden Fügepartner 3, 4 miteinander zu fügen. Die Fügepunkte / -linien 6a, 6b, 6c sind entlang der Seiten der Fügepartner 3, 4 gesetzt, wobei mittels eines Lasers 80 (vgl. z.B. Fig. 9c) die Fügepunkte von oberhalb (bezogen auf die Zeichnung) eingeschossen werden. Die Fokalebene ist dabei bevorzugt unter den Bereich der Innenflächen 11, 12 eingestellt. Vorzugsweise ist die Fokaleben so eingestellt, dass sie in der Metallfolie 3 zu liegen kommt, beispielsweise 10 bis 20 µm in die Metallfolie 3 hinein versetzt ist, also 10 bis 20 µm unterhalb der Innenfläche 12 der Metallfolie 3. Dies kann bewirken, dass der Laserstrahl 82 an der Kontaktebene 15 eine gewünschte Breite von bevorzugt 4µm +/-1 µm, weiter bevorzugt 4µm +/- 2µm, weiter bevorzugt 4µm +/- 3µm erreicht. Diese Breite kann auch durch eine entsprechende Strahlformung vor dem Objektiv erreicht werden.

Wenn im Fall wie in Fig. 1 gezeigt die beiden Fügepartner 3, 4 mit ihren Innenseiten 11, 12 unmittelbar benachbart aneinander zu liegen kommen, also insbesondere im flächigen Berührkontakt, dann ist auch die Kontaktebene 15 gleich mit den beiden Innenseiten 11, 12, wie in Fig. 1 gezeigt.

In Fig. 1 sind ferner drei Laserfügelinien 6a, 6b, 6c dargestellt, die ineinander verschränkt gesetzt sind, so dass die Laserfügelinien 6a, 6b, 6c auch untereinander wechselwirken. Hierbei können verschiedene Effekte provoziert bzw. erreicht werden je nach Zielsetzung. Beispielsweise kann das Setzen der Laserfügelinien nicht warm-in-warm erfolgen, sondern die sukzessive Laserfügelinie 6b wird erst eingeschossen, wenn die vorherige Laserfügelinie 6a bereits erkaltet ist. Der Erkaltungsprozess der Laserfügelinie vollzieht sich dabei außerordentlich schnell, da nur eine äußerst geringe Gesamtmenge an thermischer Energie eingeschossen wird und das Metallmaterial der Metallfolie 3 überwiegend eine hervorragende Wärmeleitfähigkeit aufweist. Mit der ersten Laserfügelinie 6a wird Material der beiden Fügepartner 3, 4 bereits miteinander vermischt und mögliche Unebenheiten und Abstände (Luftspalten) werden in einem geringen Umfang schmelzend überbrückt. Je nach Oberflächengüte, beispielsweise bei großen Luftspalten bis zu 5 µm im Bereich der zu fügenden Kontaktfläche 15 kann die Fügung dabei mit der ersten Laserfügelinie 6a möglicherweise nur unzureichend gestaltet sein. Da der Bereich der zu fügenden Kontaktfläche 15 aber mit dem Einbringen der ersten Laserfügelinie 6a geschlossen ist, die Luftspalten, sofern vorher vorhanden, geschlossen sind und das Material bereits zumindest „angemischt“ ist, kann nun mit dem Einbringen einer zweiten Laserfügelinie 6b und ggf. einer

dritten Laserfügelinie 6c eine optimale weitere Durchmischung der beiden Materialien der Fügepartner 3, 4 erwirkt werden.

Fig. 1a zeigt einen Detailausschnitt einer Fügezone vor dem LaserfügenDie Metallfolie 3 ist an die Unebenheiten der ersten Kontaktfläche 11 angeschmiegt, sodass die Metallfolie 3 ggf. nicht mehr in der ursprünglichen glatten Form, sondern in einer gebogenen oder komplexen Oberflächenform vorliegen kann. Die Kontaktfläche 12 der Metallfolie 3 kann der Formvorgabe der Kontaktfläche 11 folgen. Hierdurch kann gewährleistet werden, dass ein maximaler Abstand der Kontaktebene 15 zwischen erstem Substrat 4 und Metallfolie 3 nicht überschritten wird, sondern die Metallfolie 3 den Konturen der ersten Kontaktfläche 11 folgt.

Fig. 1b zeigt den Detailausschnitt der Fig. 1a mit eingefügter Lasefügelinie 6. Da der Abstand zwischen den beiden Kontaktflächen 11, 12 gering gehalten werden kann, indem die Metallfolie 3 den Unregelmäßigkeiten der Kontaktfläche 11 des ersten Substrats nahtlos folgt und sich der Kontaktfläche 11 anschmiegt, kann sichergestellt werden, dass an der geplanten Stelle des Fügeschrittes auch eine Laserfügelinie 6 eingebracht werden kann. Wenn nämlich der Abstand zwischen den beiden Kontaktflächen 11, 12 zu groß wird, kann ggf. eine sichere Fügung und damit Überbrückung eines Luftspalts ggf. nicht erfolgen oder stellt nur eine unzureichende Verbindung dar. Durch Einsatz der Metallfolie 3 bleibt der Abstand zwischen den Fügepartnern 3, 4 klein und das Einbringen der Fügelinie 6 ist gewährleistet. Die Fügelinie 6 weist die Schmelzzone 62 auf, in welcher Material des ersten Substrats 4 und der Metallfolie 3 aufgeschmolzen wird und miteinander vermischt wird. Im Inneren der Fügelinie 6 kann eine (oder mehrere) Blase(n) 64 auftreten, die in Richtung der Einschussrichtung des Lasers 80 zeigt, der typischerweise von oberhalb eingeschossen wird (bezogen auf die Zeichenebene, aber typischerweise auch auf die tatsächliche Durchführung). An der Unterseite kann eine Auswölbung 32 oder eine Einwölbung übrig bleiben, welche ggf. für das spätere gewöhnliche Schweißverfahren mit einem Metallbauteil vorteilhaft sein kann und wie eine Schweißrippe wirkt.

Fig. 2 zeigt eine Draufsicht auf einen hermetischen Verbund 1, wobei die Laserfügelinien 6a, 6b, 6c umlaufend um einen Funktionsbereich 2 herumgeführt sind. In den folgenden Figuren wird der Einfachheit halber lediglich eine Laserfügelinie 6 dargestellt, es können allerdings in jeder Ausführungsform auch mehr Laserfügelinien 6, 6a, 6b, 6c eingesetzt sein. In der Ausführungsform der Fig. 2 sind die Laserfügelinien 6a, 6b, 6c vollschließend um den Funktionsbereich 2 herumgeführt, um somit den Funktionsbereich 2 hermetisch rundherum zu versiegeln. Grundsätzlich kann ein hermetischer Verschluss des Funktionsbereichs 2 auch

bereits mit einer einzigen Laserfügelinie 6 erzielt werden. Die Scherfestigkeit wird bei Einsatz mehrere Laserfügelinien 6, 6a, 6b, 6c erhöht, überdies kann durch Redundanz bei Einsatz mehrere Laserfügelinien 6, 6a, 6b, 6c die Hermetizität ggf. sichergestellt oder verbessert werden.

Beispielsweise kann zum Testen oder Bestimmen der hermetischen Eigenschaften der Umhäusung bzw. des hermetischen Verbunds 1 ein Gas-Lecktest angewendet werden, beispielsweise mit Helium als Leckgas. Hermetische Dichtheit kann dann insbesondere erhalten werden, wenn bei einem Druckunterschied von 1 Bar die Gas-Leckrate zwischen dem Inneren und der Umgebung des hermetischen Verbunds 1 10^{-7} mbar x ls^{-1} oder weniger beträgt, bevorzugt 10^{-8} mbar x ls^{-1} oder weniger, weiter bevorzugt 1 10^{-9} x ls^{-1} oder weniger.

Die aufgeschmolzene Zone 62 um die Laserfügelinien 6a, 6b, 6c weist dabei die Breite W auf. In dem Funktionsbereich 2 kann beispielsweise ein Beherbergungsobjekt 5 wie elektronische Schaltkreise angeordnet sein (vgl. z.B. Fig. 9g).

Fig. 3 zeigt eine weitere Ausführungsform eines hermetischen Verbunds 1 mit einem ersten Substrat 4, welches typischerweise transparent im Bereich der eingesetzten Laserwellenlänge ist. Das Substrat 4 weist auf seiner Außenseite einen Funktionsbereich 2a auf, beispielsweise eine optische Beschichtung, wie eine Antireflex-Beschichtung, eine Leuchtelemente umfassende Schicht, insbesondere Leuchtdioden umfassend, einen Polarisator oder auch eine elektrische oder elektronische Funktionen aufweisende Schicht.

An der Innenseite 11 des ersten Substrats 4 ist eine Funktionsschicht 2 angesetzt. Die Funktionsbereiche bzw. Funktionsschichten 2, 2a können auf das erste Substrat aufgetragen worden sein, wie ein Beschichtung, oder dort bzw. daran angeordnet bzw. aufgeklebt sein. Es kann vorteilhaft sein, wenn die Funktionsschicht bzw. der Funktionsbereich 2 von der Laserfügelinie 6 getroffen werden kann. Dann kann der Funktionsbereich vollflächig z.B. auf der Innenseite 11 des ersten Substrats 4 aufgebracht sein und dennoch das Laserfügeverfahren durchgeführt werden. In der Ausführungsform der Fig. 3 ist dies der Fall und es ist eine vollflächige Funktionsschicht 2 dargestellt, wobei eine Laserfügelinie außen entlang des Substrats 4 geführt ist und eine geschlossene Linie bildet (vgl. Fig. 2). Um weniger komplexe Darstellungen zu zeigen, ist die Auflösung nicht so groß gewählt worden. Diesbezüglich wird bei allen Ausführungsformen implizit auf die Fig. 1a und 1b verwiesen, welche entsprechende Details zeigen und somit auch wesentliche Vorteile des Einsatzes der Metallfolie mit einbringen, dadurch nämlich, dass die Metallfolie allen Unebenheiten der Innenseite 11 des ersten Substrats 4 zu folgen vermag.

Bezug nehmend auf Fig. 4 ist ein hermetischer Verbund 1 gezeigt, wobei die Unterseite 14 der Metallfolie zur Verdeutlichung eine deutlich unebene bzw raue Form aufweist. Auch das Metallbauteil 44 kann eine raue Form aufweisen, da dort keine glatte oder polierte Oberfläche benötigt wird. Dies stellt einen erheblichen Vorteil zu früheren Versuchen dar, bei denen ein direkter Kontakt zwischen Metallbauteil 44 und Substrat 4 hergestellt werden sollte. Mittels der Verwendung der Metallfolie 3 gleichermaßen als Vermittler zwischen Metallbauteil 44 und Substrat 4 kann der Aufwand bei der Herstellung erheblich verringert werden und zugleich starke und belastbare und/oder hermetische Verbünde realisiert werden.

Fig. 5 zeigt die Ausführungsform der Fig. 3, wobei ein Metallbauteil 44 mit herkömmlichen Verfahren, d. h. durch Einbringen einer Fügenaht 42, angesetzt ist. Dadurch, dass die Metallfolie 3 metallhaltig ist, kann somit ein herkömmliches Fügeverfahren, wie insbesondere Schweißen, eingesetzt werden, da hierbei Metall mit Metall verbunden wird. Hier ist insbesondere vorteilhaft, dass die Anforderungen der herkömmlichen Fügeverfahren an bspw. die Oberflächengüte bzw. Oberflächenbeschaffenheit niedriger sind als für das Laserfügen. Daher ist es ggf. nicht notwendig, die vom Substrat abgewandte Unterseite der Metallfolie 3 und/oder die Kontaktfläche 18 des Metall-Körpers 44 vorzubereiten, bzw. zu polieren. Der Zwischenschritt des Anbringens der Metallfolie 3 vereinfacht somit ggf. alle weiteren Verfahrensschritte maßgeblich, da selbst bei rauen bzw. nicht glatten Innenseiten 18 eines Metallbauteils 44 oder Kunstoffbauteils 44a verschiedenster Größen angesetzt werden können, indem nämlich zunächst die Metallfolie 3 kritische Luftspalten in der Kontaktebene 15 zu überbrücken hilft und hernach herkömmliche Fügeverfahren, wie insbesondere Metallschweißen, eingesetzt werden können, um das Metallbauteil schließlich mit seiner Kontaktfläche 18 mit der Metallfolie 3 zu verbinden, wobei erheblich größere Luftspalten überbrückt werden können und dennoch ein stabiler und sicherer Verbund hergestellt werden kann. Somit ist es unerheblich, dass die Metallfolie 3 ggf. selbst an ihrer Außenseite Unebenheiten aufweist, beispielsweise die Unebenheiten überträgt, die sie auf ihrer Innenseite 12 angeformt bekommt, da das herkömmliche Metallschweißverfahren toleranter bzw. robuster gegenüber Rauigkeiten bzw. Unebenheiten ist.

Bezugnehmend auf Fig. 6 ist eine Ausführungsform eines hermetischen Verbunds 1 gezeigt, wobei die Metallfolie 3 in einem Ringabschnitt außen um das Substrat 4 herum angeordnet ist und im mittleren Bereich des Substrats 4 ein Fenster verbleibt, in welchem keine

Metallfolie 3 angeordnet ist. Mit anderen Worten ist die Metallfolie 3 lediglich bereichsweise auf dem Substrat 4 angeordnet.

Fig. 7 zeigt einen Querschnitt durch eine solche Ausführungsform mit nur bereichsweiser Anordnung der Metallfolie 3, welche an das Substrat 4 mittels der Laserfügelinie 6 angefügt ist. Entsprechend einer bereichsweisen Anordnung der Metallfolie 3 kann auch eine abschnittsweise Anordnung von Metallfolie vorgesehen sein, beispielsweise um elektrische Kontaktpunkte am Substrat 4 bereitzustellen. Ein solcher abschnittsweiser Kontakt mittels Anbringung einer Metallfolie 3 kann beispielsweise mindestens die Größe eines Laserfügepunkts aufweisen. Die Breite W_c der Metallfolie 3 kann typischerweise 1,5 fach der Breite W der Laserfügelinie 6 oder mehr entsprechen. Mit anderen Worten kann die Metallfolie eine vergleichsweise geringe Ausdehnung aufweisen, z.B. 50 µm, 100 µm oder mehr, 200 µm oder mehr bzw. einige 100 µm. Die Laserfügelinien 6, 6a, 6b, 6c werden typischerweise vollschließend hermetisch eingebracht, um das Substrat 4 mit der Metallfolie 3 hermetisch zu fügen und einen untrennbaren Verbund herzustellen. Auch die vorliegende Erfindung beschäftigt sich vor dem Hintergrund des bekannten, im Hause der Anmelderin bereits tradierten Fügeverfahrens mit der konsequenten Weiterentwicklung verschiedener Parameter bzw. Fügeprozesse zwischen Fügeteilnehmern 3, 4. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung liegt ein Fokus dabei auf der Verbindung des Substrats 4 über den Fügepartner der Metallfolie 3 und einem frei gestaltbaren Metallbauteil 42. Das Substrat 4 wird dabei zumeist als Dielektrikum bereitgestellt, insbesondere als Glas, Glaskeramik, Saphir oder dergleichen. Beispielsweise wird die hermetische Anordnung 1 als Uhrenglas für eine Smart Watch bereitgestellt. Hierbei sind die stark unterschiedlichen CTE-Werte der verschiedenen am Fügevorgang beteiligten Materialien und ggf. die unterschiedliche Sprödheit und weiteres zu berücksichtigen. Insbesondere hat sich herausgestellt, dass ein verbleibender Luftspalt zwischen dem Substrat 4 und dem ersten Fügepartner der Metallfolie 3 kritisch sein kann und dieser Luftspalt möglichst im gesamten Bereich der einzubringenden Laserfügelinie 6 gering zu halten ist. Ein solcher eventuell vorhandener und ggf. unerwünschter Luftspalt im Bereich des Laserfügepunktes einer zu bildenden Laserfügelinie 6 ist in vorteilhafter Weise möglichst klein ausgebildet, jedenfalls klein genug, um zunächst mit Einschuss des Lasers ein Plasma im Laserfügepunkt zünden zu können. Die Plasmazündung ist Voraussetzung dafür, dass mittels des Lasers 80 eine ausreichende punktartige Wärmemenge entlang der Laserfügelinie 6 appliziert werden kann. Hierfür ist auch vorteilhaft, wenn eine wieder erstarrte Zone möglichst auf den Bereich der Laserfügelinie 6 beschränkt werden kann. Im Rahmen dieser Erfindung hat

sich dabei herauskristallisiert, dass durch den vorteilhaften Einsatz der Metallfolie 3 der Luftspalt noch weiter verringert werden kann bzw. kontinuierlich über den Verlauf der geplanten Laserfügelinie 6 klein genug gehalten werden kann, um ungünstige optische Beeinträchtigungen und/oder die mechanische Stabilität beeinflussende Risse oder Poren verringern zu helfen vermag. Hierdurch kann ein weiter verbessertes Produkt bereitgestellt werden, welches insbesondere in sehr hochwertigen Produkten gewünscht bzw. benötigt wird. Beispiele hierfür umfassen die bereits genannte Smart Watch, aber auch je nach Ausführungsform Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt oder der Medizintechnik. Dann kann in der Durchmischungszone 62 Material des Substrats 4 mit Material der Metallfolie 3 durchmischt werden, wenn beide gleichzeitig in einen schmelzflüssigen Zustand versetzt werden. Beispielsweise kann bereits durch die Durchmischung in der Durchmischungszone 64 eine ausreichende Haftung und somit eine ausreichende Haltekraft des Verbunds 1 hergestellt werden. Beispielsweise kann gewünscht sein, vermittels der dauerhaften Verformung der Metallfolie 3 und dem Anschmiegen an die Kontaktfläche 11 des Substrats 4 einen Luftspalt in der Kontaktebene 15 übrig zu lassen, welcher im Bereich der einzubringenden Laserfügelinie 6 kontinuierlich kleiner oder gleich 0,5 µm beträgt. Beispielsweise können beim Einschuss des Lasers 82 in die Laserfügelinie 6 im Bereich der Materialdurchmischung Dentriten und/oder Droplets gebildet werden, welche eine Verzahnung zwischen Substrat 4 und Metallfolie 3 bereitstellt oder verbessert. Droplets werden hierbei in das jeweilige andere Fügepartnermaterial hineingeschleudert, Dentriten fungieren als Anker oder Nagel von dem jeweiligen Fügepartnermaterial in das jeweils andere Fügepartnermaterial hinein.

Indem die Metallfolie 3 in einen idealen Abstand zu der Kontaktfläche 11 des Substrats 4 gebracht wird, indem sich die Metallfolie 3 an die Kontaktfläche 11 anschmiegt, kann der Luftspalt zwischen den Kontaktflächen 11 und 12 auf ein Idealmaß gebracht werden. Hierbei ist vorteilhaft, wenn dieses Idealmaß nicht Null entspricht, sondern vielmehr ein ganz geringer Abstand beibehalten wird, da hierdurch eine Ausweichzone geschaffen bzw. vorgehalten werden kann, in welche Material der Fügepartner 3, 4 ausweichen können, wenn dieses schmelzflüssig während des Einbringens der Laserfügelinie 6 ist. Auf diese Art können ggf. Risse bzw. Hohlräume in den Fügepartnern 3, 4 vermindert werden. Dies kann auch dann gegeben sein, wenn die Metallfolie 3 nur bereichsweise bzw. abschnittsweise am Substrat 4 angeordnet wird, da hierbei automatisch Luftspaltbereiche eingeräumt werden, in die schmelzflüssiges Material während des Fügevorgangs einfließen kann. In diesem Fall kann ein Luftspalt zwischen den Kontaktflächen

11, 12 komplett entfallen und ein vollständiger Berührkontakt zwischen Metallfolie 3 und Substrat 4 eingestellt werden.

Bezugnehmend auf Fig. 8a ist eine hermetische Umhäusung 9 dargestellt, wobei ein erstes Substrat 4 mit einer Metallfolie 3 zunächst mittels der Laserfügelinie 6 gefügt ist. Die Funktionsfläche 2 ist vollflächig unterseits des Substrats 4 angeordnet, wobei die Laserfügelinie 3 den Funktionsbereich 2 durchbricht. Im Innenbereich 50 ist dennoch ein vollständig zusammenhängender Teil des Funktionsbereichs 2 angeordnet, welcher die Oberseite der Kavität 50 bildet. Beispielsweise kann hier eine LEDs umfassende Schicht 2 vorgesehen sein, beispielsweise zur Bildung der Darstellungsebene einer Smart Watch. An die Metallfolie 3 ist mittels herkömmlichem Metallschweißen eine Fügenaht 42 angesetzt, mittels welcher das Metallbauteil 44 angesetzt und fest und hermetisch mit der Anordnung 1 verbunden ist.

Fig. 8b zeigt eine weitere Ausführungsform einer Umhäusung 9, welche eine Kavität 50 hermetisch verschließt. Eine Anordnung 1 weist das Substrat 4 und die damit mittels der Laserfügelinie 6 gefügte Metallfolie 3 auf. Die Metallfolie 3 wiederum ist mittels der Fügenaht 42 mit dem Metallbauteil 44 nicht lösbar verbunden. Das Metallbauteil 44 fast die Anordnung 1 ein, sodass das Substrat 4 auch zu seinen Seiten hin geschützt und verbessert gehalten ist. Die Ecke 46 des Substratstapels wird somit von dem Metallbauteil 44 auch seitlich gehalten. Die Laserfügenaht 6 und die Fügenaht 42 können sich hierbei grundsätzlich überlappen und auch durchmischen, da in der gesamten Durchmischungszone 62, 64 (vgl. Fig. 1b) Metallmaterial vorhanden ist und somit eine Metallschweißung auch dort stattfinden kann. Somit ist direkt und mittels der Laserfügelinie 6 das Substrat 4 mit dem Metallbauteil 44 mittels eines herkömmlichen Fügeverfahrens verwendbar. Mit anderen Worten bildet sich ein durchgehender schmelzflüssiger Verbund von dem Substrat 4 über die Metallfolie 3 bis in das Metallbauteil 44.

Bezugnehmend auf die Fig. 9a bis 9h wird in Einzelschritten die Herstellung eines hermetischen Verbunds 1 bzw. einer Umhäusung 9 beschrieben. Mit einem in Fig. 9a gezeigten Schritt wird mittels Aufspritzens bzw. Sputterns die Funktionsschicht 2 auf die Innenseite 11 des Substrats 4 aufgebracht. Die Schicht 2 kann auch eine optisch aktive Schicht oder eine elektrische oder elektronische Eigenschaften aufweisende Schicht sein, beispielsweise lichtemittierende Dioden (LED) umfassen.

Mit Fig. 9b wird die Metallfolie 3 im Bereich der Kontaktebene 15 auf der Innenseite 11 des Substrats 4 angeordnet. In diesem Fall ist die Metallfolie 3 nur bereichsweise an dem Substrat 4 angeordnet, nämlich in einem außen umlaufenden Bereich. Der in Fig. 9c gezeigte

Schritt zeigt das Einbringen der Laserfügelinie 6 zum hermetischen Verbinden der Metallfolie 3 mit dem Substrat 4 mittels der fokussierten Laserstrahlung 82, der mit dem Lasergenerator 80 bereitgestellt wird. Beispielsweise wird die hermetische Anordnung 1 unterhalb des Lasergenerators 80 auf einem verfahrbaren Tisch gegenüber dem Lasergenerator 80 bewegt und somit eine Laserfügenaht im hermetischen Verbund 1 gebildet.

Mit Schritt dargestellt in Fig. 9d sind die fertigen Laserfügelinien 6 dargestellt, wobei nachbehandelte Kanten 74 geschaffen werden, beispielsweise mittels Kantenpolitur oder einem Phrässchritt. Ggf. kann mit dem in Fig. 9e gezeigten Schritt ein abrasives Polieren 72 der Außenseite des ersten Substrats 4 erfolgen oder es kann eine weitere Funktionsschicht 2a (Fig. 9e) auf der Außenseite des Substrats 4, wie beispielsweise eine Beschichtung oder optische Vergütung, aufgetragen werden.

Mit Fig. 9f ist die hermetische Anordnung um eine Funktionsschicht 52 ergänzt dargestellt, wobei die Funktionsschicht 52 beispielsweise LEDs aufweist.

Mit Bezug auf Fig. 9g ist das Anordnen der hermetischen Anordnung 1 auf einem Metallbauteil 44 gezeigt. In der sich bildenden Kavität 50 ist ein Beherbergungsobjekt 5 angeordnet. Das Beherbergungsobjekt 5 kann eine Stromquelle wie eine Batterie bzw. ein Akkumulator sein oder eine Recheneinrichtung oder elektronische Bauelemente etc. Die Metallfolie 3 ist benachbart angeordnet zu Auskragungen 45 des Metallbauteils 44, sodass die Metallfolie 3 jedenfalls teilweise im Berührkontakt mit den Auskragungen 45 ist. Hierdurch ist eine elektrische Leitung zwischen der Metallfolie 3 und dem Metallbauteil 44 gewährleistet, wodurch wiederum die Voraussetzung für das Durchführen eines Metallschweißprozesses gegeben ist.

Mit weiterem Bezug auf die Fig. 9h ist die eingebrachte Metallfügenaht 42 dargestellt, mittels welcher die hermetische Anordnung 1 mit dem Metallbauteil 44 nicht lösbar verbunden ist. Insgesamt ist die Kavität 50 nunmehr hermetisch von der Außenwelt abgeschnitten und somit hermetisch verschlossen.

Bezugnehmend auf Fig. 10 ist eine alternative Anordnung der Metallfolie 3 mit einem senkrechten Abschnitt 3a vorgestellt, wobei eine schmelzflüssige Verbindung in der Laserfügelinie 6 nicht nur in der horizontalen Ebene, sondern auch abschnittsweise im vertikalen Bereich eingebracht werden kann, wenn die fokussierte Laserstrahlung 82 nah genug im Randbereich des Substrats 4 eingebracht wird. Hierbei ist besonders vorteilhaft, dass ohne die Metallfolie 3, 3a derart nah im Randbereich des Substrats typischerweise nicht gearbeitet werden kann, da nicht genügend Substratmaterial 4 seitlich der Laserfügezone verbleibt, um ein

spannungsfreies bzw. sicheres Fügeergebnis erzielen zu können. Vielmehr würde ein Laser von der seitlichen Umrandung des Substrats 4 abgelenkt werden und nicht genügend Energie im Fokuspunkt ankommen, um eine Laserfügung 6 realisieren zu können. Durch das Abschatten bzw. umschließen der seitlichen Umrandung des Substrats 4 mit der Metallfolie 3, 3a kann jedoch die Laserfügenaht 6 deutlich weiter am Rand des Substrats 4 eingeschossen werden und somit insgesamt eine größere Fläche zwischen den Laserfügenähten 6 für den Zweckbereich verbleiben und zugleich der ggf. wenig attraktive äußere Rand außerhalb der Laserfügenaht 6 noch kleiner ausfallen. Insbesondere wiederum für Smart Watches kann diese Ausgestaltung sehr attraktiv sein. Sie kann ggf. auch eine modifizierte Metallfügenaht 42a noch kleiner gestaltet werden und somit ein unattraktiver Randbereich noch weiter verringert werden (vgl. Fig. 11 und 11a). Das Metallbauteil 44 kann in diesem Fall auch eine Einfassung bzw. Umfassung der hermetischen Anordnung 1 bereitstellen, indem auch eine seitliche Fügung mittels des herkömmlichen Fügeverfahrens in den seitlichen Randbereich hinein verlegt werden kann.

Die Fig. 11 und 11a zeigen entsprechende mögliche Anordnungen bzw. Ausgestaltungen, welche auch miteinander kombiniert werden können, um den Metallverbund zwischen Metallfolie 3, 3a und Metallbauteil 44 herzustellen und somit den Substrat-Metall-Verbund noch weiter zu verbessern.

Bezugnehmend auf Fig. 12 ist schließlich noch eine Ausführungsform der hermetischen Anordnung 1 dargestellt, wobei unterseits der Laserfügelinie 6 Erhebungen bzw. Schweißrippen 32 dargestellt sind, welche den elektrisch leitenden Verbund zum dort anzubringenden Metallbauteil 44 verbessern können, da diese einen sicheren Berührkontakt und damit eine sichere elektrisch leitfähige Verbindung herstellen und den folgenden Metallfügeschritt zur Einbringung der Metallfügelinie 42, 42a vereinfachen. Ggf. kann die Schweißrippe 32 übrigbleiben, wenn die Laserfügelinie eingesetzt wird, beispielsweise indem schmelzflüssiges Material die Schweißrippe von selbst ausbildet, oder aber indem die Metallfolie 3, 3a im Bereich der Laserfügelinie Falten ausgebildet hat, welche nach dem Laserfügeverfahren auf der Unterseite stehen bleiben. Ggf. kann die Metallfolie 3, 3a bereits so vorbereitet bzw. hergerichtet sein, an ihrer Unterseite Schweißrippen 32 von vornherein vorzusehen, sodass der spätere Schritt des Metallfügens vereinfacht wird.

Anstelle des Metallbauteils 44 kann auch ein Kunststoffbauteil (44a) angesetzt sein, wobei herkömmliche Verbindungsverfahren zwischen der Metallfolie 3, 3a und dem Kunststoffbauteil eingesetzt werden können, um die Umhäusung 9 zu bilden.

Es kann auch vorgesehen sein, anstelle des Metallbauteils 44 ein Bauteil aus Faserverbundwerkstoff einzusetzen, und dieses mit der Metallfolie 3 in herkömmlicher Weise zu verbinden. Weitere mögliche Materialien des anzusetzenden Bauteils können Teflon oder PEEK umfassen.

Durch den Einsatz einer Zwischenfolie, d. h. einer Metallfolie, kann somit eine Mehrzahl von Bauteilen, wie insbesondere bevorzugt dem Metallbauteil 44 oder aber auch einem Kunststoffbauteil 44a bzw. einem Bauteil aus Faserverbundwerkstoff, ein stoffschlüssiger Verbund zu dem Bauteil hergestellt werden.

Schließlich wird ergänzend angefügt, dass bei Einsatz nur einer Laserfügeline 6, 6a, 6b, 6c bzw. Heftpunkt die Breite W der Laserfügelinie etwa der Strahlbreite $2w_{Laser}$ an der Kontaktfläche 15 entspricht, die durch den Lasergenerator (vgl. Fig. 10) erzeugt wird. Bei N parallel angeordneten Laserfügelinien 6, 6a, 6b, 6c ist die Breite W der erzielten Laserfügelinie üblicherweise kleiner oder gleich N mal der Strahlbreite $2w_{Laser}$ an der Kontaktfläche 15, da beispielsweise eine Überlappung des Laserwirkbereiches angestrebt wird. H_m beschreibt die Höhe der Durchmischungszone 62, H_r die Höhe des wiedererstarrten Bereichs. Idealerweise ist H_m größer oder gleich H_r.

Fig. 13 zeigt einen Flansch 102, der beispielsweise zur Verbindung mit einem Reaktorgefäß eingerichtet ist. Für das Durchführen optischer Untersuchungen an in dem Reaktorgefäß aufgenommenen Medien ist vorgesehen, einen optischen Zugang zu ermöglichen und optische Messinstrumente wie ein Spektrometer anzubinden. Für die Verbindung mit einem Spektrometer oder einem Messkopf eines Spektrometers ist dabei ein Adapter 104 vorgesehen, der mit dem Flansch 102 verbunden ist, beispielsweise durch Schweißen. Für einen optischen Zugang ist eine Bohrung 103 in den Flansch 102 angeordnet, in die ein Faserstab 100 eingesetzt ist. Der Faserstab 100 dient dabei als Lichtleiter, um Licht in das Reaktorgefäß hineinzuleiten und wieder aus dem Reaktorgefäß herauszuführen. Für eine hermetisch dichte Verbindung zwischen dem Lichtleiter 100 und dem Flansch 102 ist vorgesehen, die Bauteile miteinander zu verschweißen.

Wie in dem vergrößerten Ausschnitt in der Figur 13 dargestellt, wird hierzu eine Metallfolie 6 im Bereich eines Endes des Faserstabs 100 aufgelegt und mittels Laserschweißunkten oder einer Laserbondlinie 6 mit dem Faserstab 100 als erstes Substrat 4 verbunden. Dabei weist die Metallfolie 3, wie in Figur 13 dargestellt, bevorzugt einen senkrechten Abschnitt 3a auf, der für eine Verbindung mit der Wandung der Bohrung 103 eingerichtet ist.

Anschließend wird der Faserstab 100 in die Bohrung 103 eingesetzt und über die am Faserstab 100 befestigte Metallfolie 3 mit dem Flansch 102, der ein Metallbauteil 44 darstellt, verbunden, beispielsweise durch Schweißen.

In den Figuren 14 und 15 ist jeweils eine hermetische Umhäusung 9 dargestellt, bei der ein Substratstapel 1 mit einem Kristallbauteil 106 verbunden ist. In der in den Figuren 14 und 15 dargestellten Ausführungsform ist der Substratstapel 1 aus dem ersten Substrat 4 und einem weiteren Substrat 4‘ gebildet. Das weitere Substrat 4’ bildet dabei einen Deckel oder einen Boden der Umhäusung 9 aus. Das erste Substrat 4 bildet Seitenwände der Umhäusung 9 aus. Zum Fügen des ersten Substrats 4 und dem Kristallbauteil 106 wird wie zuvor beschrieben eine Metallfolie 3 auf eine Stirnfläche des ersten Substrats 4 aufgelegt und hier beispielsweise über eine Laserbondlinie 6 verbunden. Anschließend kann das Kristallbauteil 106 auf den Substratstapel 1 aufgelegt werden oder umgekehrt der Substratstapel 1 auf das Kristallbauteil 106 platziert werden und über eine Schweißverbindung die Umhäusung 9 geschlossen werden.

Figur 15 zeigt, wie eine Vielzahl von Umhäusungen 9, wie bereits mit Bezug zu Figur 14 beschrieben, durch Verarbeiten von ganzen Wafern hergestellt werden können. Hierzu wird der Substratstapel 1 gebildet durch Verbinden eines als Spacer-Wafer ausgebildeten ersten Substrats 4 mit dem weiteren Substrat 4‘. Der Spacer-Wafer umfasst dabei für jede zu bildende Umhäusung 9 eine Ausnehmung bzw. Kavität. Sowohl das erste Substrat 4 als auch der Spacer-Wafer können dabei beispielsweise aus einem Halbmetall wie Silizium oder Germanium oder aus einem Glasmaterial bestehen und über ein Laser-Bonding Verfahren direkt, also ohne eine Metallfolie 3, miteinander hermetisch gefügt werden. Nachfolgend wird eine Metallfolie 3 mit Aussparungen für die einzelnen Ausnehmungen, welche später das Innere der Umhäusungen 9 bilden, auf den Substratstapel 1 aufgelegt und mittels einer Laserfügelinie 6 oder einzelnen Heftungspunkten verbunden. Im Anschluss werden, wie in der Figur 15 dargestellt, einzelne Scheibchen, die beispielsweise als Kristallbauteile 106 ausgeführt sind, aufgelegt und mit der Metallfolie 3 verschweißt. Es ist alternativ aber selbstverständlich möglich, einen ganzen Wafer als Kristallbauteil 106 aufzulegen und zu fügen. Es folgt ein Vereinzeln der gebildeten Umhäusungen 9 durch Trennen des Substratstapels 1 entlang der Dicing-Linien 108.

Somit konnte mit der vorliegenden Beschreibung in vollständiger und verständlicher Weise ein Verfahren gezeigt werden, wie zwei unterschiedliche Fügepartner mittels Laserfügeverfahren aneinander gefügt werden können, indem nämlich eine Metallfolie eingesetzt wird, welche verbleibende Luftspaltmaße noch besser kontrollieren lässt bzw. die

Berührkontaktfläche weiter vergrößert und damit die Qualität der Laserfügelinie 6, 6a, 6b, 6c erhöht. Auch der entsprechende hermetisch gefügte Verbund konnte ausführlich dargestellt und nachvollziehbar erläutert werden. In der vorliegenden Beschreibung sind eine Vielzahl an Beschreibungen umfasst, die ggf. im Widerspruch zum „herkömmlichen“ Wissen stehen oder überraschend gefunden werden konnten. Auch in dieser Hinsicht stellt die vorliegende Erfindung eine Weiterentwicklung der (zum Zeitpunkt der Anmeldung noch unveröffentlichten) Deutschen Patentanmeldungsschrift DE 10 2020 129 380.1 dar, auf welche hiermit vollumfänglich durch Referenz Bezug genommen wird und welche in ihrer Gesamtheit in die vorliegende Anmeldung inkorporiert ist.

Es ist im Fachmann ersichtlich, dass die vorstehend beschriebenen Ausführungsformen beispielhaft zu verstehen sind und die Erfindung nicht auf diese beschränkt ist, sondern in vielfältiger Weise variiert werden kann, ohne den Schutzbereich der Ansprüche zu verlassen. Ferner ist ersichtlich, dass die Merkmale unabhängig davon, ob sie in der Beschreibung, den Ansprüchen, den Figuren oder anderweitig offenbart sind, auch einzeln wesentliche Bestandteile der Erfindung definieren, selbst wenn sie zusammen mit anderen Merkmalen gemeinsam beschrieben sind. In allen Figuren bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche Merkmale, so dass Beschreibungen von Merkmalen, die gegebenenfalls nur in einer oder jedenfalls nicht hinsichtlich aller Figuren erwähnt sind, auch auf diese Figuren übertragen werden können, hinsichtlich welchen das Merkmal in der Beschreibung nicht beschrieben ist.

Bezugszeichenliste

1	Verbund bzw. Substratstapel
2, 2a	Funktionsbereich
3	Metallfolie
3a	dauerhafte Verformung der Metallfolie
4	erstes Substrat (z.B. Dielektrikum, z.B. Glas)
4‘	weiteres Substrat
5	Beherbergungsobjekt
6, 6a, 6b, 6c	Fügezone bzw. Laserbondlinie
9	Umhäusung
10	Fenster
11	Kontaktfläche oder Innenseite des ersten Substrats
12	Kontaktfläche oder Innenseite der Metallfolie
14	Unterseite der Metallfolie
15	Kontaktfläche zwischen den Fügepartnern
18	Kontaktfläche des Metallbauteils
32	Erhebung bzw. Schweißrippe
42	herkömmliche Fügelinie bzw. Metallfügelinie
44	Metallbauteil
44a	Kunststoffbauteil
45	Auskragung des Metallbauteils
46	Ecke des Substratstapels
50	Kavität bzw. Innenraum
52	Funktionselement, z.B. LED-Schicht
62	Schmelzzone bzw. Durchmischungszone
64	„Bubble“
70	Auftragsmittel, z.B. Sputterdüse
72	Abrasivmittel
74	Nachbehandelte Kante des ersten Substrats 4
80	Lasergenerator
82	Fokussierte Laserstrahlung

W	Breite der Laserfügelinie 6, 6a, 6b, 6c
100	Faserstab
102	Flansch
103	Bohrung
104	Adapter
106	Kristallbauteil
108	Dicing-Linie

Patentansprüche

1. Hermetisch verbundene Anordnung (1) umfassend:

ein erstes Substrat (4), welches zumindest bereichsweise und/oder zumindest teilweise für zumindest einen Wellenlängenbereich transparent ausgebildet ist,

eine Metallfolie (3),

wobei die Metallfolie mit einer Kontaktfläche (12) benachbart zu einer Kontaktfläche (11) des ersten Substrats angeordnet ist,

zumindest eine Laserfügelinie (6, 6a, 6b, 6c) oder eine Mehrzahl von Heftungspunkten zum direkten und unmittelbaren Fügen der Metallfolie mit dem ersten Substrat, an oder in den Kontaktflächen,

wobei die Laserfügelinie bzw. die Mehrzahl von Heftungspunkten einerseits in das erste Substrat und andererseits in die Metallfolie hineinreicht und direkt schmelzend miteinander fügt,

wobei die Metallfolie flexibel hergerichtet ist, um ein Anschmiegen der Metallfolie an die Kontaktfläche des ersten Substrats zu ermöglichen.

2. Hermetisch verbundene Anordnung (1) nach dem vorstehenden Anspruch,

wobei die Metallfolie (3) entlang eines äußeren Randbereichs des ersten Substrats (4) angeordnet ist, und/oder

wobei die Metallfolie (4) die Kontaktfläche (11) des ersten Substrats (4) teilweise oder bereichsweise abdeckt, und/oder

wobei mittels der Metallfolie (4) ein oder mehrere Kontaktpunkte auf der Kontaktfläche (11) des ersten Substrats (4) gebildet sind.

3. Hermetisch verbundene Anordnung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche,

wobei die Metallfolie (3) im Fügebereich, der die Laserfügelinie(n) (6, 6a, 6b, 6c) umfasst, nach Einbringung der Laserfügelinie(n) durch den Fügeprozess aufgrund der Haftung an dem ersten Substrat (4) keine Flexibilität aufweist, und/oder

wobei die Metallfolie (3) außerhalb des Fügebereichs, der die Laserfügelinie(n) (6, 6a, 6b, 6c) umfasst, auch nach Einbringung der Laserfügelinie(n) flexibel bleibt.

4. Hermetisch verbundene Anordnung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei in der Laserfügelinie (6, 6a, 6b, 6c) bzw. der Mehrzahl von Heftungspunkten eine Durchmischungszone (62, 64) vorhanden ist, in welcher Material der Metallfolie (3) und Material des ersten Substrats (4) eingemischt ist, und/oder

wobei in der Durchmischungszone (62, 64) Metallmaterial der Metallfolie (3) in das erste Substrat (4) eingetreten ist, und/oder

wobei in der Durchmischungszone (62, 64) Material des ersten Substrats (4) in die Metallfolie (3) eingetreten ist.

5. Hermetisch verbundene Anordnung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Durchmischungszone (62, 64) eine Höhe gemessen in einer Richtung senkrecht auf die Kontaktebene (15) aufweist, und

wobei die Durchmischungszone eine Höhe von bevorzugt mindestens 1 µm aufweist, bevorzugt 2 µm oder mehr, weiter bevorzugt 5 µm oder mehr, und/oder

wobei die Durchmischungszone mehr oder gleich 1 µm in das erste Substrat (4) hineinreicht.

6. Hermetisch verbundene Anordnung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Metallfolie (3) eine Dicke von 500 µm oder geringer aufweist, bevorzugt 250 µm oder geringer, weiter bevorzugt 100 µm oder geringer, weiter bevorzugt 50 µm oder geringer, und/oder

wobei die Metallfolie (3) eine Dicke von 10 µm oder mehr aufweist, bevorzugt 20 µm oder mehr, weiter bevorzugt 50 µm oder mehr.

7. Hermetisch verbundene Anordnung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei sich die Metallfolie (3) an Unebenheiten der Kontaktfläche (11) des ersten Substrats (4) anschmiegt, indem die Metallfolie durch Andrücken an das erste Substrat dauerhaft verformt ist.

8. Hermetisch verbundene Anordnung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Metallfolie (3) an einer der Kontaktfläche (12) gegenüberliegenden Unterseite

eine Schweißrippe (32) aufweist.

9. Hermetisch verbundene Anordnung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, ferner umfassend ein Metallbauteil (44), wobei das Metallbauteil nicht-lösbar mit der Metallfolie (3) verbunden ist, insbesondere gefügt ist, und/oder

ferner umfassend ein Kunststoff-Bauteil (44a), wobei das Kunststoff-Bauteil nicht-lösbar mit der Metallfolie (3) verbunden ist, insbesondere gefügt ist und/oder

ferner umfassend ein Kristallbauteil (106), wobei das Kristallbauteil (106) nicht lösbar mit der Metallfolie (3) verbunden, insbesondere gefügt ist.

10. Hermetisch verbundene Anordnung (1) nach dem vorstehenden Anspruch, wobei das Metallbauteil (44), das Kristallbauteil (106) oder das Kunststoff-Bauteil (44a) mit der Metallfolie (3) mittels herkömmlichem Fügeverfahren, das heißt unter Anwendung von Wärme und/oder Druck, mit oder ohne Schweißzusatzwerkstoffen, stoffschlüssig verbunden ist, insbesondere mittels Metallschmelzschweißens wie Lichtbogenschweißen.

11. Hermetisch verbundene Anordnung (1) nach einem der beiden vorstehenden Ansprüche, bei welcher die Metallfolie (3) einen senkrechten Abschnitt (3a) aufweist

und eine schmelzflüssige Verbindung in der Laserfügelinie (6) nicht nur in der horizontalen Ebene, sondern auch abschnittsweise in einem vertikalen Bereich eingebracht ist

oder

das Metallbauteil (44) eine Einfassung bzw. Umfassung der hermetischen Anordnung (1) bereitstellt, indem auch eine seitliche Fügung mittels eines herkömmlichen Fügeverfahrens in den seitlichen Randbereich hinein verlegt ist

12. Hermetisch verbundene Anordnung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Kontaktfläche (11) des ersten Substrats (4) zumindest einen Berührkontaktbereich aufweist, in welchem das erste Substrat in flächigem Berührkontakt mit der Metallfolie (3) steht,

wobei die Berührkontaktfläche insbesondere einen mittleren Abstand zwischen erstem

Substrat und Metallfolie von kleiner oder gleich 1 µm aufweist, bevorzugt kleiner oder gleich 0,5 µm, weiter bevorzugt kleiner oder gleich 0,2 µm, und/oder

wobei die Berührkontaktfläche insbesondere der Kontaktebene (15) entspricht.

13. Hermetisch verbundene Anordnung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche,

wobei die Metallfolie (3) aus Metallmaterial besteht, insbesondere eine Aluminiumfolie ist, und/oder

wobei die Metallfolie (3) Metall umfasst im Sinne der Definition des Periodensystems.

14. Hermetisch verbundene Anordnung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche,

wobei die Metallfolie (3) zumindest eines aus Molybdän, Wolfram, Silizium, Aluminium, Platin, Silber oder Gold umfasst oder daraus besteht, und/oder

wobei die Metallfolie (3) eine Legierung umfasst, insbesondere zumindest eines aus Kohlenstoff, Kupfer, Mangan, Chrom, Magnesium, Kobalt, Nickel, Zinn, Zink, Niob, Palladium, Rhenium, Indium, Tantal, Titan oder Iridium umfasst oder daraus besteht.

15. Hermetisch verbundene Anordnung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche,

wobei das erste Substrat (4) ein transparentes Substrat ist,

- wobei das erste Substrat (4) eine Faserplatte oder ein Faserstab ist und/oder

wobei das erste Substrat (4) zumindest eines der nachgenannten Materialien umfasst oder daraus besteht:

Glas, Glaskeramik, Silizium, Germanium, Saphir oder eine Kombination daraus,

keramisches Material, insbesondere oxidkeramisches Material,

- ein Kristall wie insbesondere kristalliner Quartz, Yttriumoxid (Y_2O_3), Zirkonoxid (ZrO_2), Aluminiumoxid (Al_2O_3), Yttrium-dotiertes Zirkoniumdioxid, Yttrium dotiertes Aluminiumoxid, Lanthan dotiertes Yttriumoxid, Aluminium dotiertes Aluminiumnitrid und Magnesium dotiertes Aluminiumoxid,

Quarzglas, Borosilikatglas, Alumnosilikatglas, eine Glaskeramik wie Zerodur, Ceran oder Robax, eine Optokeramik wie AluminiumOxid, Spinell, Pyrochlor oder AluminiumOxyNitrit, Calcium-Fluorid-Kristall oder Chalcogenid-Glas.

16. Hermetisch verschlossene Umhäusung (9), insbesondere mit einer hermetisch verbundenen Anordnung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, umfassend

ein erstes Substrat (4), welches zumindest bereichsweise und/oder zumindest teilweise für zumindest einen Wellenlängenbereich transparent ausgebildet ist,

eine Metallfolie (3),

wobei die Metallfolie mit einer Kontaktfläche (12) benachbart zu einer Kontaktfläche (11) des ersten Substrats angeordnet ist,

wobei die Metallfolie flexibel hergerichtet ist, um Unebenheiten der Kontaktfläche des ersten Substrats auszugleichen

zumindest ein Funktionsbereich (2, 2a),

zumindest eine Laserfügelinie (6, 6a, 6b, 6c) oder eine Mehrzahl von Heftungspunkten zum direkten und unmittelbaren Fügen der Metallfolie mit dem ersten Substrat, an oder in den Kontaktflächen, insbesondere um den Funktionsbereich herum zum hermetischen Abdichten des Funktionsbereichs,

wobei die Laserfügelinie bzw. die Mehrzahl von Heftungspunkten einerseits in das erste Substrat und andererseits in die Metallfolie hineinreicht und direkt schmelzend miteinander fügt.

17. Hermetisch verschlossene Umhäusung (9) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Funktionsbereich (2, 2a) eine optische Beschichtung des ersten Substrats ist (4), eine Schicht umfassend eine oder mehrere Licht Emittierende Dioden (LED), ein Polarisator oder eine hermetisch verschlossene Beherbergungskavität zur Aufnahme eines Beherbergungsobjekts, wie eines elektronischen Schaltkreises, eines Sensors oder MEMS.

18. Verfahren zur Herstellung eines hermetisch verschlossenen Verbunds (1) aus zumindest zwei Teilen, mit den Schritten:

Bereitstellen eines ersten Substrats (4) und einer Metallfolie (3),

Andrücken der Metallfolie an das erste Substrat, so dass zwischen der Metallfolie und dem ersten Substrat eine Kontaktebene (15) gebildet wird, an welcher die Metallfolie mit dem ersten Substrat zumindest teilweise oder bereichsweise in Berührkontakt steht,

wobei sich die Metallfolie durch das Andrücken an Unebenheiten der Kontaktfläche des ersten Substrats anschmiegt,

wobei das erste Substrat ein transparentes Material umfasst,

hermetisch dichtes Verbinden der Metallfolie und des ersten Substrats miteinander durch direktes Fügen miteinander im Bereich der zumindest einen Kontaktfläche, so dass sich eine Durchmischungszone (62, 64) herausbildet, die einerseits in das erste Substrat und andererseits in die Metallfolie hineinreicht und diese direkt schmelzend miteinander fügt.

19. Verfahren nach dem vorstehenden Anspruch, ferner mit dem Schritt

nach dem hermetisch dichten Verbinden Anordnen eines Metallbauteils (44) an den Verbund,

Fügen des Metallbauteils mit dem Verbund mittels Anwendung von Wärme und/oder Druck, mit oder ohne Schweißzusatzwerkstoffen.

20. Verfahren nach einem der beiden vorstehenden Ansprüche, bei welchem die Metallfolie (3) einen senkrechten Abschnitt (3a) aufweist

und eine schmelzflüssige Verbindung in der Laserfügelinie (6) nicht nur in der horizontalen Ebene, sondern auch abschnittsweise in einem vertikalen Bereich eingebracht wird

oder

das Metallbauteil (44) eine Einfassung bzw. Umfassung der hermetischen Anordnung (1) bereitstellt, indem auch eine seitliche Fügung mittels eines herkömmlichen Fügeverfahrens in den seitlichen Randbereich hinein verlegt wird.

21. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, ferner mit dem Schritt

Überprüfen des hermetischen Verbunds (1) mittels Ermittlung eines Abstandsprofils zwischen den zumindest zwei Fügepartnern (3, 4), und/oder

Ermittlung eines ersten Bond-Quality-Index Q_1 zur Überprüfung der mechanischen Festigkeit und/oder der Hermetizität des Verbunds (1).

22. Umhäusung (9) bzw. hermetisch verbundene Anordnung (1) hergestellt mit dem Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche.

Fig. 1

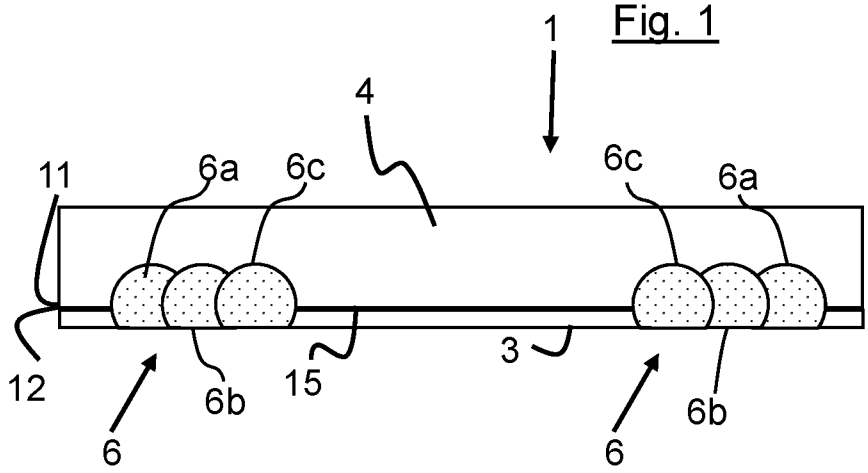


Fig. 1a

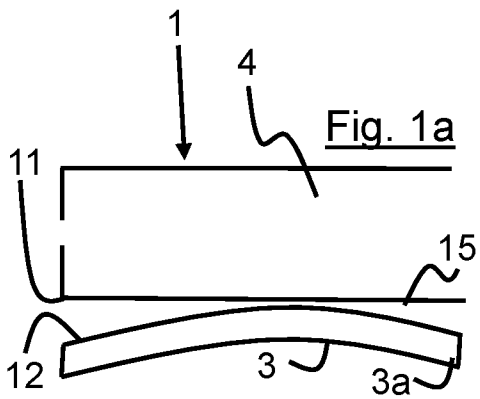


Fig. 1b

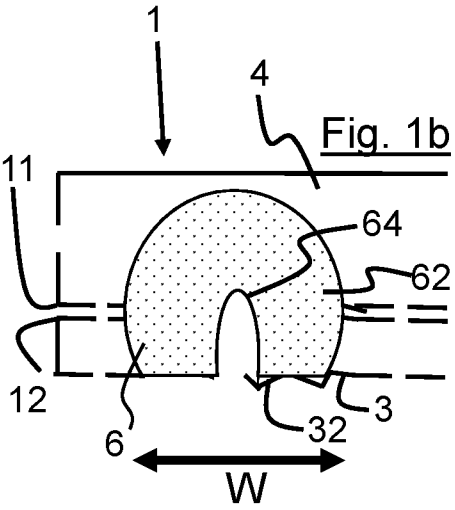


Fig. 2

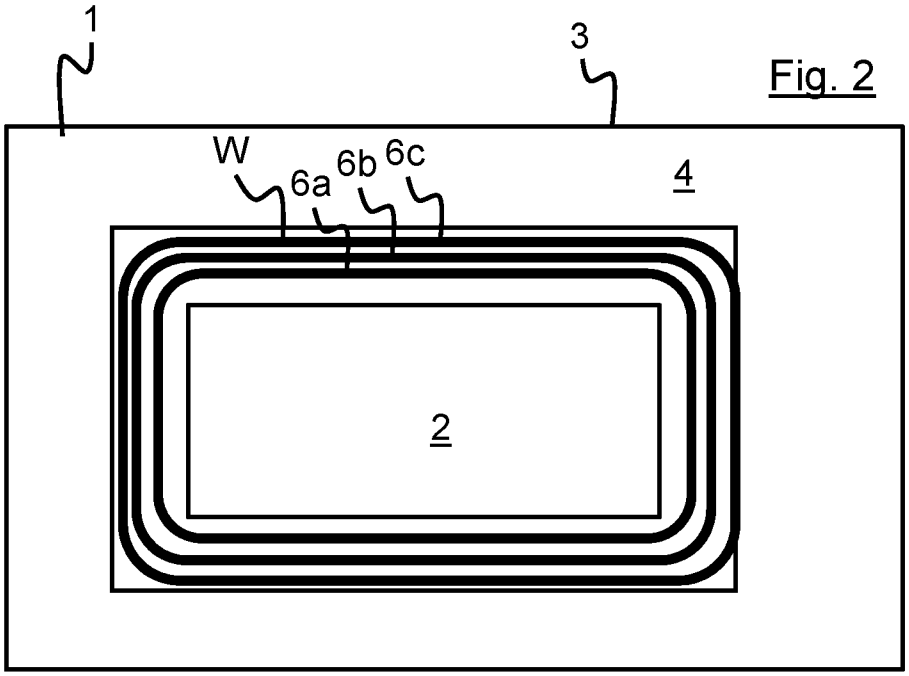


Fig. 3

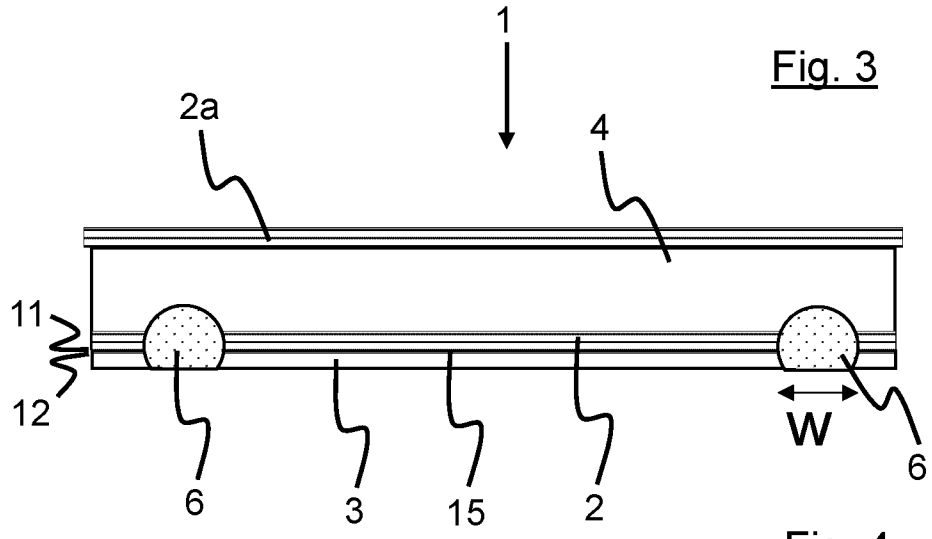


Fig. 4

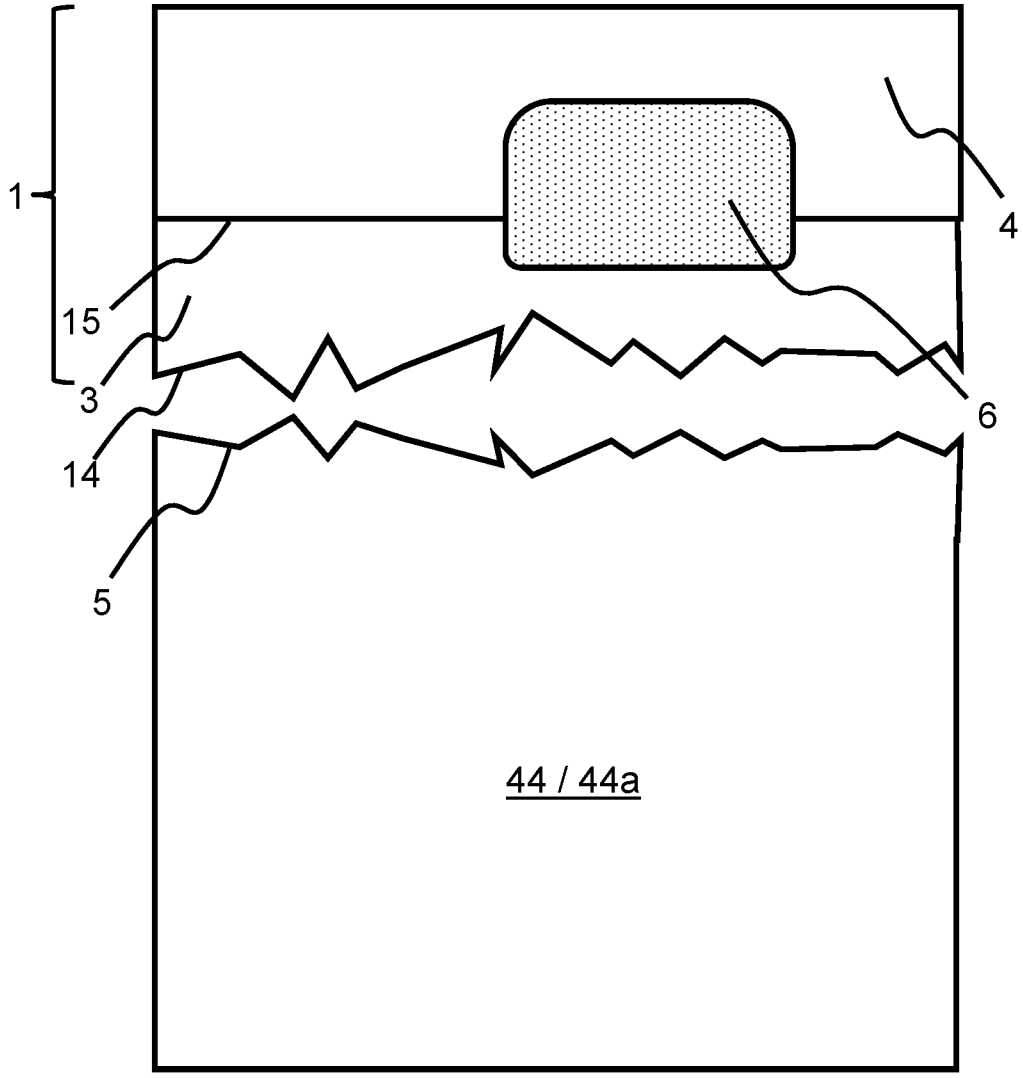


Fig. 5

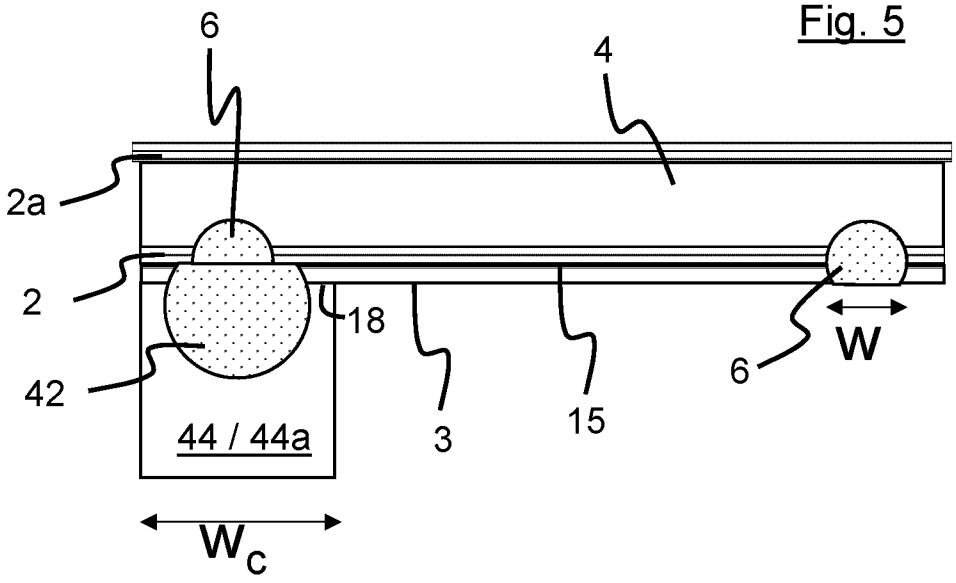


Fig. 6

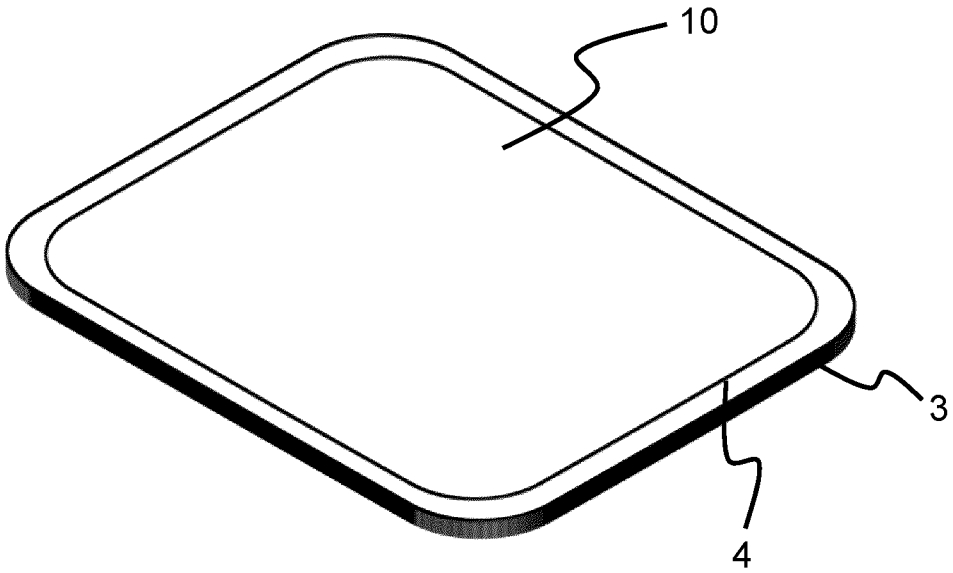


Fig. 7

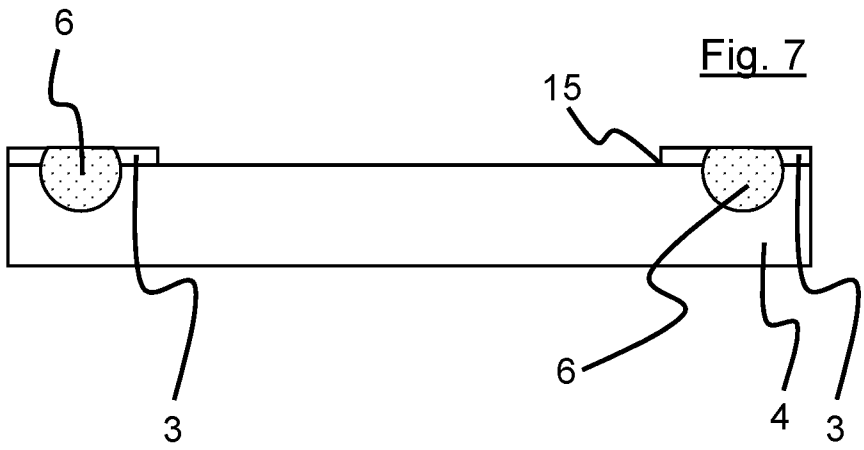


Fig. 8a

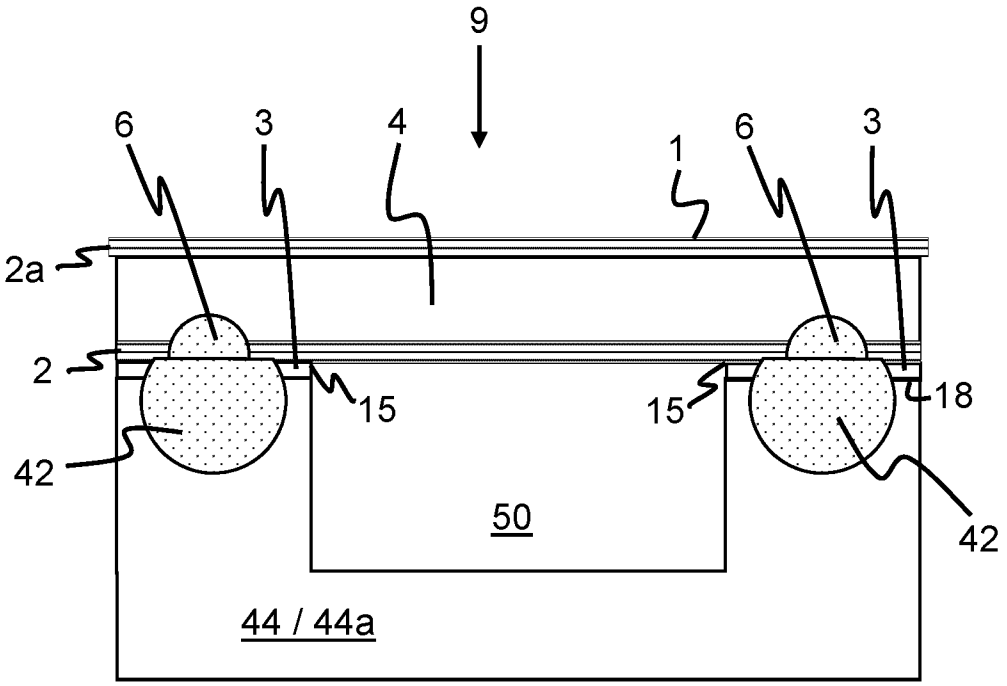

9
6
3
4
1
6
3
2a
2
15
15
18
42
42
50
44 / 44a

Fig. 8b

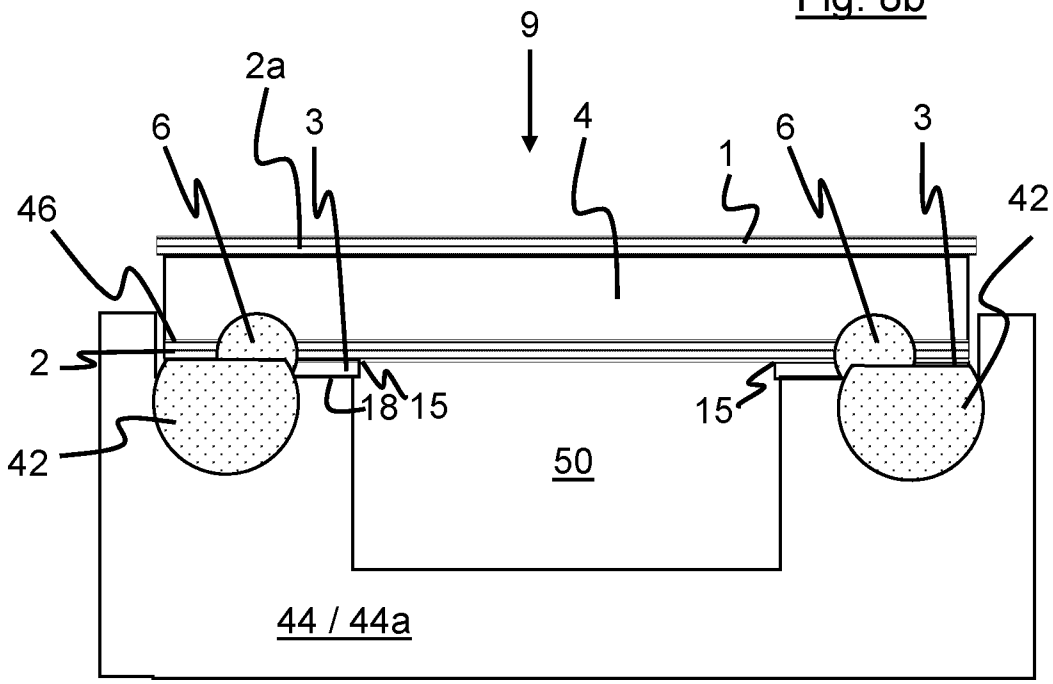

9
2a
6
3
4
1
6
3
42
46
2
18
15
15
42
50
44 / 44a

Fig. 9a

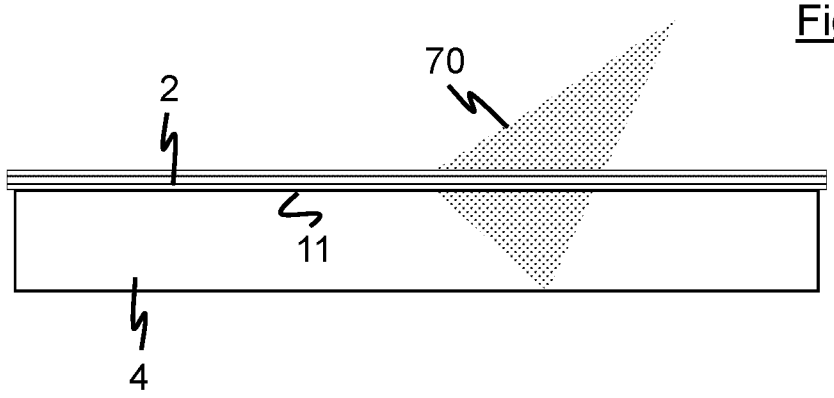


Fig. 9b

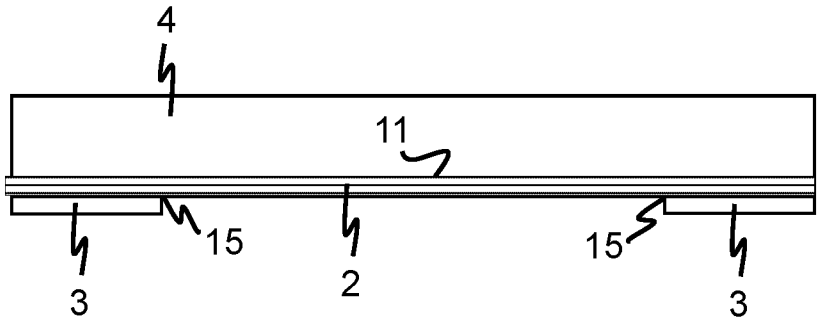


Fig. 9c

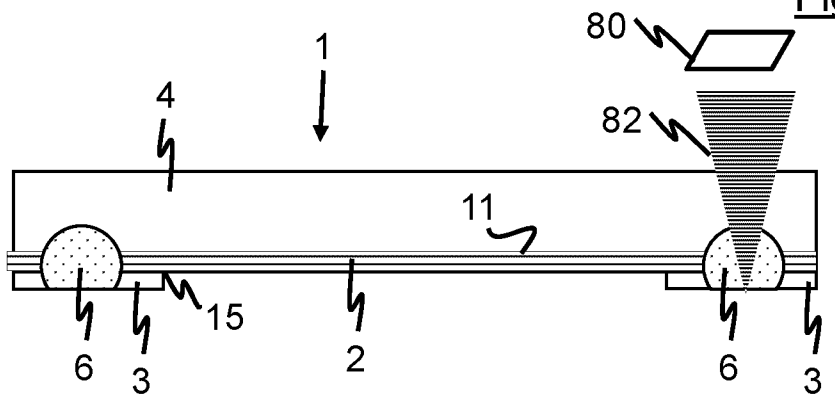


Fig. 9d

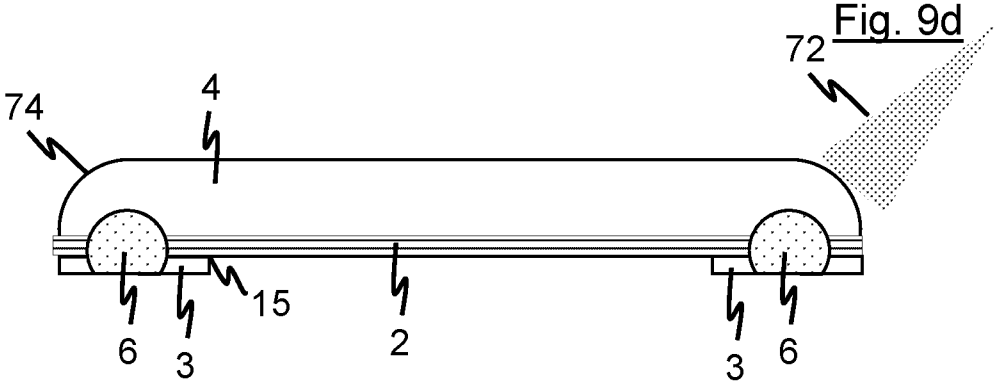


Fig. 9e

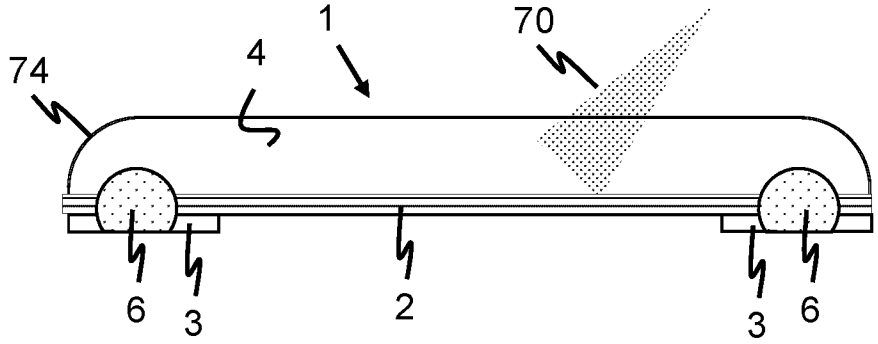


Fig. 9f

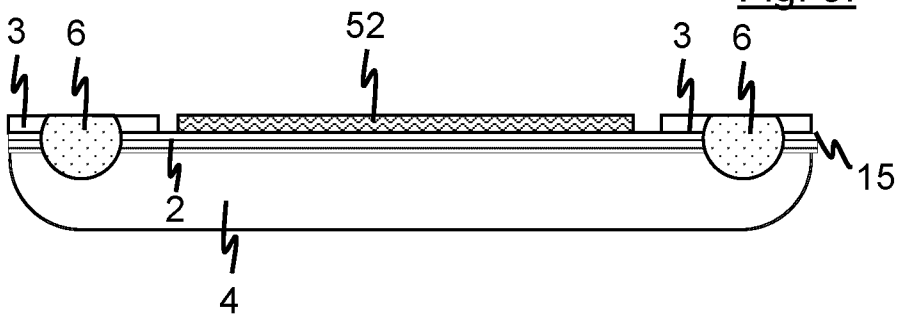


Fig. 9g

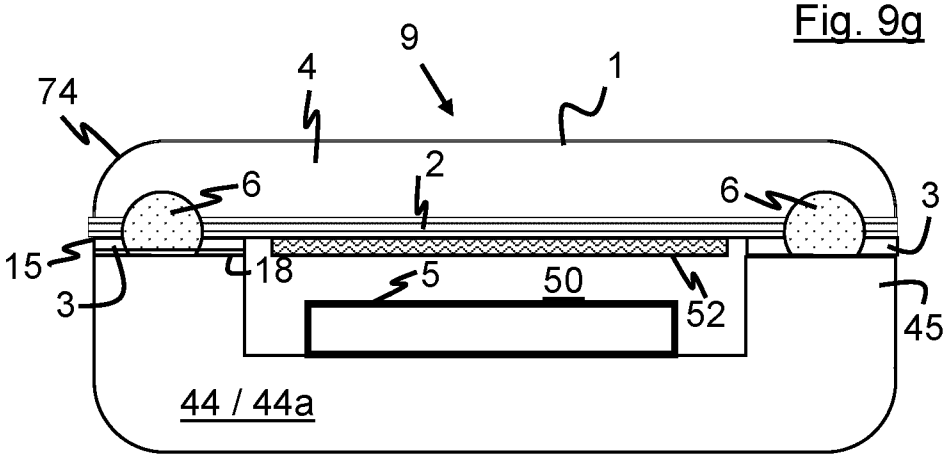


Fig. 9h

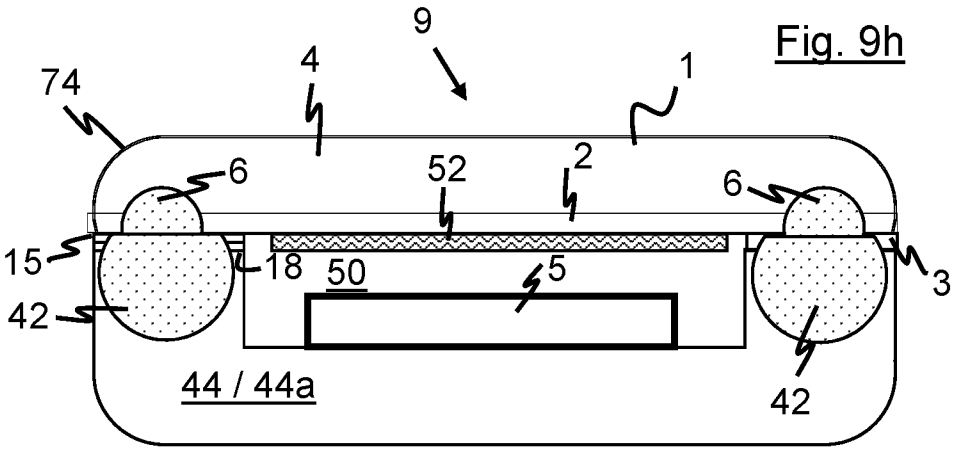


Fig. 10

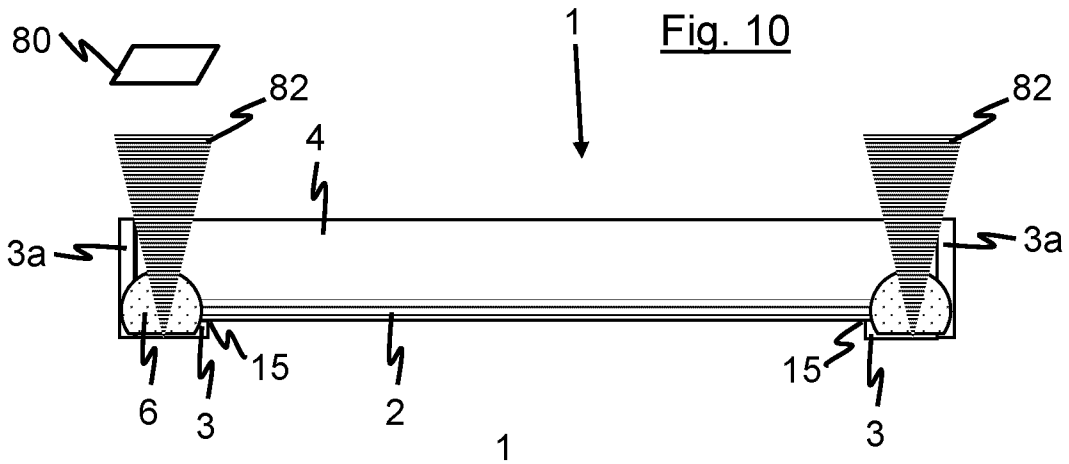


Fig. 11

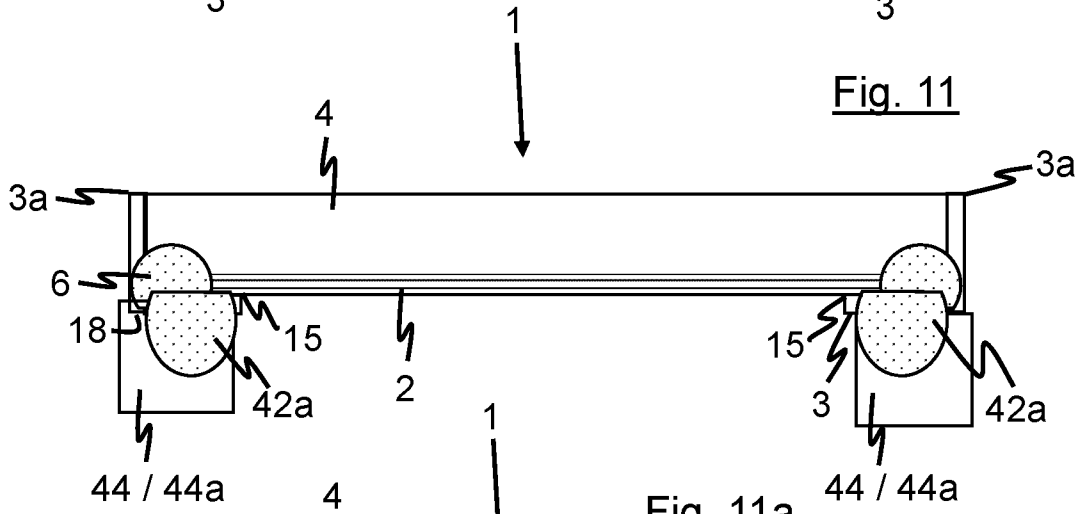


Fig. 11a

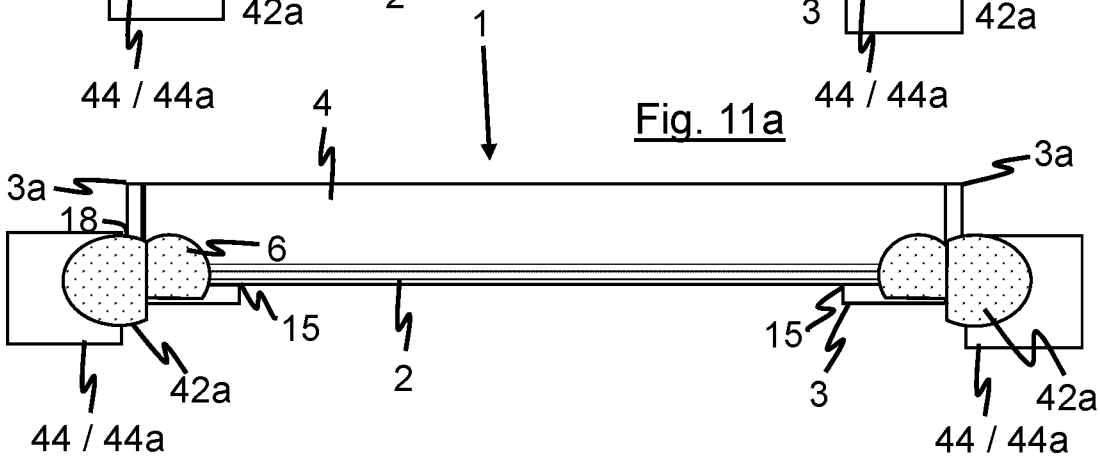


Fig.12

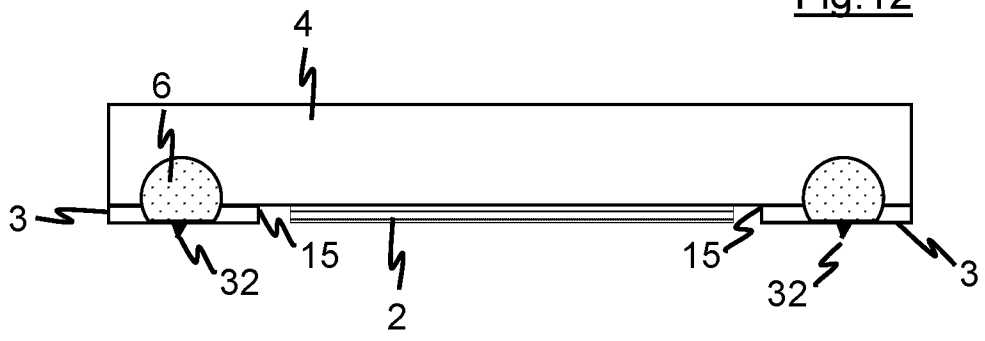


Fig. 13

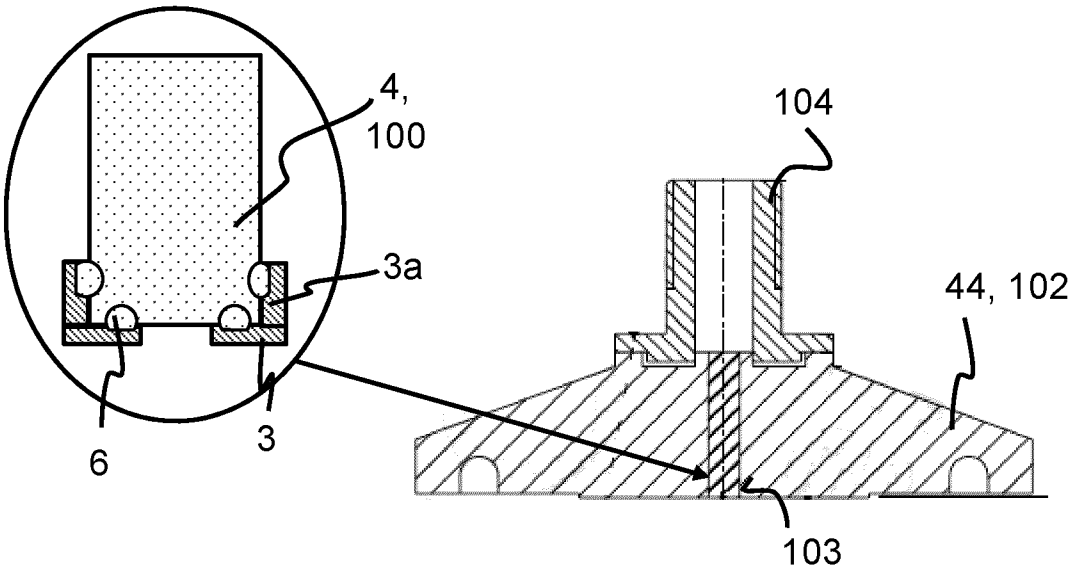


Fig. 14

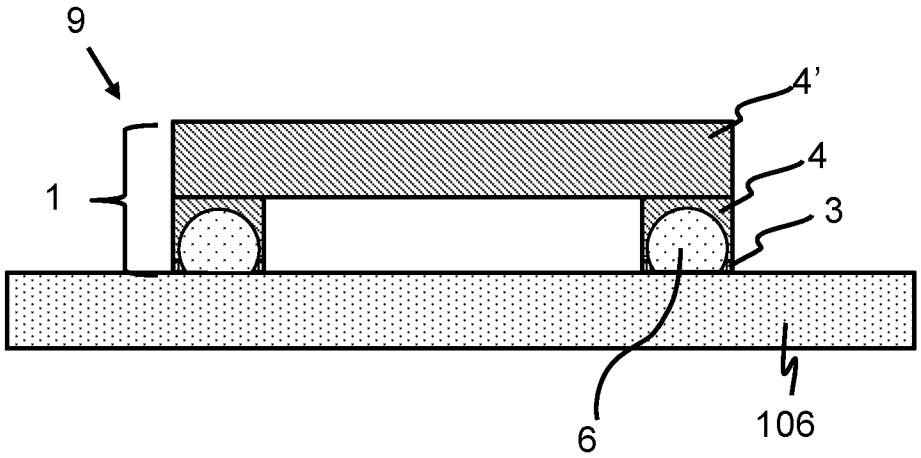
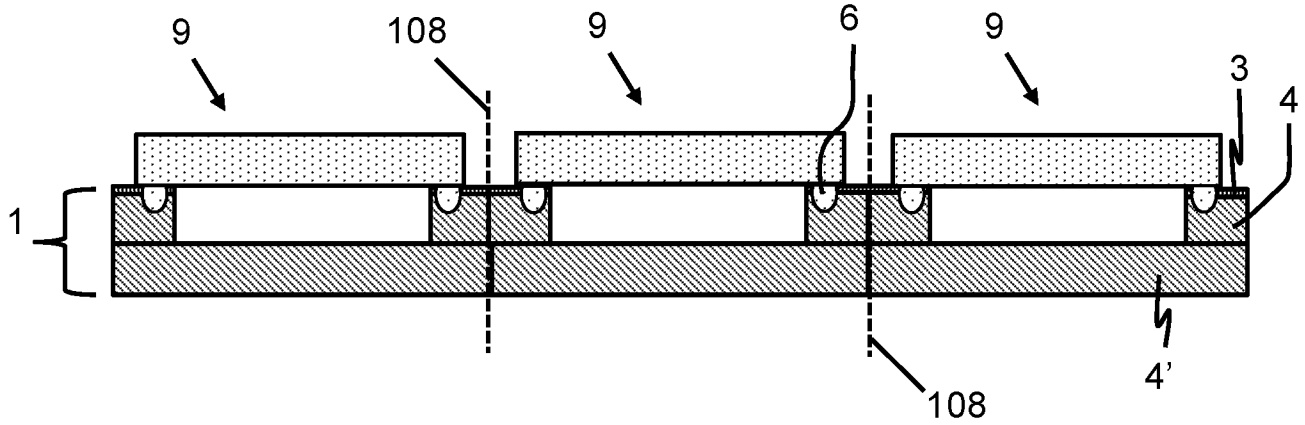


Fig. 15



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2022/081460

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B81C 1/00(2006.01)i

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)

B81C

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 practicable, 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.
X	MIN ZHANG ET AL. "A new sealing technology for ultra-thin glass to aluminum alloy by laser transmission welding method" *THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY, SPRINGER, LONDON,* Vol. 115, No. 7-8, 19 May 2021 (2021-05-19), pages 2017-2035, [retrieved on 2021-05-19] DOI: 10.1007/S00170-021-07226-9 ISSN: 0268-3768, XP037505489 figures 1,8,9.23	1,2,4-8,12,15,18
X	EP 3633431 A1 (INDIGO DIABETES NV) 08 April 2020 (2020-04-08) figures 2, 4	1-3,6-22

☐ 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 application or patent 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	Date of mailing of the international search report
17 February 2023	**06 March 2023**

Name and mailing address of the ISA/EP	Authorized officer
European Patent Office **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	**McGinley, Colm** Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2022/081460

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
EP 3633431 A1	08 April 2020	CN 112888980 A	01 June 2021
		EP 3633431 A1	08 April 2020
		EP 3861389 A1	11 August 2021
		US 2021382251 A1	09 December 2021
		WO 2020070329 A1	09 April 2020

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2022/081460

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B81C1/00
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
B81C

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.
X	MIN ZHANG ET AL: "A new sealing technology for ultra-thin glass to aluminum alloy by laser transmission welding method", THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY, SPRINGER, LONDON, Bd. 115, Nr. 7-8, 19. Mai 2021 (2021-05-19), Seiten 2017-2035, XP037505489, ISSN: 0268-3768, DOI: 10.1007/S00170-021-07226-9 [gefunden am 2021-05-19] Abbildungen 1,8,9,23 -----	1,2,4-8, 12,15,18
X	EP 3 633 431 A1 (INDIGO DIABETES NV) 8. April 2020 (2020-04-08) Abbildungen 2,4 -----	1-3,6-22

☐ 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" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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 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	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
17. Februar 2023	06/03/2023

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	McGinley, Colm

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2022/081460

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 3633431 A1	08-04-2020	CN 112888980 A	01-06-2021
		EP 3633431 A1	08-04-2020
		EP 3861389 A1	11-08-2021
		US 2021382251 A1	09-12-2021
		WO 2020070329 A1	09-04-2020