



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2023 111 589.8**
(22) Anmeldetag: **04.05.2023**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **01.08.2024**

(51) Int Cl.: **G02B 7/00 (2021.01)**
H01S 5/022 (2021.01)
H01S 5/024 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Ferdinand-Braun-Institut gGmbH, Leibniz- Institut
für Höchstfrequenztechnik, 12489 Berlin, DE**

(74) Vertreter:
**Gulde & Partner Patent- und
Rechtsanwaltskanzlei mbB, 10179 Berlin, DE**

(72) Erfinder:
**Zou, Dian, Dr., 04103 Leipzig, DE; Schiemangk,
Max, Dr., 12487 Berlin, DE; Tyborski, Christoph,
Dr., 12623 Berlin, DE; Hariharan, Sriram, 51103
Köln, DE; Müller, Norbert, Dr., 15569 Woltersdorf,
DE; Wicht, Andreas, Dr., 12459 Berlin, DE**

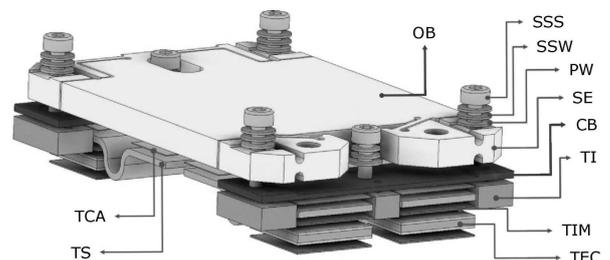
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2022 101 921	A1
US	6 771 437	B1
CN	1 15 799 973	A

(54) Bezeichnung: **Verspannungsarme optische Bank mit thermischer Entkopplung**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Anordnung optischer Komponenten in einem thermisch entkoppelten Gehäuse (LH), insbesondere eine verspannungsarm aufgehängte, thermisch von einem Lasergehäuse entkoppelte optische Bank (OB), welche für mobile und satellitenbasierte Anwendungen beispielsweise in der Quanteninformationstechnologie und der Quantensensorik geeignet ist.

Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Anordnung optischer Komponenten in einem Gehäuse (LH) umfasst ein Gehäuse (LH); eine optische Bank (OB), monolithisch ausgebildet aus einem steifen Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit und Streckgrenze; mindestens zwei in der Ebene der optischen Bank (OB) wirkende Federelemente (SE) an den Außenrändern der optischen Bank (OB), wobei ausschließlich über die Federelemente (SE) eine Befestigung der optischen Bank (OB) auf Sockelelementen (PE) des Gehäuses (LH) erfolgt und die optische Bank (OB) freitragend über die Sockelelemente (PE) im Gehäuse (LH) gehalten wird; Klemmschienen (CB) unterhalb der Federelemente (SE); Wärmeisolatoren (TI) unterhalb der Klemmschienen (CB), wobei die Klemmschienen (CB) zumindest abschnittsweise auf den thermischen Isolatoren (TI) aufliegen und die Klemmschienen (CB) durch diese stabil gegenüber den Sockelelementen (PE) des Gehäuses (LH) abgestützt werden können; und ein Wärmeleitband (TS).



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Anordnung optischer Komponenten in einem thermisch entkoppelten Gehäuse, insbesondere eine verspannungsarm aufgehängte, thermisch von einem Lasergehäuse entkoppelte mikrooptische Bank, welche für mobile und satellitenbasierte Anwendungen beispielsweise in der Quanteninformatik und der Quantensensorik geeignet ist.

Stand der Technik

[0002] Für eine Vielzahl von Anwendungen, zum Beispiel in der Quanteninformatik, der Quantensensorik, bei optischen Uhren und für die kohärente Satellitenkommunikation, werden Lasermodule benötigt, die eine ultrastabile Frequenzreferenz mit geringer Linienbreite realisieren und bereitstellen können. Für den Betrieb von Lasermodulen außerhalb der optischen Laboratorien, wie z. B. im Feldbetrieb für Anwendungen in der Quanteninformatik und insbesondere für den Einsatz auf einer Satellitenplattform, müssen die Lasermodule besonders hohe technische Anforderungen erfüllen. Die Lasermodule müssen u. a.:

- klein, leicht und kompakt sein,
- eine hohe intrinsische mechanische Stabilität aufweisen, insbesondere während des Starts zu einer Weltraummission,
- eine Temperaturkontrolle des opto-mechanischen Aufbaus ermöglichen, und
- eine sehr hohe thermische Stabilität des gesamten opto-mechanischen Aufbaus während des Betriebs gewährleisten können.

[0003] Da es im Stand der Technik bisher keine geeigneten Lasermodule gibt, die all diese technischen Anforderungen gleichzeitig erfüllen können, wird eine verspannungsarme (mikro)optische Bank benötigt, die thermisch von einem Gehäuse entkoppelt, zur Temperaturstabilisierung jedoch an eine dynamisch regelbare Umgebung angekoppelt ist.

[0004] Im Stand der Technik werden temperaturstabilisierte Gehäuselösungen für besonders kompakte (Dioden-)Lasermodule üblicherweise als Butterfly-Gehäuse ausgeführt (siehe z. B. Lyakh, Arkadiy, et al. „1.6 W high wall plug efficiency, continuous-wave room temperature quantum cascade laser emitting at 4.6 μm .“ Applied Physics Letters 92.11 (2008): 111110.). Diese verwenden meist einen elektro-thermischen Wandler (auch als Peltier-Element bezeichnet, engl. „thermo-electric cooler, TEC“), der sich innerhalb des Lasergehäuses befindet und zumeist den Laserchip und eine zugehörige Kollimationsoptik trägt. Der TEC weist im Allgemeinen ein oberes

Keramiksубstrat auf, welches als optische Bank (engl. „optical bench, OB“) angesehen werden kann und als Träger für alle aktiven und passiven optischen Komponenten des Laseraufbaus fungiert. Die Grundfläche der OB ist dabei jedoch auf die maximale Grundfläche des verwendeten TEC begrenzt, welche durch technische Beschränkungen nach oben limitiert ist. Im Stand der Technik wird typischerweise eine Linse zur Kollimation der Ausgangsfacetten des Laserchips verwendet, allerdings wird diese Linse üblicherweise nicht mit auf dem oberen Keramiksубstrat des TEC befestigt und wird daher auch nicht als Teil der OB und der Temperaturstabilisierung betrachtet.

[0005] Ein Nachteil solcher Butterfly-Gehäuse ist deren Größenbeschränkung. Die Grundfläche (Länge \times Breite) der OB ist auf die maximale Größe des verwendeten TEC limitiert. Als Grundfläche des TEC stehen in solchen Baugruppen typischerweise nur etwa 20 \times 20 mm² bis 25 \times 25 mm² zur Verfügung, um Beschädigungen während der Montage und des Betriebs aufgrund einer thermo-mechanischen Ausdehnung des oberen (gemeinhin als kalt bezeichneten) Keramiksубstrats gegenüber dem unteren (gemeinhin als heiß bezeichneten) Keramiksубstrat und des unteren (heißen) Keramiksубstrats gegenüber dem Gehäuse zu vermeiden. Weiterhin ist zu beachten, dass wenn das Gehäuse durch äußere Kräfte mechanisch verformt wird, sich dies unmittelbar auf die OB auswirken und eine Fehlausrichtung der optischen Komponenten verursachen kann.

[0006] DE 10 2022 101 921 A1 betrifft eine Halteanordnung mit einer Trägerplattform, an der wenigstens ein optisches Element fixiert ist, wobei die Halteanordnung eine verbesserte Strahlagenstabilität mit möglichst geringem Aufwand gewährleisten soll. In US 6,771,437 B1 werden optische Bankmontagen und Wärmemanagementtechniken offenbart, die eine erhöhte Stabilität ermöglichen sollen. CN 1 15 799 973 A zeigt eine Verpackungsstruktur zur Wärmeableitung für einen Halbleiterlaser.

[0007] Eine weitere temperaturstabilisierte Gehäuselösung für kompakte satellitentaugliche (Dioden-) Lasermodule ist beispielsweise in Kürbis et al. (Kürbis, Ch. et al. „Extended cavity diode laser master-oscillator-power-amplifier for operation of an iodine frequency reference on a sounding rocket.“ Applied Optics 59.2 (2020): 253-262.) offenbart (siehe Fig. 1). Es ist bekannt, dass die OB eines satellitentauglichen Lasermoduls mechanisch robust sein und einen möglichst niedrigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten haben sollte. Um eine thermo-mechanisch bedingte optische Fehlausrichtung zu vermeiden, wird auch in satellitentauglichen Lasersystemen typischerweise eine präzise Temperaturstabilisierung mittels eines TEC realisiert.

[0008] Bei dem in **Fig. 1** gezeigt Laseraufbau ist zur mechanischen Stabilisierung die OB aus Aluminiumnitrid gefertigt und mit einem Gehäuse (engl. „laser housing, LH“) aus Kovar ® unter Verwendung eines wärmeleitenden Klebstoffs (engl. „thermally conductive adhesive, TCA“) verklebt. Die OB ist somit fest mit dem LH verbunden. Alle elektrischen und optischen Komponenten und der Diodenlaserchip sind auf der Oberseite des Keramikkörpers der OB integriert. Das LH ist mit einer Montageplatte (engl. „mounting plate, MP“; nicht gezeigt) verschraubt, die zudem auch als Kühlkörper fungiert. Der Abstand zwischen dem LH und der MP wird über einen Modul-Abstandshalter (engl. „module spacer, MS“) festgelegt, der sowohl der mechanischen Positionierung (des LH auf die MP) als auch der thermischen Isolation (zwischen dem LH und der MP) dient. Zwischen dem LH und der MP ist (mittig unter dem LH) ein TEC angeordnet, dieser befindet sich somit außerhalb des LH. Zur Verbesserung der Wärmeleitung können thermisch leitfähige und flexible Wärmeleitpads (engl. „thermal interface material, TIM“) zwischen dem LH und dem TEC sowie zwischen dem TEC und der MP angeordnet werden. Der TEC dient der präzisen Temperaturregelung der OB, z. B. ermöglicht der TEC die Ableitung von Wärme und eine Temperaturstabilisierung der OB, falls sich die Temperatur des LH oder die Wärmebelastung der OB ändert.

[0009] Die Grundfläche der OB eines solchen Lasermoduls kann deutlich größer als bei einem Butterfly-Gehäuse sein, beispielsweise weist die in **Fig. 1** gezeigte OB eine Grundfläche von typischerweise etwa 30 × 80 mm² auf. Bei anderen Lasermodulen dieses Typs wurden auch OB mit einer Fläche von etwa 60 × 95 mm² realisiert. Allerdings wirkt es sich auch bei dieser Art von Gehäuselösung direkt auf die OB aus, wenn das LH durch äußere Kräfte mechanisch verformt wird. Dies kann zu einer Fehlausrichtung der optischen Komponenten führen. Außerdem wirkt sich eine Temperaturveränderung des LH auch unmittelbar auf die Temperatur der OB aus und verursacht eine Wärmeausdehnung, die zu einer Verschiebung der Laserfrequenz führen kann. Bei starken Temperaturschwankungen können zudem relativ große Scherspannungen an der OB auftreten, wenn die Wärmeausdehnungskoeffizienten des LH und der OB nicht übereinstimmen. Daher kann die OB gedehnt und verbogen werden und es kann wiederum zu einer optischen Fehlausrichtung kommen. Schließlich erfordert die Temperaturregelung der OB durch den TEC unterhalb des LH die Stabilisierung einer nicht zu vernachlässigenden thermischen Gesamtmasse durch das Materialvolumen des LH. Außerdem bietet der TEC nur eine geringe Regelbandbreite (langsame Temperaturregelung) aufgrund des relativ großen thermischen Widerstands des Regelkreises und des relativ gro-

ßen Wärmewiderstands entlang der Wärmestrombahn über TIM, TCA und LH.

Offenbarung der Erfindung

[0010] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine verspannungsarme optische Bank mit guter thermischer Ankopplung an die Umgebung bereitzustellen, welche die Nachteile des Standes der Technik vermeidet oder zumindest deutlich verringert. Insbesondere soll eine verspannungsarm aufgehängte, thermisch gut von einem Gehäuse entkoppelte mikrooptische Bank bereitgestellt werden, welche für mobile und satellitenbasierte Anwendungen beispielsweise in der Quanteninformationstechnologie und der Quantensensorik geeignet ist.

[0011] Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs gelöst. Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind in den zugehörigen abhängigen Ansprüchen enthalten. Die in den Patentansprüchen einzeln aufgeführten Merkmale sind in technologisch sinnvoller Weise miteinander kombinierbar und sind durch erläuternde Sachverhalte aus der Beschreibung und/oder Details aus den Figuren ergänzbar, wobei weitere Ausführungsvarianten der Erfindung aufgezeigt werden.

[0012] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Anordnung optischer Komponenten in einem Gehäuse umfasst ein Gehäuse; eine optische Bank, monolithisch ausgebildet aus einem steifen Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit und Streckgrenze; mindestens zwei in der Ebene der optischen Bank wirkende Federelemente an den Außenrändern der optischen Bank, wobei ausschließlich über die Federelemente eine Befestigung der optischen Bank auf Sockelelementen des Gehäuses erfolgt und die optische Bank freitragend über die Sockelelemente im Gehäuse gehalten wird; Klemmschienen unterhalb der Federelemente; Wärmeisolatoren unterhalb der Klemmschienen, wobei die Klemmschienen zumindest abschnittsweise auf den Wärmeisolatoren (auch als thermische Isolatoren bezeichnet) aufliegen und die Klemmschienen durch diese stabil gegenüber den Sockelelementen des Gehäuses abgestützt werden; und ein Wärmeleitband, wobei ein erstes Ende des Wärmeleitbandes an einem freitragenden Bereich der optischen Bank und ein zweites Ende des Wärmeleitbandes zwischen einem Sockelelement und einer Klemmschiene neben einem Wärmeisolator fixiert wird.

[0013] Bei dem Gehäuse kann es sich insbesondere um ein Lasergehäuse zur Aufnahme einer (Dioden-) Laseranordnung auf der optischen Bank handeln. Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf solche Anwendungen eingeschränkt und kann beispielsweise auch auf ein Detektorgehäuse zur Aufnahme

einer reinen Detektoranordnung auf der optischen Bank beziehen. Das Gehäuse kann beispielsweise aus Edelstahl, Kovar[®] oder Aluminium gefertigt sein.

[0014] Das Material der optischen Bank soll steif sein, d. h. ein möglichst hohes Elastizitätsmodul E aufweisen. Bevorzugt weist das Material ein Elastizitätsmodul E von über 70 GPa auf, bevorzugter von über 100 GPa, noch bevorzugter von über 200 GPa. Die Wärmeleitfähigkeit κ sollte ebenfalls möglichst hoch sein, bevorzugt sind Werte über 75 W/(m·K), bevorzugter über 150 W/(m·K), noch bevorzugter von über 200 W/(m·K). Die Streckgrenze R_e (engl. „yield strength“) bezeichnet diejenige mechanische Spannung, bis zu der ein Werkstoff elastisch verformbar ist. Insofern sollte auch dieser Wert möglichst hoch sein. Üblicherweise wird bei technischen Werkstoffen statt der Streckgrenze die genauer zu ermittelnde so genannte 0,2%-Dehngrenze (auch als Elastizitätsgrenze $R_{p0,2}$ bezeichnet) angegeben. Bevorzugte Werte für die 0,2%-Dehngrenze liegen über 200 MPa, bevorzugter über 300 MPa, noch bevorzugter über 500 MPa. Eine besonders hohe Streckgrenze (bzw. 0,2%-Dehngrenze) ist bevorzugt, da das Material der optischen Bank zur mechanischen Entkopplung der optischen Bank von der Umgebung genutzt werden kann und plastische Verformungen bei mechanischer Belastung unbedingt vermieden werden müssen. Bevorzugt handelt es sich bei der optischen Bank um eine mikrooptische Bank. Als mikrooptische Bänke werden im Rahmen dieser Anmeldung optische Bänke mit einer maximalen Fläche von bis zu etwa 10.000 mm² (z. B. eine optische Bank mit einer Fläche von 60 × 95 mm²) verstanden. Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf solche mikrooptischen Bänke eingeschränkt.

[0015] Die Federelemente an den Außenrändern der optischen Bank sollen insbesondere in der Ebene der optischen Bank wirken. Dadurch können unterschiedliche Ausdehnungen der optischen Bank und des Gehäuses ausgeglichen werden. Zusätzlich können die Federelemente jedoch auch eine senkrecht zur Ebene der optischen Bank wirkende Federkomponente aufweisen. Dies ermöglicht neben dem besagten Ausdehnungsausgleich auch einen Ausgleich einer eventuellen Verbiegung zwischen dem Gehäuse und der optischen Bank. Die Federelemente können somit zur Wirkung in unterschiedlichen Richtungen ausgebildet sein.

[0016] Die Sockelelemente des Gehäuses haben die Aufgabe, Auflage- und Abstützpunkte für eine freitragende Halterung der optischen Bank zu ermöglichen. Die Sockelelemente sollten dabei gegenüber einem Gehäuseboden eine ausreichende Höhe aufweisen, um sowohl die optische Bank als auch die vorzugsweise an der Unterseite angeordnete

ten Wärmeleitbänder vom Boden des Gehäuses fernzuhalten.

[0017] Die Erfindung löst das technische Problem der Montage der optischen Bank im Gehäuse, und zwar so, dass die mechanische und thermomechanische Beanspruchung und die Verformung von der optischen Bank ferngehalten werden und gleichzeitig eine gute thermische Entkopplung der optischen Bank mit dem Gehäuse ermöglicht wird.

[0018] Insbesondere kann die optische Bank auch von einer mechanischen Belastung durch die Umgebung entkoppelt werden. Mechanische Spannungen, die durch die mechanische Verformung des Lasergehäuses oder durch eine relative thermische Ausdehnung oder Kontraktion der optischen Bank und/oder des Gehäuses entstehen können, werden nicht auf die optische Bank übertragen, da die flexiblen und mechanische Spannungen führenden Festkörperstrukturen alle Spannungen und Verformungen aufnehmen können, die durch die Veränderung der Umgebung auftreten. Dadurch kann sich auch das Material des Gehäuses vom Material der optischen Bank unterscheiden.

[0019] Vorzugsweise handelt es sich bei den Federelementen um in einer Ebene mit der optischen Bank angeordnete Festkörpergelenkstrukturen. Die Festkörpergelenkstrukturen können dabei zur Wirkung in unterschiedlichen Richtungen ausgebildet sein. Bevorzugt können die Festkörpergelenkstrukturen in der Ebene der optischen Bank sowie senkrecht zu dieser Ebene wirken. Die Federelemente können dazu schmale Stege und verjüngte Bereiche umfassen, durch welche eine weitgehende mechanische Entkopplung zwischen der freitragenden optischen Bank und den mit den Sockelelementen des Gehäuses fest verbundenen Abschnitten der einzelnen Federelemente realisiert werden kann. Insbesondere können über die Federelemente auftretende Spannungen zwischen dem Gehäuse und der optischen Bank aufgenommen werden, so dass sich diese nicht auf die optische Bank auswirken können.

[0020] Vorzugsweise sind die Federelemente monolithisch in dem Material der optischen Bank ausgebildet. Dies ermöglicht eine homogene Ausbildung der Strukturen und erhöht deren Zuverlässigkeit. Alternativ dazu können die Federelemente jedoch auch unabhängig von der optischen Bank aus dem gleichen oder einem anderen Material wie die optische Bank ausgebildet und mit dieser verbunden werden. Ein Verbinden kann beispielsweise durch Löten, Schweißen, Kleben, Schrauben oder einer Kombination daraus erfolgen.

[0021] Vorzugsweise ist die optische Bank aus einer Mo₇₀Cu₃₀-Legierung, Kovar[®] oder einem anderen metallischen oder keramischen Material gefertigt.

Dabei ist die Verwendung von Mo₇₀Cu₃₀-Legierung besonders bevorzugt, da das Material Mo₇₀Cu₃₀ die Eigenschaften hat, nicht magnetisch zu sein, einen niedrigen Gasgehalt aufweist, eine hohe Wärmeleitfähigkeit und einen niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten bietet, für Vakuumanwendungen geeignet und gut zu bearbeiten ist. Außerdem weist es einen Wärmeausdehnungskoeffizienten auf, der mit dem von GaAs (einem typischerweise verwendeten Material für Laserchips) weitgehend übereinstimmt. Eine Mo₇₀Cu₃₀-Legierung zur Ausbildung einer optischen Bank ist bisher im Stand der Technik nicht bekannt. Anstatt einer besonders bevorzugten Mo₇₀Cu₃₀-Legierung kann jedoch auch eine davon abweichende Mo_xCu_{100-x}-Legierung mit x zwischen 50 und 90, bevorzugter zwischen 60 und 80 verwendet werden. Bei einem geeigneten keramischen Material kann es sich beispielsweise um Aluminiumoxid oder Aluminiumnitrid handeln.

[0022] Vorzugsweise ist die optische Bank mit den Sockelelementen im Gehäuse über eine Schraubverbindung, eine Lötverbindung, eine Schweißverbindung, eine Klemmverbindung, eine Klebeverbindung oder eine Kombination daraus verbunden. Eine Schraubverbindung bietet neben einer einfachen Lösbarkeit der Verbindung den Vorteil einer besonderen Zuverlässigkeit und Einfachheit.

[0023] Vorzugsweise ist das erste Ende des Wärmeleitbands an der optischen Bank über eine Lötverbindung, eine Schweißverbindung, eine Klebeverbindung oder eine Klemmverbindung befestigt. Zur Verbesserung der Wärmeübertragung kann zwischen dem ersten Ende des Wärmeleitbands und der optischen Bank ein Wärmeleitpad angeordnet sein.

[0024] Vorzugsweise ist zwischen dem zweiten Ende des Wärmeleitbandes und dem Sockelelement ein elektro-thermischer Wandler angeordnet ist. Alternativ hierzu oder zusätzlich kann zwischen dem zweiten Ende des Wärmeleitbandes und dem Sockelelement auch ein Widerstandsheizer angeordnet sein. Der Widerstandsheizer kann beispielsweise in besonderes kalten Umgebungen (Arktis, Welt-raum) neben dem elektro-thermischen Wandler zusätzlich zur Erwärmung der optischen Bank genutzt werden und somit auch ohne eine schnelle Regelungsmöglichkeit durch einen elektro-thermischen Wandler einen „thermischen Offset“ zur Bereitstellung einer Grundwärme bereitstellen. Sollte eine schnelle Temperaturregelung hingegen nicht erforderlich sein, so können die Widerstandsheizer auch ohne zusätzliche elektro-thermische Wandler genutzt werden.

[0025] Vorzugsweise kontaktiert ein zwischen dem zweiten Ende des Wärmeleitbandes und dem Sockelelement angeordneter elektro-thermischer

Wandler oder Widerstandsheizer das zweite Ende des Wärmeleitbandes an dessen Ober- und/oder Unterseite direkt oder über ein Wärmeleitpad. Dabei kann eine Fixierung beispielsweise durch Löten, Schweißen, Kleben, Klemmen oder einer Kombination daraus erfolgen.

[0026] Eine erfindungsgemäße optische Bank bietet deutliche Vorteile gegenüber den im Stand der Technik bekannten Lösungen. Die erfindungsgemäße optische Bank kann mit Hilfe von Schrauben am Gehäuse befestigt werden. Die optische Bank kann als optische Komponenten beispielsweise Linsen, Spiegel, Polarisationsoptiken (Verzögerungsplatten, Polarisatoren), elektro-optische oder akusto-optische Modulatoren, Laserchips, Gaszellen und/oder diskrete Elektronik (Temperatursensoren, TEC, Fotodioden u. a.) tragen, um als Laser, Spektroskopieeinrichtung, Modul zur Strahlumschaltung, Strahlverteilung oder Strahlzusammenführung, zur Erzeugung von Laserimpulsen oder als eine Kombination daraus zu funktionieren.

[0027] Die Federelemente können dadurch bereitgestellt werden, dass einige Teile eines Materials zur Bereitstellung der optischen Bank herausgeschnitten werden, um flexible und belastungsfähige mechanische Strukturen (einschließlich Biegungen, Verjüngungen und Gelenke) bereitzustellen.

[0028] Die elektro-thermischen Wandler bzw. Widerstandsheizer, die Wärmeleitpads und die Wärmeisolatoren können vollständig im Inneren des Gehäuses untergebracht und zwischen der optischen Bank und dem Gehäuse angeordnet werden. Daher kann die Erwärmung oder Abkühlung der optischen Bank durch den Betrieb der elektro-thermischen Wandler bzw. der Widerstandsheizer gesteuert werden, und die optische Bank und das Gehäuse sind thermisch voneinander entkoppelt. Eine Temperaturänderung des Gehäuses wirkt sich somit nicht auf die Temperatur der optischen Bank aus, da die elektro-thermischen Wandler bzw. Widerstandsheizer, die Wärmeleitpads und die Wärmeisolatoren zwischen der optischen Bank und dem Lasergehäuse es ermöglichen, die Temperatur der optischen Bank unabhängig von der Temperatur des Gehäuses zu regeln.

[0029] Flexible Wärmeleitbänder können die Unterseite der optischen Bank mit den elektro-thermischen Wandlern bzw. Widerstandsheizern verbinden, um spezifische Pfade für die Wärmeübertragung zu schaffen. Die Wärmeleitbänder können mit einem Ende mittels eines wärmeleitenden Klebstoffs auf die optische Bank geklebt und mit dem anderen Ende an den elektro-thermischen Wandlern bzw. Widerstandsheizern befestigt werden. Die Wärmeleitbänder ermöglichen dabei den thermischen Kontakt zwischen der optischen Bank und den elektro-ther-

mischen Wandlern bzw. Widerstandheizern, ohne eine starke mechanische Kopplung zwischen der optischen Bank und den elektro-thermischen Wandlern bzw. Widerstandheizern herzustellen. Gegenüber dem Stand der Technik können die elektro-thermischen Wandlern bzw. Widerstandheizern deutlich näher an der optischen Bank angeordnet werden, wodurch der Wärmewiderstand zwischen dem Gehäuse und der optischen Bank geringer und eine verbesserte und beschleunigte Temperaturregulierung der optischen Bank ermöglicht werden.

[0030] Die vorliegende Erfindung ist gegenüber Vorrichtungen gemäß Stand der Technik zudem wesentlich robuster gegenüber Vibrationen, mechanischen Verformungen und Belastungen sowie gegenüber Temperaturschwankungen, da die optische Bank aufgrund der Federelemente nicht starr mit dem Gehäuse verbunden sowie durch die spezifische Ausführung der Wärmepfade thermisch vom Gehäuse entkoppelt ist.

[0031] Bei einigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können die Federelemente insbesondere derart ausgebildet sein, dass diese nicht in allen Richtungen flexibel sind und deren Anordnung und Eigenschaften so gewählt sind, dass die optische Bank eine definierte Position einnimmt. Die optische Bank soll dabei über die Federelemente allerdings nicht frei im Gehäuse „schwimmend“ gelagert werden, vielmehr sollen die Federelemente durch entsprechende Anpassung lediglich Verformungen des Gehäuses folgen und die dabei auftretenden mechanischen Kräfte und Spannungen aufnehmen können, ohne dass dadurch die optische Bank mit verformt wird.

[0032] Die vorliegende Erfindung kann beispielsweise verwendet werden als:

- ultrastabiler Uhrenlaser in einem optischen Atomuhrensystem,
- lokaler Oszillator für kohärente (Inter-)Satelliten-Kommunikation,
- Lasersystem für neutrale atom- oder ionenbasierte Quantenberechnungen, sowie
- Lasersystem für die atominterferometrische Trägheitsnavigation oder für die Gravitationsgradiometrie.

[0033] Die vorliegende Erfindung kann ferner zur Implementierung von photonischen Modulen und Systemen verwendet werden, die eine Laserstrahlkontrolle ermöglichen, z. B. zur Pulserzeugung, Strahlkombination und -verteilung und ähnlichem. Im Allgemeinen unterstützt die Erfindung die Miniaturisierung sowohl von photonischen als auch von elektrooptischen Lösungen.

[0034] Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den in den jeweiligen Unteransprüchen genannten Merkmalen.

[0035] Die verschiedenen in dieser Anmeldung genannten Ausführungsformen der Erfindung sind, sofern im Einzelfall nicht anders ausgeführt, mit Vorteil miteinander kombinierbar.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0036] Die Erfindung sowie das technische Umfeld werden nachfolgend anhand der beiliegenden Figuren näher erläutert. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Erfindung durch die angeführten Ausführungsbeispiele nicht beschränkt werden soll. Insbesondere ist es, soweit nicht explizit anders dargestellt, auch möglich, Teilaspekte der in den Figuren erläuterten Sachverhalte zu extrahieren und mit anderen Bestandteilen und Erkenntnissen aus der vorliegenden Beschreibung zu kombinieren. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Anordnung optischer Komponenten gemäß Stand der Technik;

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Anordnung optischer Komponenten; und

Fig. 3 eine schematische Darstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Anordnung optischer Komponenten nach **Fig. 2** im Querschnitt.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

[0037] **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Anordnung optischer Komponenten gemäß Stand der Technik. Bei der gezeigten Vorrichtung handelt es sich um ein Gehäuse für kompakte satellitentaugliche (Dioden-)Lasermodule nach Kürbis (Kürbis, Ch. et al. „Extended cavity diode laser master-oscillator-power-amplifier for operation of an iodine frequency reference on a sounding rocket.“ Applied Optics 59.2 (2020): 253-262.), bei dem zur mechanischen Stabilisierung die optische Bank OB aus Aluminiumnitrid gefertigt und mit einem Gehäuse LH aus Kovar® unter Verwendung eines wärmeleitenden Klebstoffs TCA verklebt ist. Die optische Bank OB ist somit fest mit dem Gehäuse LH verbunden. Alle elektrischen und optischen Komponenten und der Diodenlaserchip sind auf der Oberseite des Keramikkörpers der optischen Bank OB integriert.

[0038] Das Gehäuse LH ist mit einer Montageplatte (engl. „mounting plate, MP“; nicht gezeigt) verschraubt, die zudem auch als Kühlkörper fungiert. Der Abstand zwischen dem Gehäuse LH und der Montageplatte MP wird über einen Modul-Abstands-

halter (engl. „module spacer, MS“) festgelegt, der sowohl der mechanischen Positionierung (des Gehäuses LH auf die Montageplatte MP) als auch der thermischen Isolation (zwischen dem Gehäuse LH und der Montageplatte MP) dient. Zwischen dem Gehäuse LH und der Montageplatte MP ist (mittig unter dem Gehäuse LH) ein elektro-thermischer Wandler (Peltier-Element) TEC angeordnet, dieser befindet sich somit außerhalb des Gehäuses LH. Zur Verbesserung der Wärmeleitung können thermisch leitfähige und flexible Wärmeleitpads (engl. „thermal interface material, TIM“) zwischen dem Gehäuse LH und dem elektro-thermischen Wandler TEC sowie zwischen dem elektro-thermischen Wandler TEC und der Montageplatte MP angeordnet werden. Der elektro-thermische Wandler TEC dient der präzisen Temperaturregelung der optischen Bank OB, z. B. ermöglicht der elektro-thermische Wandler TEC die Ableitung von Wärme und eine Temperaturstabilisierung der optischen Bank OB, falls sich die Temperatur des Gehäuses LH oder die Wärmebelastung der optischen Bank OB ändert.

[0039] Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Anordnung optischer Komponenten. Die Vorrichtung umfasst ein Gehäuse LH (in der Darstellung nicht gezeigt); eine optische Bank OB, monolithisch ausgebildet aus einem steifen Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit und Streckgrenze; mindestens zwei in der Ebene der optischen Bank OB (d. h. gegen die Außenränder) wirkende Federelemente SE an den Außenrändern der optischen Bank OB, wobei ausschließlich über die Federelemente SE eine Befestigung der optischen Bank OB auf Sockelelementen PE des Gehäuses LH erfolgt und die optische Bank OB freitragend über die Sockelelemente PE im Gehäuse LH gehalten wird; Klemmschienen CB unterhalb der Federelemente SE; Wärmeisolatoren TI unterhalb der Klemmschienen CB, wobei die Klemmschienen CB zumindest abschnittsweise auf den Wärmeisolatoren TI aufliegen und die Klemmschienen CB durch diese stabil gegenüber den Sockelelementen PE des Gehäuses LH abgestützt werden, und ein Wärmeleitband TS, wobei ein erstes Ende des Wärmeleitbandes TS an einem freitragenden Bereich der optischen Bank OB und ein zweites Ende des Wärmeleitbandes TS zwischen einem Sockelelement PE und einer Klemmschiene CB neben einem Wärmeisolator TI fixiert wird.

[0040] Bei dem Gehäuse LH kann es sich insbesondere um ein Lasergehäuse zur Aufnahme einer (Dioden-)Laseranordnung auf der optischen Bank OB handeln. Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf solche Anwendungen eingeschränkt und kann sich beispielsweise auch auf ein Detektorgehäuse zur Aufnahme einer Detektoranordnung auf der optischen Bank OB beziehen.

[0041] Bei den Federelementen SE handelt es sich um in einer Ebene mit der optischen Bank OB angeordnete Festkörpergelenkstrukturen. Die Festkörpergelenkstrukturen können dabei zur Wirkung in unterschiedlichen Richtungen ausgebildet sein. Bevorzugt können die Festkörpergelenkstrukturen in der Ebene der optischen Bank OB sowie senkrecht zu dieser Ebene wirken. Die Federelemente SE können dazu wie eingezeichnet schmale Stege (Wirkung in der Ebene der optischen Bank OB) und verjüngte Bereiche (Wirkung senkrecht zur Ebene der optischen Bank OB) umfassen, durch welche eine weitgehende mechanische Entkopplung zwischen der freitragenden optischen Bank OB und den mit den Sockelelementen PE des Gehäuses LH fest verbundenen Abschnitten der einzelnen Federelemente SE realisiert wird. Insbesondere können über die Federelemente SE auftretenden Spannungen durch unterschiedlichen Ausdehnung oder eine Verbiegung zwischen dem Gehäuse LH und der optischen Bank OB aufgenommen werden, so dass sich diese nicht auf die optische Bank OB auswirken können. Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf die in der Darstellung nur beispielhaft gezeigten Festkörpergelenkstrukturen beschränkt.

[0042] In der Darstellung sind die Federelemente SE monolithisch in dem Material der optischen Bank OB ausgebildet. Die Federelemente SE können jedoch auch unabhängig von der optischen Bank OB aus dem gleichen oder einem anderen Material wie die optische Bank OB ausgebildet und mit dieser verbunden sein. Die optische Bank OB ist vorzugsweise aus einer Mo₇₀Cu₃₀-Legierung, Kovar® oder einem anderen metallischen oder keramischen Material gefertigt.

[0043] Die gezeigte optische Bank OB ist mit den Sockelelementen PE im Gehäuse LH über eine Schraubverbindung verbunden. Alternativ hierzu kann jedoch auch beispielsweise eine Lötverbindung, eine Schweißverbindung, eine Klemmverbindung, eine Klebeverbindung oder eine Kombination daraus eingesetzt werden. Das erste Ende des Wärmeleitbandes TS an der optischen Bank OB wird vorzugsweise über eine Lötverbindung, eine Klebeverbindung, eine Schweißverbindung oder eine Klemmverbindung befestigt.

[0044] Zwischen dem zweiten Ende des Wärmeleitbandes TS und dem Sockelelement PE ist ein elektro-thermischer Wandler (Peltier-Element) TEC angeordnet. Anstatt des elektro-thermischen Wandlers TEC oder zusätzlich dazu kann zwischen dem zweiten Ende des Wärmeleitbandes TS und dem Sockelelement PE auch ein Widerstandsheizer angeordnet werden. Ein zwischen dem zweiten Ende des Wärmeleitbandes TS und dem Sockelelement PE angeordneter elektro-thermischer Wandler TEC oder Widerstandsheizer kann das zweite Ende des

Wärmeleitbandes TS an dessen Ober- und/oder Unterseite direkt oder über ein Wärmeleitpad TIM kontaktieren.

[0045] Insbesondere umfasst die gezeigte Vorrichtung sechs Schrauben aus rostfreiem Stahl SSS zur Befestigung in einem Gehäuse LH mit zwei Sockelelementen PE (das Gehäuse ist in der Darstellung nicht gezeigt), zwölf Unterlegscheiben aus rostfreiem Stahl SSW, sechs PEEK-Unterlegscheiben PW aus Polyetheretherketon (PEEK), eine optische Bank OB, vier Federelemente SE, zwei Klemmschienen CB (je eine Klemmschiene CB als Auflage für zwei benachbarte Federelemente SE), sechs Wärmeisolatoren TI aus Polyetheretherketon (PEEK), wärmeleitenden Klebstoff TCA, vier Thermobänder TS, thermische Wärmeleitpads TIM und vier elektrothermischen Wandler TEC. Die Montage einer solchen beispielhaften bevorzugten Ausführungsform umfasst eine Kombination von Kleben, Pressen und Verschrauben zwischen der optischen Bank OB und dem Lasergehäuse LH.

[0046] Die optische Bank OB besteht vorzugsweise aus einem für diese Zwecke neuen Material aus (reinem) Molybdän und einer (sauerstofffreien) Kupferlegierung ($\text{Mo}_{70}\text{Cu}_{30}$). Alternativ kann zur Herstellung der optischen Bank OB auch ein keramisches Material wie z. B. Aluminiumnitrid oder ein anderes metallisches Material wie z. B. Kovar[®] verwendet werden. Das bei Kürbis et al. verwendete keramische Material (Aluminiumnitrid) ist für die beschriebene Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit Schraubverbindungen allerdings nicht geeignet, da es sich aufgrund seiner Festigkeit nicht für eine Verschraubung eignet. Eine $\text{Mo}_{70}\text{Cu}_{30}$ -Legierung zur Ausbildung einer optischen Bank ist bisher im Stand der Technik nicht bekannt. Anstatt einer besonders bevorzugten $\text{Mo}_{70}\text{Cu}_{30}$ -Legierung kann jedoch auch eine davon abweichende $\text{Mo}_x\text{Cu}_{100-x}$ -Legierung mit x zwischen 50 und 90, bevorzugter zwischen 60 und 80 verwendet werden.

[0047] In der gezeigten Ausführungsform sind jeweils an den Ecken der rechteckig ausgebildeten optischen Bank OB vier in der Ebene der optischen Bank OB (d. h. gegen die Außenränder) sowie senkrecht dazu (d. h. bezüglich einer Verbiegung nach oben oder unten) wirkende Federelemente SE an den Außenrändern der optischen Bank OB angeordnet. Die vier Federelemente SE enthalten jeweils ein Schraubenloch. In den Schraubenlöchern befinden sich vier Edelstahlschrauben SSS, mit denen die optische Bank OB fest mit einem Sockelelement PE des Gehäuses LH verbunden werden kann. Die optische Bank OB wird dabei jedoch nicht direkt an den Sockelelementen PE des Gehäuses LH befestigt sondern über zwei Klemmschienen CB (parallel an zwei sich gegenüberliegenden Rändern der optischen Bank angeordnet) und vier darunter angeord-

nete Wärmeisolatoren TI. Die Klemmschienen CB, die ebenfalls aus $\text{Mo}_{70}\text{Cu}_{30}$ oder einer anderen dem Material der optischen Bank OB entsprechenden Legierung bestehen können, dienen zum Festklemmen aller thermisch-mechanischen Komponenten, wie z. B. der Wärmeisolatoren TI, der Wärmeleitbänder TS, den Wärmeleitpads TIM und der elektrothermischen Wandler TEC. Jede Klemmleiste CB und jeder Wärmeisolator TI enthält ebenfalls entsprechend angeordnete Schraublöcher, um die Schraubverbindung zwischen einem Federelement SE und dem jeweils zugehörigen Sockelelement PE des Gehäuses LH zu ermöglichen.

[0048] Der mittlere Teil der optischen Bank OB, auf dem die optischen Komponenten angeordnet werden, ist im Inneren des Gehäuses LH an mechanischen Festkörpergelenkstrukturen aufgehängt und berührt nicht den Boden des Gehäuses LH. Die Festkörpergelenkstrukturen sind dabei so ausgerichtet und positioniert, dass sie eine isostatische Lagerung der optischen Bank OB relativ zum Gehäuse LH gewährleisten können. Die gezeigten flexiblen und mechanische Spannungen aufnehmenden Festkörpergelenkstrukturen können eine isostatische Lagerung insbesondere dann gewährleisten, wenn die Gelenke frei drehbar sind, sich frei in die vorgesehene Richtung biegen/verformen können und näherungsweise unendlich steif für jede andere Verformung sind. Mit Hilfe dieser isostatischen bzw. nahezu isostatischen Lagerung kann die Verformung der optischen Bank OB, die aus einer mechanischen Verformung des Gehäuses LH oder einer Verformung aufgrund einer thermischen bedingten Ausdehnung oder Kontraktion des Gehäuses LH oder der optischen Bank OB oder von beidem resultiert, im Vergleich zu bisherigen Lösungen im Stand der Technik deutlich reduziert werden.

[0049] Die Edelstahlschrauben SSS (einschließlich der Edelstahlunterlegscheiben SSW) haben keinen direkten Kontakt mit der Oberfläche der optischen Bank OB, sondern diese sind über dazwischen liegende PEEK-Unterlegscheiben PW thermisch entkoppelt. Die PEEK-Unterlegscheiben PW werden verwendet, um eine direkte Wärmeübertragung zwischen dem Gehäuse LH und der optischen Bank OB entlang der Edelstahlschrauben SSS und Edelstahlunterlegscheiben SSW zu reduzieren. Darüber hinaus bieten die PEEK-Unterlegscheiben SSW eine hohe mechanische Festigkeit. Durch die Verwendung von Wärmeisolatoren TI wird ein direkter Wärmefluss zwischen dem Gehäuse LH und den Federelementen SE über die Befestigungsbereiche der Edelstahlschrauben SSS vermieden, während gleichzeitig ein vertikaler Raum für den mittleren Teil der optischen Bank OB bereitgestellt wird, um den Kontakt mit dem Boden des Gehäuses LH zu verhindern.

[0050] Unter der optischen Bank OB sind vier Wärmeleitbänder TS angebracht. Von jedem der Wärmeleitbänder TS kann mit einem wärmeleitenden Klebstoff TCA ein erstes Ende an einem mittleren, unteren Teil der optischen Bank OB befestigt werden. Das zweite Ende kann ebenfalls mit einem wärmeleitenden Klebstoff TCA an einer Klemmschiene CB befestigt werden.

[0051] Vier elektro-thermische Wandler TEC sind unterhalb der zweiten Enden der Wärmeleitbänder TS angebracht und mit diesen über optional zwischenliegende Wärmeleitpads TIM an der Oberseite der TEC verbunden. Die Unterseite der elektro-thermischen Wandler TEC ist mit dem Boden des Gehäuses LH bzw. mit den darin angeordneten Sockelelementen PE verbunden, wobei eine Verbindung ebenfalls über optional zwischenliegende Wärmeleitpads TIM erfolgen kann. Die Wärmeleitbänder TS werden verwendet, um den Weg für die Wärmeübertragung von der optischen Bank OB zu den elektro-thermischen Wandlern TEC zu definieren, wobei über die Wärmeisolatoren TI ein thermischer Kurzschluss zwischen den mit den über die Federelementen SE abgestützten Rändern der optischen Bank OB und den entsprechenden Ecken des Gehäuses LH vermieden bzw. unterdrückt wird. Die Wärmeleitpads TIM werden vorzugsweise verwendet, um eine gute Wärmeleitfähigkeit zwischen den elektro-thermischen Wandlern TEC und dem Gehäuse LH sowie zwischen den elektro-thermischen Wandlern TEC und den Wärmeleitbändern TS zu gewährleisten.

[0052] Eine zusätzliche Kombination aus Modul-Abstandshalter MS und Montageplatte MP wie im Stand der Technik ist nicht erforderlich, da die elektro-thermischen Wandler TEC bei der gezeigten Ausführungsform der Erfindung innerhalb des Gehäuses LH angeordnet werden. Die Klemmschienen CB verteilen dabei die über die Edelstahlschrauben eingebrachten Kräfte gleichmäßig auf die Baugruppe bestehend aus den elektro-thermischen Wandlern TEC, den Wärmeleitbändern TS und den Wärmeleitpads TIM und fixieren diese fest zueinander im Bau-raum des Gehäuses LH.

[0053] Außerdem können wie in der Darstellung gezeigt über zusätzliche Schraublöcher in den Klemmschienen CB zwei zusätzliche Sätze von Edelstahlschrauben SSS und Edelstahlunterlegscheiben SSW, PEEK-Unterlegscheiben PW und Wärmeisolatoren in der Mitte der beiden Klemmschienen CB verwendet werden. Damit kann eine ungleichmäßige Kompression der Klemmschienen auf die darunter liegenden Komponenten vermieden werden, welche ein Verbiegen und eine große horizontale Verschiebung (bei Schock und Vibration) der TEC, Thermobänder TS und Wärmeisolatoren TIM verursachen kann.

[0054] Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Anordnung optischer Komponenten nach Fig. 2 im Querschnitt. Die einzelnen Bezugszeichen und deren jeweils zugeordnete Merkmale gelten entsprechend. Gleiche Bezugszeichen gehören zu den gleichen Merkmalen. Auf eine ausführliche Beschreibung der einzelnen gezeigten Merkmale wird daher verzichtet. Auf die Beschreibung zur Fig. 2 wird verwiesen. Es sind sowohl die freitragende Struktur der optischen Bank OB als auch die auf den jeweiligen Sockelelementen PE aufliegenden Federelemente SE an den jeweiligen Außenrändern der optischen Bank OB zu erkennen. Eine thermische Kopplung der optischen Bank OB mit der Umgebung bzw. dem Gehäuse LH erfolgt über Wärmeleitbänder TS.

Bezugszeichenliste

MS	Modul-Abstandshalter (engl. „module spacer“)
MP	Montageplatte (engl. „mounting plate“)
TIM	Wärmeleitpad (engl. „thermal interface material“)
TEC	elektro-thermischer Wandler / Peltier-Element (engl. „thermo-electric cooler“)
LH	(Laser-)Gehäuse (engl. „laser housing“)
TCA	wärmeleitender Klebstoff (engl. „thermally conductive adhesive“)
OB	optische Bank (engl. „optical bench“)
TS	Wärmeleitband (engl. „thermal strap“)
TI	Wärmeisolator (engl. „thermal isolator“)
CB	Klemmschiene (engl. „clamping bar“)
SSS	Edelstahlschraube (engl. „stainless-steel screw“)
SSW	Edelstahlunterlegscheibe (engl. „stainless-steel washer“)
PW	PEEK-Unterlegscheibe (engl. „PEEK washer“)
PE	Sockelelement (engl. „pedestal element“)
SE	Federelement (engl. „spring element“)

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Anordnung optischer Komponenten in einem Gehäuse (LH), umfassend: ein Gehäuse; eine optische Bank (OB), monolithisch ausgebildet aus einem steifen Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit und Streckgrenze; mindestens zwei in der Ebene der optischen Bank

(OB) wirkende Federelemente (SE) an den Außenrändern der optischen Bank (OB), wobei ausschließlich über die Federelemente (SE) eine Befestigung der optischen Bank (OB) auf Sockelelementen (PE) des Gehäuses (LH) erfolgt und die optische Bank (OB) freitragend über die Sockelelemente (PE) im Gehäuse (LH) gehalten wird; Klemmschienen (CB) unterhalb der Federelemente (SE); Wärmeisolatoren (TI) unterhalb der Klemmschienen (CB), wobei die Klemmschienen (CB) zumindest abschnittsweise auf den Wärmeisolatoren (TI) aufliegen und die Klemmschienen (CB) durch diese stabil gegenüber den Sockelelementen (PE) des Gehäuses (LH) abgestützt werden können; und ein Wärmeleitband (TS), wobei ein erstes Ende des Wärmeleitbandes (TS) an einem freitragenden Bereich der optischen Bank (OB) und ein zweites Ende des Wärmeleitbandes (TS) zwischen einem Sockelelement (PE) und einer Klemmschiene (CB) neben einem Wärmeisolator (TI) fixiert wird.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei es sich bei den Federelementen (SE) um in einer Ebene mit der optischen Bank (OB) angeordnete Festkörpergelenkstrukturen handelt.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Federelemente (SE) monolithisch in dem Material der optischen Bank (OB) ausgebildet sind.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Federelemente (SE) unabhängig von der optischen Bank (OB) aus dem gleichen oder einem anderen Material wie die optische Bank (OB) ausgebildet und mit dieser verbunden sind.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die optische Bank (OB) aus einer $\text{Mo}_{70}\text{Cu}_{30}$ -Legierung, Kovar[®] oder einem anderen metallischen oder keramischen Material gefertigt ist.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die optische Bank (OB) mit den Sockelelementen (PE) im Gehäuse (LH) über eine Schraubverbindung, eine Lötverbindung, eine Schweißverbindung, eine Klemmverbindung oder eine Klebeverbindung verbunden ist.

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das erste Ende des Wärmeleitbandes (TS) an der optischen Bank (OB) über eine Lötverbindung, eine Schweißverbindung, eine Klebeverbindung oder eine Klemmverbindung befestigt ist.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zwischen dem zweiten Ende des Wärmeleitbandes (TS) und dem Sockelelement

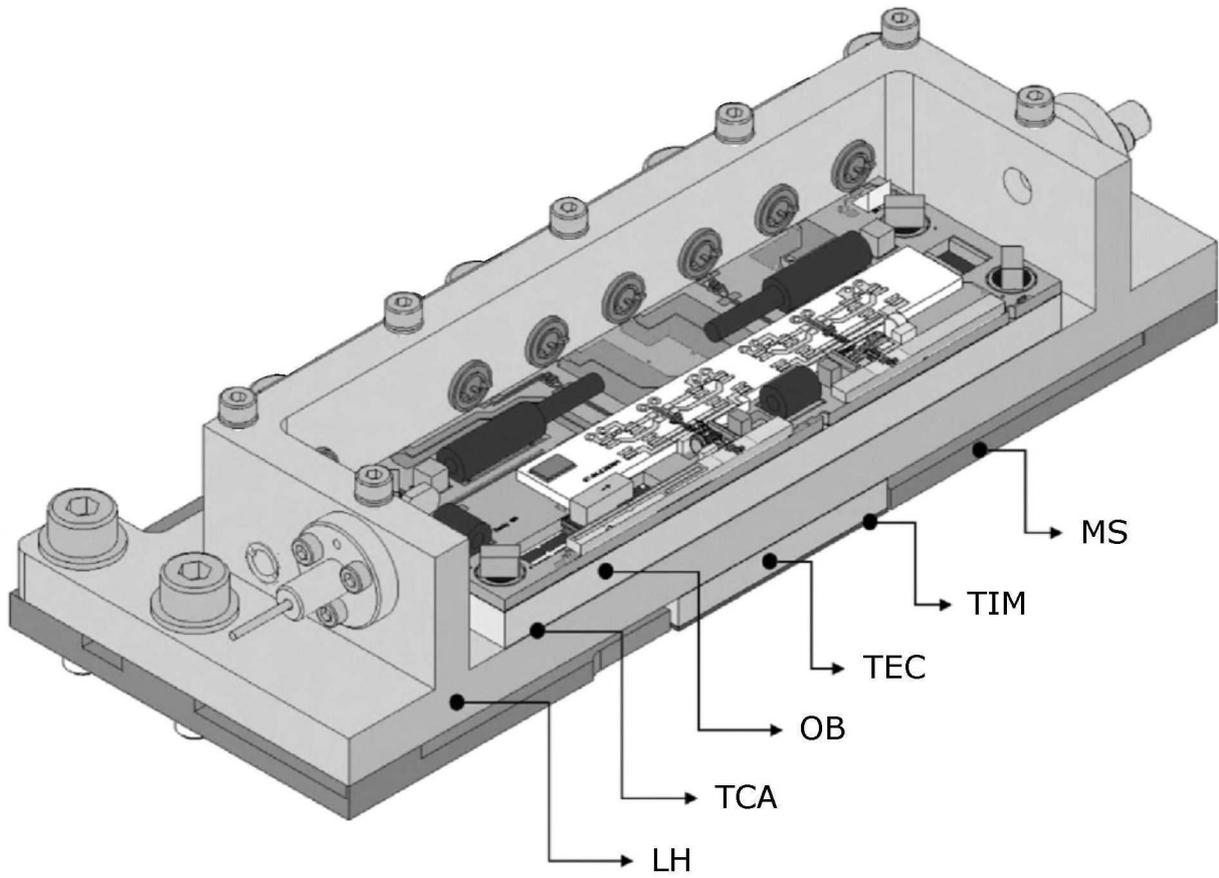
(PE) ein elektro-thermischer Wandler (TEC) angeordnet ist.

9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zwischen dem zweiten Ende des Wärmeleitbandes (TS) und dem Sockelelement (PE) ein Widerstandsheizer angeordnet ist.

10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein zwischen dem zweiten Ende des Wärmeleitbandes (TS) und dem Sockelelement (PE) angeordneter elektro-thermischer Wandler (TEC) oder Widerstandsheizer das zweite Ende des Wärmeleitbandes (TS) an dessen Ober- und/oder Unterseite direkt oder über ein Wärmeleitpad (TIM) kontaktiert.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



Stand der Technik

FIG. 1

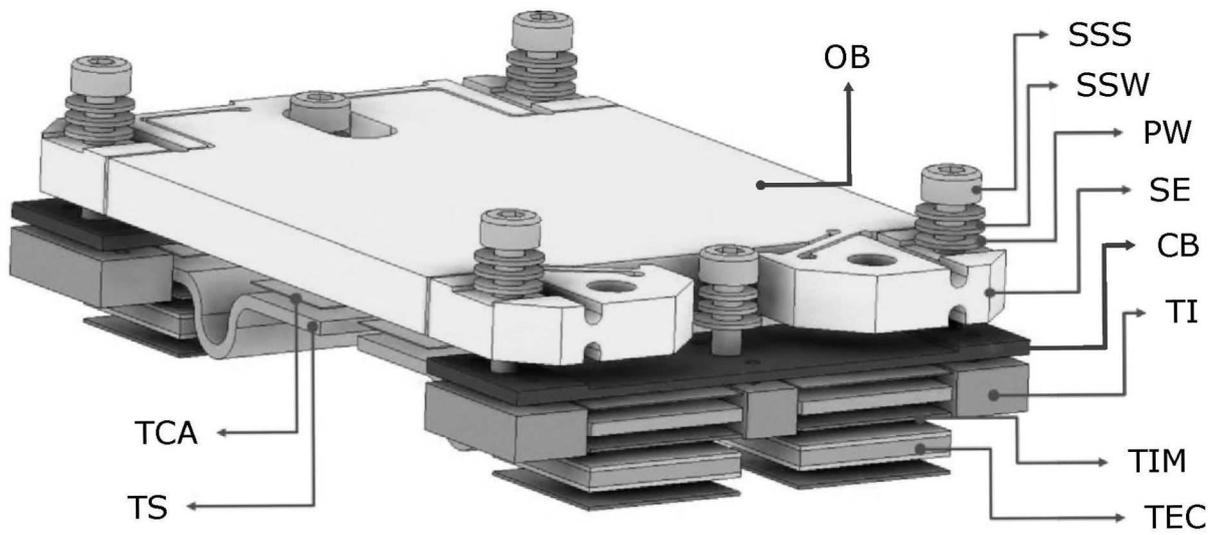


FIG. 2

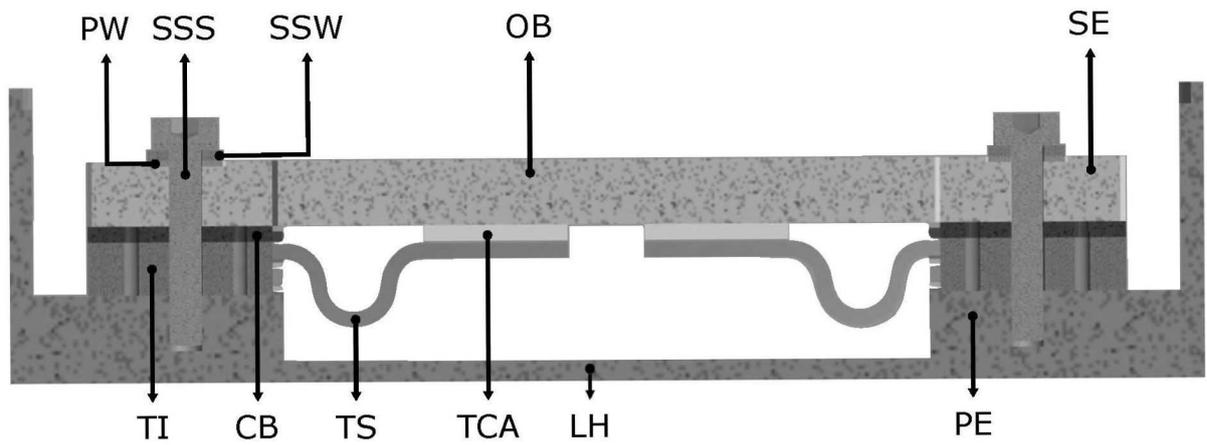


FIG. 3