

(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
12. Januar 2017 (12.01.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/006228 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G04B 17/06 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/IB2016/053970

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. Juli 2016 (01.07.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 110 796.1 3. Juli 2015 (03.07.2015) DE
10 2015 111 359.7 14. Juli 2015 (14.07.2015) DE
10 2015 111 605.7 17. Juli 2015 (17.07.2015) DE
10 2015 112 897.7
5. August 2015 (05.08.2015) DE

(71) Anmelder: **DAMASKO UHRENMANUFAKTUR KG**
[DE/DE]; Unterheising 6a, 93092 Barbing (DE).

(72) Erfinder: **MÄNNICKE, Stefan**; Grünthaler Straße 36,
93173 Wenzelnbach (DE).

(74) Anwalt: **REICHERT & LINDNER**; Bismarckplatz 8,
93047 Regensburg (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, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GU, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, 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, 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).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SPIRAL SPRING AND METHOD FOR PRODUCING SAME

(54) Bezeichnung : SPIRALFEDER UND VERFAHREN ZU DEREN HERSTELLUNG

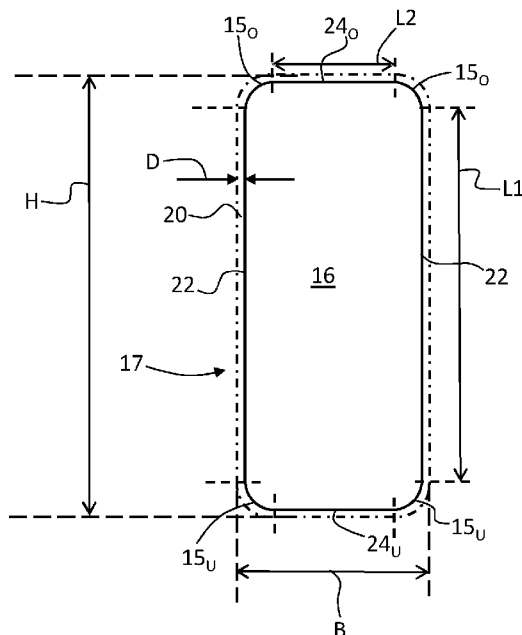


Fig. 5

(57) Abstract: The invention relates to a spiral spring (4) and to a method for producing the spiral spring (4). The spiral spring (4) has at least one winding (9), which consists of a solid core (16) composed of a silicon material (32). The core (16) comprises two long parallel and straight sides (22) and two short parallel and straight sides (24o, 24u). At least the opposite long sides (22) of the core (16) are covered by a SiO₂ layer (20). In the method, the windings (9) are etched from the silicon material such that the core (16) of the at least one winding (9) of the spiral spring (4) is formed and comprises two long parallel and straight sides (22) and two short parallel and straight sides (24o, 24u).

(57) Zusammenfassung: Es ist eine Spiralfeder (4) und ein Verfahren zur Herstellung der Spiralfeder (4) offenbart. Die Spiralfeder (4) besitzt mindestens eine Windung (9), die aus einem massiven Kern (16) aus einem Siliziummaterial (32) besteht. Der Kern (16) umfasst zwei lange, parallele und geradlinige Seiten (22) und zwei kurze parallele und geradlinige Seiten (24o, 24u). Zumindest die gegenüberliegenden langen Seiten (22) des Kerns (16) sind von einer SiO₂-Schicht (20) bedeckt. Bei dem Verfahren werden die Windungen (9) aus dem Siliziummaterial geätzt, so dass der Kern (16) der mindestens einen Windung (9) der Spiralfeder (4) ausgeformt wird und zwei lange, parallele und geradlinige Seiten (22) und zwei kurze parallele und geradlinige Seiten (24o, 24u) umfasst.



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)

Spiralfeder und Verfahren zu deren Herstellung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Spiralfeder mit mindestens einer Windung. Die Spiralfeder besteht aus einem massiven Kern aus einem Siliziummaterial. Der Kern umfasst zwei lange, parallele und geradlinige Seiten und zwei kurze parallele und geradlinige Seiten.

Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung einer Spiralfeder für mechanische Uhrwerke.

Ebenso betrifft die Erfindung ein mechanisches Uhrwerk, das die erfindungsgemäße Spiralfeder eingebaut hat.

Stand der Technik

Schwingsysteme für mechanische Uhrwerke, insbesondere für Armbanduhren, werden in der Fachwelt auch als Unruh bezeichnet. Die Unruh umfasst einen Schwingkörper, welcher mittels einer Unruhwelle schwenkbar um eine Drehachse gelagert ist. Ferner ist eine Spiral- bzw. Unruhfeder vorgesehen, die zusammen mit der Masse des Schwingkörpers das schwingungsfähige und taktgebende System bildet.

Bei der Herstellung der Spiralfedern sind Toleranzen nicht auszuschließen. Dies gilt in verstärktem Maße für Spiralfedern aus Silizium, die an ihren Oberflächen bzw. Außenflächen zur Erzielung der notwendigen Festigkeit und/oder Temperaturunabhängigkeit mit einer einheitlichen Beschichtung aus Siliziumdioxid versehen werden. In der Regel erfolgt diese Beschichtung durch thermische Oxidation.

Aus der EP 1 422 436 A1 ist ein Verfahren zum Herstellen von Spiralfedern für das Schwingssystem von mechanischen Uhren aus einkristallinem Silizium bekannt. Der Silizium-Kern der Spiralfeder ist dabei vollkommen mit Siliziumdioxid ummantelt.

Die europäische Patentanmeldung EP 2 284 628 A2 offenbart einen Resonator (Spiralfeder), der thermisch kompensiert ist und einen Kern aus monokristallinem

Silizium besitzt. Die thermische Oxidation der Spiralfeder ist gemäß einer Ausführungsform derart ausgebildet, dass mindestens eine Außenfläche des Schwingbereichs des Kerns mit einer Beschichtung versehen ist und mindestens eine andere Fläche mit keiner Beschichtung versehen ist. Gemäß einer weiteren
5 Ausführungsform ist der Schwingbereich des Kerns an mindestens zwei angrenzenden Außenflächen mit einer Beschichtung versehen, wobei sich diese Beschichtungen jeweils in deren Dicke unterscheiden.

Die europäische Patentanmeldung EP 2 589 568 A1 offenbart ein mikromechanisches Teil, das einen Kern aus einem Halbleitermaterial und einer Beschichtung aus einem
10 elektrisch-isolierenden Material, wie z.B. Diamant oder Siliziumdioxid, umfasst. Die Beschichtung ist auf einer Oberfläche des Kerns ausgebildet. Der Kern weist eine innere Schicht und eine äußere Schicht auf, wobei die elektrische Leitfähigkeit der Außenschicht größer als die der inneren Schicht ist.

Die schweizerische Patentanmeldung CH 699 780 A2 offenbart eine Feder, die aus
15 einem Siliziumstab mit einer Außenfläche besteht. Der Siliziumstab hat einen Elastizitätsmodul und einen Wärmeausdehnungskoeffizienten. Es ist ein Material vorgesehen, das teilweise den Wärmekoeffizienten kompensiert, wobei das Material Invar, Elinvar, Kovar oder Siliziumdioxid ist. Das Material ist in Form einer Abdeckung auf den Siliziumstab aufgebracht.

20 Die internationale Patentanmeldung WO 2011/7072960 A1 offenbart einen thermisch kompensierten Resonator. Der Körper des Resonators hat einen Kern aus Silizium-Material. Der Körper oder Kern trägt zumindest eine erste und eine zweite Beschichtung, die so ausgewählt sind, dass die Wärmeausdehnung im Wesentlichen null ist.

25 Das US-Patent US 8,562,206 offenbart eine Spiralfeder. In jeder Windung der Spiralfeder ist eine Vielzahl von Öffnungen vorgesehen, die sich durch die Spirale der Feder erstrecken.

Die internationale Patentanmeldung PCT/IB2015/054783 betrifft eine Spiralfeder und ein Verfahren zur Herstellung einer Spiralfeder. Die Spiralfeder ist mit einem Spiralfederbefestigungsabschnitt und einem daran anschließenden Schwingungsbereich versehen, der mindestens eine Windung besitzt. Der Kern der Spiralfeder ist aus Silizium. Mindestens zwei lange Seitenflächen des Kerns verbinden mindestens zwei kurze Seitenflächen miteinander. In mindestens einer oberen Seitenfläche und entlang einer Windung des Schwingungsbereichs ist mindestens eine Vertiefung in einem zweiten Teilbereich in der SiO₂ - Schicht ausgebildet, deren Tiefe zumindest bis auf den Kern aus Silizium reicht.

Die internationale Patentanmeldung WO 2014/203086 A1 offenbart ein Schwingensystem für mechanische Uhrwerke, eine Spiralfeder und ein Verfahren zur Herstellung einer Spiralfeder. Die Spiralfeder ist mit einem Spiralfederbefestigungsabschnitt, einem daran anschließenden Schwingungsbereich mit mindestens einer Windung und einem an den Schwingungsbereich anschließenden Stabilisierungsbereich versehen. Ein Kern aus Silizium besitzt über die Länge des Schwingungsbereichs vor dem thermischen Oxidieren im Wesentlichen einen konstanten Querschnitt. Nach dem thermischen Oxidieren weist die Spiralfeder im Schwingungsbereich mindestens einen ersten Teilbereich mit einer ersten Höhe und mindestens einen zweiten Teilbereich mit einer zweiten Höhe auf. Dabei ist die erste Höhe größer, als die zweite Höhe.

Darstellung der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist, eine Spiralfeder bereitzustellen, die ein dauerhaft ausgezeichnetes Schwingungsverhalten zeigt, verzugsfrei in der Ebene der Spiralfeder ist und eine Stabilität gegen Federbrüche besitzt. Hinzu kommt, dass die Spiralfeder auch reproduzierbar hinsichtlich des Schwingungsverhaltens ist, ohne dabei die erforderliche Temperaturkompensation zu vernachlässigen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Spiralfeder gemäß Patentanspruch 1 gelöst.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist, ein Verfahren zur Herstellung einer Spiralfeder für mechanische Uhrwerke bereitzustellen, das einfach und zuverlässig durchzuführen ist und woraus eine Spiralfeder mit einem dauerhaft ausgezeichneten Schwingungsverhalten resultiert, die ebenfalls die erforderliche
5 Temperaturkompensation aufweist und verzugsfrei in der Ebene der Spiralfeder ist und eine Stabilität gegen Federbrüche besitzt.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur Herstellung einer Spiralfeder für mechanische Uhrwerke gemäß Patentanspruch 10 gelöst.

Eine mögliche Ausführungsform der Spiralfeder ist, dass die mindestens eine
10 Windung der Spiralfeder mindestens eine Windung umfasst, die aus einem massiven Kern aus einem Siliziummaterial besteht. Der Kern hat zwei lange parallele und geradlinige Seiten und zwei kurze parallele und geradlinige Seiten. Zur Kompensation des thermischen Ausdehnungskoeffizienten sind zumindest die geradlinigen gegenüberliegenden langen Seiten des Kerns von einer Schicht zur Kompensation
15 des thermischen Ausdehnungskoeffizienten bedeckt. Vorzugsweise ist die Schicht eine SiO₂ - Schicht.

Eine weitere Ausgestaltungsmöglichkeit der Spiralfeder ist, dass die die obere kurze und geradlinige Seite und die beiden gegenüberliegenden langen Seiten von einer Schicht, vorzugsweise einer SiO₂ – Schicht, umschlossen sind.

20 Eine weitere mögliche Ausführungsform der Spiralfeder ist, dass diese mindestens eine Windung umfasst, die aus einem massiven Kern aus einem Siliziummaterial besteht. Der Kern selbst umfasst unter anderem im Wesentlichen zwei lange, parallele und geradlinige Seiten und zwei kurze, parallele und geradlinige Seiten. Dabei ist die obere, kurze und geradlinige Seite beidseits über jeweils einen stetig differenzierbaren
25 oberen Abschnitt mit den gegenüberliegenden langen Seiten verbunden. Die gegenüberliegenden langen und geradlinigen Seiten, die jeweils stetig differenzierbaren oberen Abschnitte, die die obere kurze und geradlinige Seite beidseits mit den gegenüberliegenden langen und geradlinigen Seiten verbinden, und die obere kurze und geradlinige Seite sind von einer SiO₂ - Schicht (20) bedeckt.

Auch die untere, kurze und geradlinige Seite ist beidseits über jeweils einen stetig differenzierbaren unteren Abschnitt mit den gegenüberliegenden, langen und geradlinigen Seiten verbunden. Der Kern ist zumindest an den gegenüberliegenden, langen und geradlinigen Seiten und zumindest teilweise an dem jeweiligen stetig differenzierbaren oberen Abschnitt und dem jeweiligen stetig differenzierbaren unteren Abschnitt von einer SiO_2 - Schicht bedeckt.

Die Spiralfeder könnte derart gestaltet sein, dass sich die beiden stetig differenzierbaren oberen Abschnitte von den stetig differenzierbaren unteren Abschnitten unterscheiden.

- 10 Gemäß einer möglichen Ausführungsform der Spiralfeder ist die kurze untere Seite und die kurze obere Seite mit einer SiO_2 - Schicht versehen, so dass der Kern von einer SiO_2 - Schicht umgeben ist. Die Dicke und/oder Form der SiO_2 - Schicht unterscheiden sich dabei an der unteren kurzen Seite und der oberen kurzen Seite. Die Dicke der SiO_2 -Schicht kann zwischen $2\mu\text{m}$ und $5\mu\text{m}$ betragen.
- 15 Die Spiralfeder selbst umfasst einen Spiralfederbefestigungsabschnitt, einen Spiralfederendabschnitt und mindestens einen dazwischenliegenden Spiralfederringabschnitt, der die mehreren Windungen der Spiralfeder umfasst. Die Spiralfeder kann in einer mechanischen Uhr eingebaut werden.

- Der Kern der Spiralfeder kann aus amorphem Silizium, teilweise amorphem Silizium, Polysilizium, einem monokristallinem Siliziumgefüge oder aus einem Silizium Sintermaterial bestehen. Bevorzugt besteht die Spiralfeder aus einem polykristallinen Siliziummaterial. Das polykristalline Siliziummaterial kann auf verschiedene Weisen produziert werden. Eine CVD-Abscheidung oder ein Epitaxie-Abscheiden des polykristallinen Siliziums erfolgt beispielsweise in der Form, dass das hierdurch
- 25 erhaltene Ausgangsmaterial eine dünne Schicht oder einen Wafer bildet, dessen Dicke dann gleich oder im Wesentlichen gleich derjenigen Dicke ist, die der Höhe der herzustellenden Spiralfedern entspricht. Auch ist eine CVD-Abscheidung zum Erzeugen von polykristallinem Silizium vorstellbar. Hierbei werden zunächst Wafer oder dünne Schichten gewonnen, aus denen dann die Spiralfedern hergestellt

werden. Ebenso erhält man mit dem PVT–Verfahren (Physical Vapour Transport (PVT)) durch Sublimation polykristallines Silizium. Das polykristalline Silizium bildet sich durch Sublimation von Silizium oder Siliziumcarbid auf der Sperrschicht mit der Dicke aus, die dann gleich oder im Wesentlichen gleich derjenigen Dicke ist, die die herzustellende Spiralfeder haben soll. Ein Gießen von polykristallinem Silizium ist ebenfalls möglich. Eine weitere Möglichkeit zur Herstellung von polykristallinem Silizium ist das Siemens-Verfahren. Aus dem damit hergestellten Silizium werden Wafer geschnitten und ggf. auch die erforderliche Dicke geläppt, die dann im Wesentlichen der Höhe der herzustellenden Spiralfedern entspricht.

10 Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung einer Spiralfeder aus einem Siliziummaterial ist gemäß einer möglichen Ausführungsform durch die folgenden Schritte ausgestaltet:

- Bereitstellen eines Trägers, wobei der Träger die Form eines Wafers haben kann;

15 • Aufbringen eines Siliziummaterials auf den Träger, wobei das Siliziummaterial einen Kern mindestens einer Windung der Spiralfeder bildet;

- Ätzen der mindestens einen Windung der Spiralfeder, so dass der Kern der mindestens einen Windung der Spiralfeder ausgeformt wird, der zwei lange, parallele und geradlinige Seiten und zwei kurze parallele und geradlinige Seiten umfasst;

20 • Ausführen einer thermischen Oxidation, wobei eine Schicht eines Oxids zumindest auf die durch die langen Seiten definierten und freigelegten Seitenflächen der Spiralfeder aufwächst; und

- Entfernen des Trägers von dem Siliziummaterial.

25 Gemäß einer möglichen Ausführungsform des Verfahrens, wächst beim Ausführen der thermischen Oxidation die Schicht des Oxids auf die durch die langen Seiten definierten und freigelegten Seitenflächen und auf die durch die obere, kurze und geradlinige Seite definierte und freigelegte Seitenfläche der Spiralfeder auf.

Bei einer möglichen Ausführungsform des Ätzprozesses der mindestens einen Windung der Spiralfeder wird der Kern der mindestens einen Windung der Spiralfeder ausgeformt. Dabei entstehen zwei lange, parallele und geradlinige Seiten und zwei kurze parallele und geradlinige Seiten. Dabei ist die obere, kurze und geradlinige Seite beidseits über jeweils einen stetig differenzierbaren oberen Abschnitt mit den gegenüberliegenden langen Seiten verbunden.

Bei einer weiteren Ausführungsform des Ätzprozesses der mindestens einen Windung der Spiralfeder wird der Kern der mindestens einen Windung der Spiralfeder ausgeformt. Dabei entstehen zwei lange, parallele und geradlinige Seiten und zwei kurze parallele und geradlinige Seiten. Dabei ist die obere, kurze und geradlinige Seite beidseits über jeweils einen stetig differenzierbaren oberen Abschnitt mit den gegenüberliegenden langen Seiten verbunden. Ebenso ist eine untere, kurze und geradlinige Seite beidseits über jeweils einen stetig differenzierbaren unteren Abschnitt mit den gegenüberliegenden langen Seiten verbunden.

Zur Ausbildung des stetig differenzierbaren unteren Abschnitts ist das Ätzen der mindestens einen Windung der Spiralfeder derart ausgeführt, dass im Bereich der unteren Seite des Kerns eine Hinterätzung ausgebildet wird. Die Hinterätzung ist derart ausgebildet, dass zumindest der stetig differenzierbare untere Abschnitt, der die gegenüberliegenden langen Seiten jeweils beidseits mit der unteren kurzen und geradlinigen Seite verbindet, vom Träger beabstandet ist.

Eine weitere Möglichkeit der Ausgestaltung des Ätzprozesses ist, dass zwischen dem Träger und dem Siliziummaterial für den Kern der mindestens einen Windung der Spiralfeder eine Trennschicht vorgesehen ist. Das Ätzen der mindestens einen Windung der Spiralfeder wird derart ausgeführt, dass im Bereich der unteren, kurzen und geradlinigen Seite des Kerns eine Hinterätzung zumindest in der Trennschicht ausgebildet wird. Durch die Hinterätzung ist zumindest der stetig differenzierbare untere Abschnitt, der die gegenüberliegenden langen Seiten jeweils beidseits mit der unteren, kurzen und geradlinigen Seite verbindet, vom Träger beabstandet. Weiterhin können die Parameter des Ätzprozesses derart eingestellt werden, dass

unterhalb eines ursprünglichen Niveaus des Trägers geätzt wird. Dies bedeutet, dass Material des Trägers in bestimmten Bereichen abgetragen wird.

Im Anschluss an den Ätzprozess wird eine Schicht aus einem Material zur Kompensation des thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Siliziummaterials des
5 Kerns der Windungen auf die mittels des Ätzprozesses freigelegten Begrenzungsflächen der mindestens einen Windung aufgebracht. Bevorzugt ist das Material zur Kompensation des thermischen Ausdehnungskoeffizienten das gleiche Material, wie das der Trennschicht. Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist das Material der Schicht zur Kompensation des thermischen
10 Ausdehnungskoeffizienten des Siliziummaterials eine SiO_2 -Schicht. Die SiO_2 -Schicht wird mittels thermischer Oxidation des Siliziummaterials des Kerns gebildet. Letztendlich erfolgt das Entfernen des Trägers, das mechanisch und/oder chemisch durchgeführt werden kann.

Der „aktive Schwingungsbereich“ der Spiralfeder erstreckt sich von dem an den
15 Spiralfederbefestigungsabschnitt der Spiralfeder anschließenden inneren Ende des aktiven Schwingungsbereichs bis zu dem äußeren Federhaltepunkt bzw. Spiralfederendabschnitt.

Eine weitere Ausführungsform der Erfindung betrifft eine Spiralfeder mit einem Spiralfederbefestigungsabschnitt, einem Spiralfederendabschnitt und mindestens
20 einen dazwischenliegenden Spiralfederringabschnitt, der mindestens eine Windung besitzt. In der Regel hat der Spiralfederringabschnitt eine Vielzahl von Windungen. Die Spiralfeder hat einen massiven und polygonalen Kern aus einem Siliziummaterial mit mindestens zwei langen Seiten und mindestens zwei kurzen Seiten. Dabei tragen zwei gegenüberliegende lange Seiten zusammen mit einer oberen kurzen Seite eine
25 SiO_2 – Schicht. Der Kern hat an den jeweiligen Übergängen der oberen, kurzen Seite zu den langen Seiten eine obere Verrundung bzw. einen stetig differenzierbaren oberen Abschnitt. Ferner hat der Kern an den jeweiligen Übergängen der unteren kurzen Seite zu den langen Seiten eine untere Verrundung bzw. einen stetig differenzierbaren unteren Abschnitt ausgebildet. Die obere Verrundung und untere
30 Verrundung sind ebenfalls von der SiO_2 - Schicht bedeckt.

Die erfindungsgemäße Spiralfeder hat den Vorteil, dass sie die für ein störungsfreies Schwingverhalten die erforderliche mechanische Stabilität, die nötige Temperaturkompensation und eine Verzugsfreiheit besitzt. Hinzu kommt, dass mit der erfindungsgemäßen und im Gewicht reduzierten Spiralfeder auch die Lager der
5 Spiralfeder geschont werden, was sich wiederum positiv auf die Ganggenauigkeit der Uhr und eine Verlängerung der Serviceintervalle auswirkt.

In der Regel ist der Kern der Spiralfeder rechteckig und besitzt somit zwei lange Seiten und zwei kurze Seiten, die zumindest über die Länge des Schwingungsbereichs durch zwei lange Seiten zwei lange Seitenflächen und durch
10 die zwei kurzen Seiten zwei kurze Seitenflächen ausbilden. Der Kern hat somit zwei gegenüberliegende lange Seitenflächen und zwei gegenüberliegende kurze Seitenflächen.

Bei den ausgebildeten Verrundungen (stetig differenzierbare Abschnitte des Kerns) unterscheiden sich z.B. auch die Radien der oberen Verrundung und die Radien der
15 unteren Verrundung. Gerade die Verrundungen an den Ecken des Kerns vermeiden mechanische Spannungsspitzen, was wiederum die Bruchgefahr der Spiralfeder verringert.

Gemäß einer möglichen Ausführungsform kann die Spiralfeder auch an der unteren kurzen Seite mit einer SiO_2 - Schicht versehen sein. Die SiO_2 - Schicht kann an der
20 unteren Seite eine geringere Dicke besitzen, als die SiO_2 - Schicht an der oberen kurzen Seite bzw. an den beiden langen, parallelen Seiten. Bei dieser Ausführungsform wird die SiO_2 - Schicht an der unteren kurzen Seite in einer zweiten Stufe der thermischen Oxidation aufgebracht. Die Zeitdauer der thermischen Oxidation der unteren kurzen Seite wird derart gewählt, dass eine SiO_2 - Schicht mit
25 einer geringeren Dicke aufwächst, als die Dicke der SiO_2 - Schicht auf den beiden Seitenflächen und der oberen Seitenfläche. Die Dicke der SiO_2 - Schicht auf der durch die untere kurze Seite gebildeten unteren Seitenfläche beträgt weniger als weniger als 2000nm. Bevorzugt ist die Dicke im Bereich von 750nm bis 500nm. Bevorzugt ist der Kern der Spiralfeder aus Polysilizium.

Bei der thermischen Oxidation des Kerns bilden sich an den jeweiligen Übergängen der oberen kurzen Seite zu den langen Seiten obere Verrundungen und an den jeweiligen Übergängen der unteren kurzen Seite zu den langen Seiten untere Verrundungen aus.

- 5 Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens kann auf dem Träger vor dem Aufbringen des den Kern der Spiralfeder bildenden Materials auf dem Träger eine Trennschicht aufgebracht werden. Ebenso kann das Material für den Kern der Spiralfeder mit einer Trennschicht versehen sein. Der Wafer mit dem Material für die Windungen der Spiralfeder und der Trennschicht wird z. B. an den Träger gebonded.
- 10 Die durch den Ätzprozess hergestellten und freigelegten Spiralfedern sind noch mit der Materialschicht verbunden. Die Materialschicht mit den Spiralfedern kann vom Träger bzw. vom Träger mit der Trennschicht mit mechanischen und/oder chemischen Verfahren zumindest teilweise entfernt werden. Gemäß einer möglichen Ausführungsform kann der Träger oder der Träger und die Trennschicht in einem
- 15 Bereich entfernt werden, der kleiner ist, als der Durchmesser des Trägers. Dies hat den Vorteil, dass somit am Rand für die Handhabung noch ausreichend Material zum Handhaben zur Verfügung ist.

Ebenso ist es möglich, dass vor dem zumindest teilweisen Entfernen des Trägers die Trennschicht, die bevorzugt ebenfalls eine SiO_2 – Schicht ist, in den freien Bereichen

20 durch einen Ätzprozess abgetragen wird. Nach dem anschließenden Entfernen des Trägers erhält man freigelegte Kerne der Spiralfedern, die an der unteren Seite die Trennschicht aus SiO_2 tragen.

Nachdem der Träger oder der Träger und die Trennschicht entfernt worden sind, kann an der oberen kurzen Seite und der gegenüberliegenden unteren, kurzen Seite,

25 falls diese keine Beschichtung trägt, die weitere thermische Oxidation durchgeführt werden. Die Dauer der thermischen Oxidation ist dabei derart bemessen, dass die dadurch aufgebrauchte Dicke (etwa 2000nm) der Oxid-Schicht kleiner ist, als die Dicke der Oxidschicht an den Seitenflächen und der oberen Seitenfläche der Spiralfeder.

Bevorzugt ist die Dauer der thermischen Oxidation kleiner als 1,5 Stunden und besonders bevorzugt ist die Dauer der thermischen Oxidation kleiner als 1 Stunde.

Weitere vorteilhafte Aspekte, Details und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung sowie den Figuren.

- 5 Im Folgenden sollen Ausführungsbeispiele die Erfindung und ihre Vorteile anhand der beigefügten Figuren näher erläutern. Die Größenverhältnisse in den Figuren entsprechen nicht immer den realen Größenverhältnissen, da einige Formen vereinfacht und andere Formen zur besseren Veranschaulichung vergrößert im Verhältnis zu anderen Elementen dargestellt sind. Dabei zeigen:
- 10 Fig. 1 beispielhaft eine perspektivische Ansicht eines Schwingensystems für Uhrwerke von mechanischen Uhren gemäß dem Stand der Technik;
- Fig. 2 beispielhaft einen Schnitt entlang einer die Achse der Unruhwellen aufnehmenden Ebene durch das Schwingensystem des Uhrwerks gemäß Figur 1;
- 15 Fig. 3 beispielhaft eine perspektivische Seitenansicht der freigestellten Komponenten des Schwingensystems gemäß Figur 1 und 2 für ein Uhrwerk;
- Fig. 4 eine perspektivische Ansicht der Spiralfeder in Verbindung mit der Unruhwellen eines Uhrwerks;
- 20 Fig. 5 eine Ansicht des Querschnitts durch eine Windung der Spirale, die einen Kern aus einem Siliziummaterial besitzt;
- Fig. 6A - 6D eine schematische Darstellung des Ablaufs einer möglichen Ausführungsform des Verfahrens zur Herstellung einer Spiralfeder;
- Fig. 7A - 7D eine schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform des Ablaufs des Verfahrens zur Herstellung einer Spiralfeder;
- 25 Fig. 8A - 8C eine mögliche Ausführungsform der Ausbildung des Querschnitts der Windungen einer Spiralfeder;

- Fig. 9 eine schematische Darstellung des teilweisen Querschnitts der Spiralfeder im oberen Bereich der Spiralfeder nach der thermischen Oxidation;
- Fig. 10 eine schematische vergrößerte Ansicht eines Querschnitts, bei dem die einzelnen Windungen der Spiralfeder durch Ätzen vom umgebenden Siliziummaterial freigelegt worden sind;
- Fig. 11 eine vergrößerte Ansicht eines Querschnitts, bei dem die einzelnen freigelegten Windungen der Spiralfeder, die mit einer thermischen Oxidation behandelt wurden, noch mit dem Träger verbunden sind;
- Fig. 12 eine schematische vergrößerte Ansicht eines Querschnitts der Windung der Spiralfeder, die aufgrund der thermischen Oxidation mit einer Oxid-Schicht umgeben und der Träger entfernt ist;
- Fig. 13 eine schematische vergrößerte Ansicht eines Querschnitts einer anderen Ausführungsform, bei der die einzelnen Windungen der Spiralfeder durch Ätzen vom umgebenden Siliziummaterial freigelegt worden sind;
- Fig. 14 eine vergrößerte Ansicht eines Querschnitts der Ausführungsform nach Fig. 13, bei dem die einzelnen freigelegten Windungen der Spiralfeder, die mit einer thermischen Oxidation behandelt wurden, noch mit dem Träger verbunden sind;
- Fig. 15 eine schematische vergrößerte Ansicht eines Querschnitts der oxidierten Windung der Spiralfeder aus Figur 14, bei der der Träger entfernt ist;
- Fig. 16 eine schematische vergrößerte Ansicht eines Trägers mit Trennschicht, auf der eine Schicht aus Siliziummaterial für den Kern der Windungen der Spiralfeder vorhanden ist;
- Fig. 17 eine schematische vergrößerte Ansicht der Schicht aus Siliziummaterial; aus der die Windungen der Spiralfeder geätzt sind;
- Fig. 18 eine schematische Darstellung, wobei die geätzten Windungen durch thermische Oxidation mit einer Oxidschicht versehen sind;
- Fig. 19 eine schematische Darstellung des Trägers mit den Windungen, bei denen die Oxidschicht vollständig und die Trennschicht zumindest teilweise entfernt sind; und

Fig. 20 eine schematische Darstellung der Windungen, wobei die freigelegten Bereiche der Seitenflächen erneut einer thermischen Oxidation unterzogen worden sind.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnung

5 Für gleiche oder gleich wirkende Elemente der Erfindung werden identische Bezugszeichen verwendet. Ferner werden der Übersicht halber nur Bezugszeichen in den einzelnen Figuren dargestellt, die für die Beschreibung der jeweiligen Figur erforderlich sind.

10 Zum besseren Verständnis der vorliegenden Erfindung und des technischen Umfelds, bei dem die Erfindung verwendet wird, wird im Zusammenhang mit den **Figuren 1 bis 3** ein aus dem Stand der Technik bekanntes Schwingsystem für mechanische Uhrwerke beschrieben.

Das Schwingsystem 1 umfasst einen Schwingkörper in Form eines Schwungrads 2, eine Unruhwelle 3 sowie eine Spiralfeder 4. Das Schwungrad 2 besteht aus einem
15 äußeren Kreisringabschnitt 2.1, der über mehrere Speichen 2.2 mit einem Nabenabschnitt 2.3 verbunden ist. Der Nabenabschnitt 2.3 weist eine von der Kreisform abweichende, zentrale Durchgangsbohrung auf, in welcher ein zugeordneter Wellenabschnitt 3' der Unruhwelle 3 aufgenommen ist, dessen konzentrische Außenseite einen Formschluss mit dem Nabenabschnitt 2.3 des
20 Schwungrades 2 herstellt. Damit ist das Schwungrad 2 drehfest mit der Unruhwelle 3 verbunden. Darüber hinaus sind an der zum Drehzentrum des Schwungrades 2 weisenden Innenseite des äußeren Kreisringabschnitts 2.1 mehrere Schwungmassen 2.4 angebracht.

Die Unruhwelle 3 weist ferner ein oberes und unteres freies Ende 3.1, 3.2 auf, welche
25 spitz zulaufen und zur drehbaren Lagerung der Unruhwelle 3 um deren Achse UA in entsprechend ausgebildeten oberen und unteren Lagereinheiten aufgenommen werden. In den Figuren 1 und 2 ist beispielhaft eine obere Lagereinheit dargestellt. Die Achse UA der Unruhwelle 3 ist damit zugleich auch die Drehachse des Schwungrades 2 und die Achse der Spiralfeder 4.

Die Spiralfeder 4 besteht aus einem vorzugsweise ringförmigen, inneren Spiralfederbefestigungsabschnitt 4.1 und einem äußeren Spiralfederendabschnitt 4.2. Dazwischen befinden sich mehrere Spiralfederringabschnitte 4.3, welche in einer Ebene senkrecht und vorzugsweise konzentrisch zur Achse der Spiralfeder 4 verlaufen, welche mit der Achse UA der Unruhwelle 3 übereinstimmt.

Der vorzugsweise ringförmige, innere Spiralfederbefestigungsabschnitt 4.1 ist mit der Unruhwelle 3 drehfest verbunden, und zwar vorzugsweise verklebt und/oder mittels Formschluss. Hierzu weist die Unruhwelle 3 einen zur Aufnahme des inneren Spiralfederbefestigungsabschnitts 4.1 ausgebildeten Wellenabschnitt 3'' auf, der oberhalb des das Schwungrad 2 aufnehmenden Wellenabschnitts 3' angeordnet ist.

Zur in Bezug auf die Unruhwelle 3 drehfesten Befestigung des äußeren Spiralfederendabschnitts 4.2 ist die Halteanordnung 5 zur Einstellung des Zentrums der Spiralfeder 4 vorgesehen. Die Halteanordnung 5 umfasst zumindest einen Haltearm 6 und ein Halteelement 7, welches im Bereich des äußeren freien Endes des Haltearms 6 entlang der Längsachse LHA des Haltearms 6 verschiebbar befestigt ist.

Der Haltearm 6 weist ein inneres Haltearmende 6.1 und ein äußeres Haltearmende 6.2 auf, wobei das innere Haltearmende 6.1 einen offenen Kreisring ausbildet und im Bereich des äußeren Haltearmendes 6.2 eine längliche Führungsausnehmung 6.3 vorgesehen ist. Die längliche Führungsausnehmung 6.3 ist zur variablen Befestigung des Halteelementes 7 am Haltearm 6 vorgesehen. Das innere Haltearmende 6.1 ist über nicht näher bezeichnete Haltemittel, welche auch die oberen und unteren Lagereinheiten zur drehbaren Lagerung der Unruhwelle 3 aufnehmen können, drehfest befestigt, und zwar derart, dass der offene Kreisring des inneren Haltearmendes 6.1 die Achse UA der Unruhwelle 3 konzentrisch umgibt.

Das Halteelement 7 weist einen im Wesentlichen zylinderförmigen, länglichen Grundkörper 7.1 mit einer oberen und unteren Stirnseite 7.11, 7.12 und einer Längsachse LHE auf, welcher eine zur oberen Stirnseite 7.11 geöffnete Sacklochbohrung 7.2 mit einem Innengewinde zur Aufnahme einer Schraube 8

aufweist. Mittels der Schraube 8, welche durch die längliche Führungsausnehmung 6.3 des Haltearms 6 geführt wird, ist das Halteelement 7 fest mit dem Haltearm 6 verschraubbar, und zwar derart, dass die Längsachse LHA des Haltearms 6 und die Längsachse LHE des Halteelementes 7 senkrecht zueinander verlaufen.

- 5 Auf der gegenüberliegenden unteren Stirnseite 7.12 des Grundkörpers 7.1 des Halteelementes 7 ist eine sich senkrecht zur Längsachse LHE des Grundkörpers 7.1 erstreckende und nach unten offene Führungsausnehmung 7.3 vorgesehen, die zur radial führenden Aufnahme des äußeren Spiralfederendabschnitts 4.2 ausgebildet ist. Eine die Längsachse LHE des Grundkörpers 7.1 aufnehmende Ebene teilt die
10 Führungsausnehmung 7.3 näherungsweise in zwei gegenüberliegende, gleiche Hälften des gabelartig ausgebildeten unteren freien Endes des Halteelementes 7.

Im montierten Zustand ist damit mittels der Halteanordnung 5 der radiale Abstand A zwischen der Achse UA der Unruhwelle 3 und der Längsachse LHE des Halteelementes 7 und damit des äußeren Spiralfederendabschnitts 4.2 einstellbar.

- 15 Durch eine entsprechende radiale zur Achse UA gerichtete Verschiebung des Halteelementes 7 und damit des äußeren Spiralfederendabschnitts 4.2 ist das Spiralfederzentrum justierbar, und zwar vorzugsweise derart, dass die Spiralfederringabschnitte 4.3 jeweils denselben Abstand zueinander aufweisen und konzentrisch um die Achse UA verlaufen.

- 20 **Figur 4** zeigt eine perspektivische Ansicht einer möglichen Ausführungsform der Spiralfeder 4, die mit ihrem Spiralfederbefestigungsabschnitt 4.1 drehfest mit der Unruhwelle 3 verbunden ist. Den Schwingungsbereich LA bilden die Spiralfederringabschnitte 4.3 der Spiralfeder 4, die die mehreren Windungen der Spiralfeder bilden. Die Spiralfederringabschnitte 4.3 reichen von einem inneren Ende
25 13 des Spiralfederbefestigungsabschnitts 4.1 bis zu einem Stabilisierungsbereich LS und bilden den Schwingungsbereich LA. Die hier dargestellte Ausführungsform des Stabilisierungsbereichs LS stellt eine von mehreren möglichen Ausführungsformen dar und soll nicht als Beschränkung der Erfindung aufgefasst werden.

Figur 5 zeigt einen Querschnitt 17 durch eine Windung 9 der Spiralfeder 4. Der Querschnitt 17 ist über die gesamte Länge der Windungen 9 des Schwingungsbereichs LA im Wesentlichen konstant. Die Windungen 9 einer Spiralfeder 4, die für den Einbau in das Schwingsystem 1 einer Uhr produziert ist, besteht aus einem Kern 16 aus Siliziummaterial. Das Siliziummaterial kann z.B. aus polykristallinem Silizium, gesinterten Silizium, oder einem monokristallinen Siliziumgefüge, etc. bestehen. Zur Kompensation des thermischen Ausdehnungskoeffizienten ist der Kern 16 mit einer Schicht aus einem Material zumindest teilweise umgeben. Bei der hier dargestellten Ausführungsform umschließt die Schicht des Materials den Kern 16 vollkommen. Es ist für einen Fachmann selbstverständlich, dass auch Ausführungsformen möglich sind, bei denen nur Seitenflächen der Windungen 9 der Feder mit dem Material zu Temperaturkompensation versehen sind. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird die Schicht 20 durch thermisches Oxidieren der Kerns 16 erzeugt. Die gebildete Schicht 20 ist eine SiO_2 – Beschichtung mit einer Dicke D zwischen $2\mu\text{m}$ bis $5\mu\text{m}$. Der Querschnitt 17 besitzt eine Höhe H und eine Breite B. Dabei ist der Querschnitt 17 derart ausgebildet, dass gegenüberliegende lange und geradlinige Seiten 22 eine Länge L_1 besitzen, die kleiner ist als die Höhe H. Die untere kurze und geradlinige Seite 24_U und die obere kurze und geradlinige Seite 24_O haben eine Länge L_2 die kleiner ist als die Breite des Querschnitts 17. Der Kern 16 ist im Querschnitt 17 ferner derart gestaltet, dass die obere kurze und geradlinige Seite 24_O beidseits über jeweils einen stetig differenzierbaren oberen Abschnitt 15_O mit den gegenüberliegenden langen Seiten 22 verbunden ist. Ebenso kann die untere kurze und geradlinige Seite 24_U beidseits über jeweils einen stetig differenzierbaren unteren Abschnitt 15_U mit den gegenüberliegenden langen und geradlinigen Seiten 22 des Kerns 16 verbunden sein.

Die **Figuren 6A bis 6D** zeigen schematisch den Ablauf eines Verfahrens zum Herstellen eines mikromechanischen Bauteils, insbesondere einer Spiralfeder 4 mit deren Windungen 9. Es wird ein Träger 30 zur Verfügung gestellt, auf dem das Siliziummaterial 32 in einer Schichtdicke aufgebracht sein kann, die im Wesentlichen der Höhe des Kerns 16 der Spiralfeder 4 entspricht. Zwischen dem Siliziummaterial 32 und dem Träger 30 ist bei dieser Ausführungsform eine Trennschicht 31 vorgesehen. Die Trennschicht 31 kann auf den Träger 30 aufgebracht werden. Anschließend wird

dann das Siliziummaterial 32 auf der Trennschicht 31 aufgebracht. Eine andere Möglichkeit ist, dass die Trennschicht 31 auf das Siliziummaterial 32 aufgebracht ist. Ein Wafer aus dem Siliziummaterial 32 mit der Trennschicht 31 wird z.B. mit dem Träger 30 gebonded. Bevorzugt ist die Trennschicht SiO_2 . Das Aufbringen bzw. das Ausbilden des Siliziummaterials 32 kann mit einer Vielzahl dem Fachmann bekannten Verfahren des Standes der Technik erfolgen. Schließlich wird eine Schicht 33 auf der freien Oberfläche des Siliziummaterials 32 für das mikromechanische Bauteil bzw. die Spiralfeder 4 aufgebracht, die das Aufwachsen eines Oxids bei der thermischen Oxidation verhindert. Bei der hier beschriebenen Ausführungsform des Verfahrens ist diese Schicht 33 z. B. eine Siliziumnitrid –Schicht. Das Bauteil bzw. die Windungen 9 der Spiralfeder 4 werden durch Ätzen freigelegt. Anschließend wird eine thermische Oxidation ausgeführt, wobei eine SiO_2 – Schicht 20 auf die freigelegten Flächen des Bauteils bzw. der Windungen 9 der Spiralfeder 4 ausgebildet wird. Letztendlich erfolgt das Ablösen oder Trennen der Schicht aus dem Siliziummaterial 32, die die mikromechanischen Bauteile bzw. die Spiralfedern 4 enthält, vom Träger 30. Die mikromechanischen Bauteile bzw. die Spiralfedern 4 sind noch mit der Schicht aus dem Siliziummaterial 32 für das mikromechanische Bauteil bzw. die Spiralfedern 4 verbunden. Das Ablösen oder Trennen der Schicht aus dem Siliziummaterial 32 vom Träger 30 kann mittels chemischer, mechanischer oder chemisch-mechanischer Prozesse erfolgen.

Die **Figuren 7A bis 7D** zeigen eine schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform des Ablaufs des Verfahrens zur Herstellung der Windungen 9 einer Spiralfeder 4. Obwohl sich die nachstehende Beschreibung auf die Herstellung einer Spiralfeder 4 bezieht, soll dies nicht als eine Beschränkung der Erfindung aufgefasst werden. Auch hier ist zwischen dem Träger 30 und der Schicht aus dem Siliziummaterial 32 eine Trennschicht 31 vorgesehen. Auf die Trennschicht 31 zwischen dem Träger 30 und der Schicht aus dem Siliziummaterial 32 kann verzichtet werden. Die Schicht aus dem Siliziummaterial 32 kann somit direkt auf den Träger 30 aufgebracht werden. Im Falle einer Trennschicht 31 ist diese aus SiO_2 .

Ebenso wird bei dieser Ausführungsform auf die Schicht aus dem Siliziummaterial 32 für die Spiralfeder kein die thermische Oxidation behinderndes Material aufgebracht.

Nach dem Ätzen bzw. dem Freilegen der Windungen 9 für die Spiralfeder 4 erfolgt eine erste Stufe der thermischen Oxidation. Die Schicht aus dem Siliziummaterial 32, das die Spiralfedern 4 umfasst, ist dabei immer noch mit dem Träger 30 verbunden. Bei der ersten Stufe der thermische Oxidation wächst an den durch die langen und geradlinigen Seiten 22 definierten Seitenflächen (hier nicht dargestellt) und an der durch die obere kurze und geradlinige Seite 24_o definierten oberen Seitenfläche des Kerns 16 der Spiralfeder eine SiO₂ - Schicht 20 auf. Nach der ersten Stufe der thermischen Oxidation wird der Träger 30 und hier auch die Trennschicht 31 mechanisch und/oder chemisch abgetragen. Ein mechanischer Abtrag kann z.B. durch Schleifen erfolgen.

Nach dem Entfernen des Trägers 30 ist somit die durch die untere, kurze und geradlinige Seite 24_u definierte untere Seitenfläche des Kerns 16 der Spiralfeder 4 freigelegt. In einer zweiten Stufe der thermischen Oxidation kann dann in einer Ausführungsform des Verfahrens auch auf der unteren Seitenfläche des Kerns 16 der Spiralfeder 4 eine SiO₂ - Schicht 20 aufgebracht werden. Es ist möglich, dass die SiO₂ - Schicht 20 an der unteren Seitenfläche des Kerns 16 eine geringere Dicke besitzt, als die SiO₂ - Schicht 20 an den übrigen Seitenflächen des Kerns 16 der Windungen 9 der Spiralfeder.

Die Figuren 8A – 8C zeigen Ausführungsformen der Ausbildung des Querschnitts 17 der Windungen 9 einer Spiralfeder 4. Die zwei gegenüberliegenden langen Seiten 22 tragen zumindest über die Länge des Schwingungsbereichs LA eine SiO₂ - Schicht 20. Der Kern 16 hat zumindest an der oberen kurzen Seite 24_o an den jeweiligen Übergängen zu den langen Seiten 22 den in Fig. 5 beschriebenen stetig differenzierbaren oberen Abschnitt 15_o ausgebildet, der ebenfalls von der SiO₂ - Schicht 20 bedeckt ist. Bei der in Figur 8A gezeigten Ausführungsform überragt die SiO₂ - Schicht 20 an der oberen kurzen Seite 24_o das Niveau des Kerns 16. Auf der durch die obere kurze Seite 24_o definierten Oberfläche der Windungen 9 ist keine Oxidschicht vorhanden, dass dieser Bereich der Windungen 9 maskiert war. Diese Ausgestaltung der oberen Randbereiche der Spiralfeder 4 erstreckt sich zumindest entlang des Schwingungsbereichs der Spiralfeder 4.

Figur 8B zeigt eine weitere Ausführungsform der Ausbildung des Querschnitts 17 der Windungen 9 einer Spiralfeder 4, wobei der Kern 16 an der oberen kurzen Seite 24_o eine Maskierung 34 (bevorzugt Siliziumnitrid) trägt. Diese Ausgestaltung der oberen Randbereiche der Spiralfeder 4 erstreckt sich zumindest entlang des Schwingungsbereichs. Bei der thermischen Oxidation wächst zwischen der thermischen Oxidation behindernden Maskierung 34 und dem Material des Kerns 16 ein Oxid in Form eines Vogelschnabels. Es kommt somit zu einer Aufwölbung der Maskierung 34. Gemäß einer möglichen Ausführungsform kann die Maske bei der Ausgestaltung der oberen Randbereiche der Spiralfeder 4 zumindest abschnittsweise entlang des Schwingungsbereichs entfernt sein.

Figur 8C zeigt eine noch weitere Ausführungsform der Ausbildung des Querschnitts 17 der Windungen 9 der Spiralfeder. Hier ist die SiO₂ - Schicht 20 an der oberen kurzen Seite 24_o bis hinunter auf den Kern 16 entfernt. Ebenso kann man die in Figur 8B beschriebene Maskierung 34 entfernen, so dass der Kern 16 freigelegt ist. Durch den mechanischen Schleifprozess wird die Maskierung 34 und ein oberer Teil der SiO₂ - Schicht 20 abgetragen. Ebenso ist es möglich, dass die Oberfläche 35 der Windungen 9 durch ein Abätzen mit Flußsäure (HF) hergestellt wird. Diese Ausgestaltung der oberen Randbereiche der Spiralfeder erstreckt sich zumindest entlang des Schwingungsbereichs.

Die **Figur 9** verdeutlicht eine Ausführungsform der Ausgestaltung des Querschnitts 17 der Windungen 9 des Schwingungsbereichs der Spiralfeder 4. Der Kern 16 aus Siliziummaterial trägt auf der durch die kurze Seite 24_o definierten Seitenfläche der Windungen 9 eine Maskierung 34. Die Wirkung der Maskierung 34 ist, dass die thermische Oxidation des Siliziummaterials des Kerns 16 und das Aufwachsen der SiO₂ - Schicht 20 im Bereich der Maskierung 34 anders abläuft und somit zu einer anderen Ausbildung der SiO₂ - Schicht 20 führt. Die Maskierung 34 ist eine Diffusionssperre für Sauerstoff. In einer bevorzugten Ausführungsform kann die Maskierung 34 aus Siliziumnitrid bestehen. An den Seitenflächen 22 ist der Kern 16 nicht durch die Maskierung 16 bedeckt und somit für Sauerstoff ungehindert zugänglich. Aufgrund der thermischen Oxidation wächst eine SiO₂ - Schicht 20 auf den Seitenflächen 22 auf, die beidseitig sogenannte „Vogelschnäbel“ 42 im Bereich

des stetig differenzierbaren oberen Abschnitts 15_o ausbilden, die sich unter die Maskierung 34 erstrecken. Die Maskierung 34 wird an den Rändern durch die thermische Oxidation verbraucht.

Figur 10 ist eine schematische vergrößerte Ansicht eines Querschnitts der Windungen 9 der Spiralfeder, die von dem umgebenden Siliziummaterial (hier nicht dargestellt) durch einen Ätzprozess freigelegt und noch mit dem Träger 30 verbunden sind. Bei der hier dargestellten Ausführungsform ist der Träger 30 mit einer Trennschicht 31 versehen. Bevorzugt besteht diese Trennschicht aus SiO₂, dem gleichen Material, das bei der thermischen Oxidation auf den Kern 16 der Windungen 9 aufwächst.

Die aus dem Siliziummaterial 32 (siehe Fig. 6A) durch den Ätzprozess gebildeten Windungen 9 der Spiralfeder 4 haben eine Ätzhöhe 50 und eine Ätzbreite 51 geätzt. Durch das Ätzen werden die Seifenflächen bzw. die langen Seiten 22 der Windungen 9 der Spiralfeder 4 freigelegt. Ebenso werden die oberen, kurzen und geradlinigen Seiten 24_o und die unteren, kurzen und geradlinigen Seiten 24_u der Windungen 9 gebildet. Die Windungen 9 sind über die unteren, kurzen und geradlinigen Seiten 24_u über die verbleibende Trennschicht 31 mit dem Träger 30 verbunden. Der Ätzvorgang der Windungen 9 ist bei dieser Ausführungsform derart gestaltet, dass zwischen jeweils zwei benachbarten Windungen 9 unterhalb eines ursprünglichen Niveaus 52 des Trägers 30 geätzt wird. Ebenso werden bei dem Ätzvorgang Hinterätzungen 53 in der Trennschicht 31 ausgebildet. Auch die stetig differenzierbaren oberen Abschnitte 15_o und die stetig differenzierbaren unteren Abschnitte 15_u des Kerns 16 der Windungen 9 werden durch den Ätzvorgang gebildet.

Figur 11 zeigt die Situation, bei der die Windungen 9 nach dem Ätzvorgang einer thermischen Oxidation für eine vorbestimmte Zeitdauer ausgesetzt waren. Durch die thermische Oxidation bildet sich auf den frei zugänglichen Seitenflächen des Kerns 16 der Windungen 9 eine SiO₂ - Schicht 20 aus. Ebenso erfolgt eine thermische Oxidation des Trägers 30 und die Ablagerung einer Schicht 55 an denjenigen Stellen 54 des Trägers 30, die während des Ätzprozesses freigelegt wurden. Während der thermischen Oxidation wird ein Teil des Siliziummaterials des Kerns 16 in SiO₂ umgewandelt. Der Kern 16 einer jeden Windung 9 ist nun vollkommen von einer SiO₂

– Schicht 20 umgeben. Im Bereich der unteren, kurzen und geradlinigen Seite 24_U ist jede Windung 9 über eine SiO₂ – Brücke 25 mit dem Träger 30 verbunden.

In **Figur 12** ist der abschließende Bearbeitungsschritt zur Herstellung einer Spirale 4 mit mehreren Windungen 9 dargestellt. Der Träger 30 wurde komplett abgetragen (chemisch und/oder mechanisch). Der Kern 16 der Windungen 9, die die Spirale 4 (hier nicht dargestellt) ausmachen, ist bei dieser Ausführungsform komplett mit einer SiO₂ – Schicht 20 umgeben. Bei den Windungen 9, die gemäß dieser Ausführungsform des Verfahrens hergestellt worden sind, unterscheidet sich dessen obere Querschnittsform 17_O im Bereich der oberen, kurzen und geradlinigen Seite 24_O von dessen unteren Querschnittsform 17_U im Bereich der unteren, kurzen und geradlinigen Seite 24_U. Der zeichnerisch dargestellte Unterschied der oberen Querschnittsform 17_O zwischen der unteren Querschnittsform 17_U ist lediglich als Beispiel zu verstehen und soll nicht als eine Beschränkung der Erfindung aufgefasst werden. In Abhängigkeit von den Einstellparametern des Ätzprozesses und den Parametern der sich daran anschließenden thermischen Oxidation, kann das Ausmaß des Unterschieds zwischen der oberen Querschnittsform 17_O und der unteren Querschnittsform 17_U beeinflusst werden.

Figur 13 ist eine schematische vergrößerte Ansicht einer weiteren Ausführungsform des Querschnitts der Windungen 9 der Spiralfeder, die von dem umgebenden Siliziummaterial (hier nicht dargestellt) durch einen Ätzprozess freigelegt und noch mit dem Träger 30 verbunden sind. Bei der hier dargestellten Ausführungsform ist der Träger 30 mit einer Trennschicht 31 versehen. Bevorzugt besteht diese Trennschicht aus SiO₂, dem gleichen Material, das bei der thermischen Oxidation auf den Kern 16 der Windungen 9 aufwächst. Die durch den Ätzprozess gebildeten Windungen 9 der Spiralfeder 4 haben eine Ätzhöhe 50 und eine Ätzbreite 51 geätzt. Durch das Ätzen werden die Seifenflächen bzw. die langen Seiten 22 der Windungen 9 der Spiralfeder 4 freigelegt. Ebenso werden die oberen, kurzen und geradlinigen Seiten 24_O und die unteren, kurzen und geradlinigen Seiten 24_U der Windungen 9 gebildet. Die Windungen 9 sind über die unteren, kurzen und geradlinigen Seiten 24_U über die Trennschicht 31 mit dem Träger 30 verbunden. Die Trennschicht 31 kann aus dem gleichen Material bestehen, wie die Schicht 20 die zur Kompensation des thermischen

Ausdehnungskoeffizienten auf mindestens eine Seitenfläche der Windungen 9 der Spiralfeder aufgetragen ist.

Figur 14 zeigt die Situation, bei der die Windungen 9 nach dem Ätzvorgang einer thermischen Oxidation für eine vorbestimmte Zeitdauer ausgesetzt waren. Durch die thermische Oxidation bildet sich auf den frei zugänglichen Seitenflächen des Kerns 16 der Windungen 9 z.B. eine SiO_2 - Schicht 20 aus. Während der thermischen Oxidation wird ein Teil des Siliziummaterials des Kerns 16 in SiO_2 umgewandelt. Der Kern 16 einer jeden Windung 9 ist nun an den frei zugänglichen Seitenflächen von einer SiO_2 - Schicht 20 umgeben. Im Bereich der unteren, kurzen und geradlinigen Seite 24_U ist jede Windung 9 noch mit dem Träger 30 verbunden.

In **Figur 15** ist der abschließende Bearbeitungsschritt zur Herstellung einer Spirale 4 mit mehreren Windungen 9 dargestellt. Der Träger 30 und auch die Trennschicht wurden bei dieser Ausführungsform komplett abgetragen (chemisch und/oder mechanisch). Der Kern 16 der Windungen 9, die die Spirale 4 (hier nicht dargestellt) ausmachen, ist bei dieser Ausführungsform an den durch die langen Seiten 22 und durch die obere, kurze und geradlinige Seite 24_O definierten Seitenflächen mit einer SiO_2 - Schicht 20 umgeben. An der durch die untere, kurze und geradlinige Seite 24_U definierten Seitenfläche ist keine SiO_2 - Schicht 20 vorhanden, da auch die Trennschicht abgetragen wurde. Ebenso kann in einem weiteren thermischen Oxidationsprozess auch an der unteren, kurzen und geradlinigen Seite 24_U eine Oxid-Schicht 20 aufgebracht werden.

In **Figur 16** bis **Figur 20** wird eine weitere Ausführungsform eines Verfahrens beschrieben, mit dem die Breite der oxidierten Windungen 9 der Spiralfeder 4 genau eingestellt werden kann.

Figur 16 beschreibt den Aufbau eines Trägers 100, der in dieser Ausführungsform mit einer Trennschicht 101 versehen ist. Auf der Trennschicht 101 wird eine Materialschicht 102 für den Kern 16 der Windungen 9 der Spiralfeder 4 aufgebracht. Wie bereits erwähnt, ist dies nur eine von mehreren möglichen Ausführungsformen der Erfindung und soll folglich nicht als Beschränkung aufgefasst werden.

Bei der Darstellung der **Figur 17** sind in der Materialschicht 102 die Windungen 9 der Spiralfeder 4 mit einer Ätzbreite 105 und einer Ätzhöhe 107 geätzt. Durch das Ätzen werden die Seifenflächen 110 bzw. Seitenwände der Windungen 9 der Spiralfeder 4 freigelegt. Die Trennschicht 101 kann als Stoppschicht für den Ätzborgang der Windungen 9 dienen. Ebenso wird bei dem Ätzborgang die obere Seitenfläche 111 ausgebildet. **Figur 18** zeigt die Situation, bei der die Windungen 9 nach dem Ätzborgang für eine vorbestimmte Zeitdauer einer thermischen Oxidation ausgesetzt worden sind. Durch die thermische Oxidation bildet sich auf den beiden frei zugänglichen Seitenflächen 110 und der frei zugänglichen oberen Seitenfläche 111 eine SiO_2 - Schicht 20 aus. Während der thermischen Oxidation wird ein Teil des Siliziummaterials des Kerns 9 in SiO_2 umgewandelt. Die ursprüngliche Ätzbreite 105 einer jeden Windung 9 des Kerns wird dadurch zu einer geringeren Oxidationsbreite 106 des Kerns 16 der Windung 9. Ebenso wird durch die thermische Oxidation die ursprüngliche Ätzhöhe 107 einer Windung 9 auf die Oxidationshöhe 108 reduziert. Durch den Ätzborgang kann der Kern 9 Verrundungen 9R ausbilden. Folglich bildet auch die eine SiO_2 - Schicht 20 Verrundungen 20R aus.

In **Figur 19** ist der nächste Schritt eines weiteren erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung einer Spiralfeder 4 graphisch dargestellt. In dem Folgeschritt nach der thermischen Oxidation wird die SiO_2 - Schicht 20 aus Figur 18 entfernt. Das Entfernen der SiO_2 - Schicht 20 erfolgt mit Methoden, die einem Fachmann hinlänglich bekannt sind. Beim Entfernen der SiO_2 - Schicht 20 wird auch zumindest ein Teil der Trennschicht 101 abgetragen. Als Resultat erhält man Windungen 9 für die Spiralfeder, die als Abmessung die Oxidationsbreite 106 und die Oxidationshöhe 108 besitzen. Ferner kann aufgrund des zumindest teilweisen Entfernens der Trennschicht 101 zumindest ein Teilbereich der unteren Seitenfläche 112 freigelegt werden und somit zugänglich sein. Das Entfernen der Trennschicht 101 ist dabei derart eingestellt, dass die untere Seitenfläche 112 der Windung über einen Steg 115 der Trennschicht 101 mit dem Träger 100 verbunden ist.

In **Figur 20** ist der abschließende Bearbeitungsschritt der Windungen 9 dargestellt. Der Träger 100, auf dem eine Vielzahl von Spiralen mit ihren Windungen 9 ausgebildet sind, wird einer erneuten thermischen Oxidation unterzogen. Da die

Seitenflächen 110, die obere Seitenfläche 111 und zumindest ein Teil der unteren Seitenfläche 112 frei zugänglich sind, wird auf diesen durch die thermische Oxidation eine SiO_2 - Schicht 20 ausgebildet. Wie bereits in der Beschreibung zu Figur 18 erwähnt, wird auch bei dieser thermischen Oxidation ein Teil des Siliziummaterials des Kerns der Windungen 9 in SiO_2 umgewandelt. Es resultiert somit ein Kern der Windung 9 aus Siliziummaterial (z.B. Polysilizium), der eine Breite 120 und eine Höhe 130 besitzt, die kleiner ist als die Oxidationsbreite 106 und die Oxidationshöhe 108. Die Stege 115 halten die Spiralfedern immer noch am Träger 100. Um die Spiralfedern zu lösen, wird der Träger 100 mit herkömmlichen Verfahren entfernt. Die Stege 115 können stehen bleiben oder auch komplett entfernt werden. Die erneute Oxidation hat den Vorteil, dass die Breite 120 und die Höhe 130 der Windungen 9 der Spiralfeder exakt eingestellt werden kann. Somit ist es möglich, die mechanischen Eigenschaften der Spiralfeder auf gewünschte Weise einzustellen.

Die hier beschriebenen Herstellungsverfahren haben den Vorteil, dass Spiralfedern aus Siliziummaterial (z.B. Polysilizium) verzugsfrei hergestellt werden können. Ferner weisen die derart hergestellten Spiralfedern ein dauerhaft ausgezeichnetes Schwingungsverhalten auf und besitzen eine Stabilität und Widerstandsfähigkeit gegen Federbrüche. Hinzu kommt, dass die Spiralfeder auch reproduzierbar hinsichtlich des Schwingungsverhaltens ist, ohne dass dabei die erforderliche Temperaturkompensation vernachlässigt wird.

Bezugszeichenliste

- 1 Schwingsystem
- 2 Schwungrad
- 2.1 Kreisringabschnitt
- 2.2 Speiche
- 25 2.3 Nabenabschnitt
- 2.4 Schwungmasse

- 3 Unruhwellen
- 3' Wellenabschnitt
- 3'' Wellenabschnitt
- 3.1 oberes freies Ende
- 5 3.2 unteres freies Ende
- 4 Spiralfeder
- 4.1 Spiralfederbefestigungsabschnitt
- 4.2 Spiralfederendabschnitt
- 4.3 Spiralfederringabschnitt
- 10
- 5 Halteanordnung
- 6 Haltearm
- 6.1 inneres Haltearmende
- 6.2 äußeres Haltearmende
- 15 6.3 Führungsausnehmung
- 7 Halteelement
- 7.1 Grundkörper
- 7.2 Sacklochbohrung

7.3 Führungsausnehmung

7.11 obere Stirnseite

7.12 untere Stirnseite

8 Schraube

5 9 Windung

9R Verrundung

13 inneres Ende

15_o stetig differenzierbarer oberer Abschnitt

15_u stetig differenzierbarer unterer Abschnitt

10 16 Kern

17 Querschnitt

17O Querschnittsform

17U Querschnittsform

20 Schicht, SiO₂ – Schicht

15 20R Verrundung

22 lange Seite

24_o obere, kurze und geradlinige Seite

24_u untere, kurze und geradlinige Seite

	25	Brücke, SiO ₂ – Brücke
	30	Träger
	31	Trennschicht
	32	Siliziummaterial
5	33	Schicht
	34	Maskierung
	35	Oberfläche
	42	Vogelschnabel
	50	Ätzhöhe
10	51	Ätzbreite
	52	ursprüngliches Niveau
	53	Hinterätzung
	54	freigelegte Stellen
	55	Schicht
15	100	Träger
	101	Trennschicht
	102	Materialschicht
	105	Ätzbreite

- 106 Oxidationsbreite
- 107 Ätzhöhe
- 108 Oxidationshöhe
- 110 Seifenflächen
- 5 111 obere Seitenfläche
- 115 Steg
- 120 Breite
- 130 Höhe
- A Abstand
- 10 B Breite
- H Höhe
- L1 Länge
- L2 Länge
- LA Schwingungsbereich
- 15 LS Stabilisierungsbereich
- LHA Längsachse
- LHE Längsachse
- UA Achse

Patentansprüche

1. Spiralfeder (4) mit mindestens einer Windung (9), die aus einem massiven Kern (16) aus einem Siliziummaterial (32) besteht, wobei der Kern (16) zwei lange, parallele und geradlinige Seiten (22) und zwei kurze parallele und geradlinige Seiten (24_o, 24_u) umfasst, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die gegenüberliegenden langen Seiten (22) des Kerns (16) von einer SiO₂ - Schicht (20) bedeckt sind.
2. Spiralfeder (4) nach Anspruch 1, wobei die obere kurze und geradlinige Seite (24_o) und die gegenüberliegenden langen Seiten (22) von einer SiO₂ - Schicht (20) umschlossen sind.
3. Spiralfeder (4) nach Anspruch 1, wobei die obere kurze und geradlinige Seite (24_o) beidseits über jeweils einen stetig differenzierbaren oberen Abschnitt (15_o) mit den gegenüberliegenden langen Seiten (22) verbunden ist; und die gegenüberliegenden langen und geradlinigen Seiten (22), die jeweils stetig differenzierbaren oberen Abschnitte (15_o), die die obere kurze und geradlinige Seite (24_o) beidseits mit den gegenüberliegenden langen und geradlinigen Seiten (22) verbinden, und die obere kurze und geradlinige Seite (24_o) von einer SiO₂ - Schicht (20) bedeckt sind.
4. Spiralfeder (4) nach Anspruch 3, wobei die untere kurze und geradlinige Seiten (24_u) von einer SiO₂ - Schicht (20) bedeckt ist, die sich in der Dicke von der SiO₂ - Schicht (20) an den gegenüberliegenden langen Seiten (22) und der SiO₂ - Schicht (20) an der oberen, kurzen und geradlinigen Seite (24_o) unterscheidet.
5. Spiralfeder (4) nach Anspruch 1, wobei die obere kurze und geradlinige Seite (24_o) beidseits über jeweils einen stetig differenzierbaren oberen Abschnitt (15_o) mit den gegenüberliegenden langen Seiten (22) verbunden ist; die untere kurze und geradlinige Seite (24_u) beidseits über jeweils einen stetig differenzierbaren unteren Abschnitt (15_u) mit den gegenüberliegenden langen und geradlinigen Seiten (22) verbunden ist und der Kern (16) zumindest an den gegenüberliegenden langen und geradlinigen Seiten (22) und an dem jeweiligen stetig differenzierbaren oberen Abschnitt (15_o) und dem jeweiligen, stetig

differenzierbaren unteren Abschnitt (15_U) von einer SiO₂ - Schicht (20) bedeckt ist.

6. Spiralfeder (4) nach Anspruch 5, wobei sich die beiden stetig differenzierbaren oberen Abschnitte (15_O) von den unteren, stetig differenzierbaren Abschnitten (15_U) unterscheiden.

7. Spiralfeder (4) nach Anspruch 5, wobei die untere kurze Seite (24_U) und die kurze obere Seite (24_O) mit einer SiO₂ - Schicht (20) versehen ist, so dass der Kern (16) von einer SiO₂ - Schicht (20) umgeben ist, wobei sich die Dicke und/oder Form der SiO₂ - Schicht (20) an der unteren kurzen Seite (24_U) und der oberen kurzen Seite (24_O) unterscheiden.

8. Spiralfeder (4) nach den vorangehenden Ansprüchen, wobei die Spiralfeder (4) einen Spiralfederbefestigungsabschnitt (4.1), einen Spiralfederendabschnitt (4.2) und mindestens einen dazwischenliegenden Spiralfederringabschnitt (4.3) umfasst.

9. Mechanische Uhr mit einer Spiralfeder (4) nach den Ansprüchen 1 bis 8.

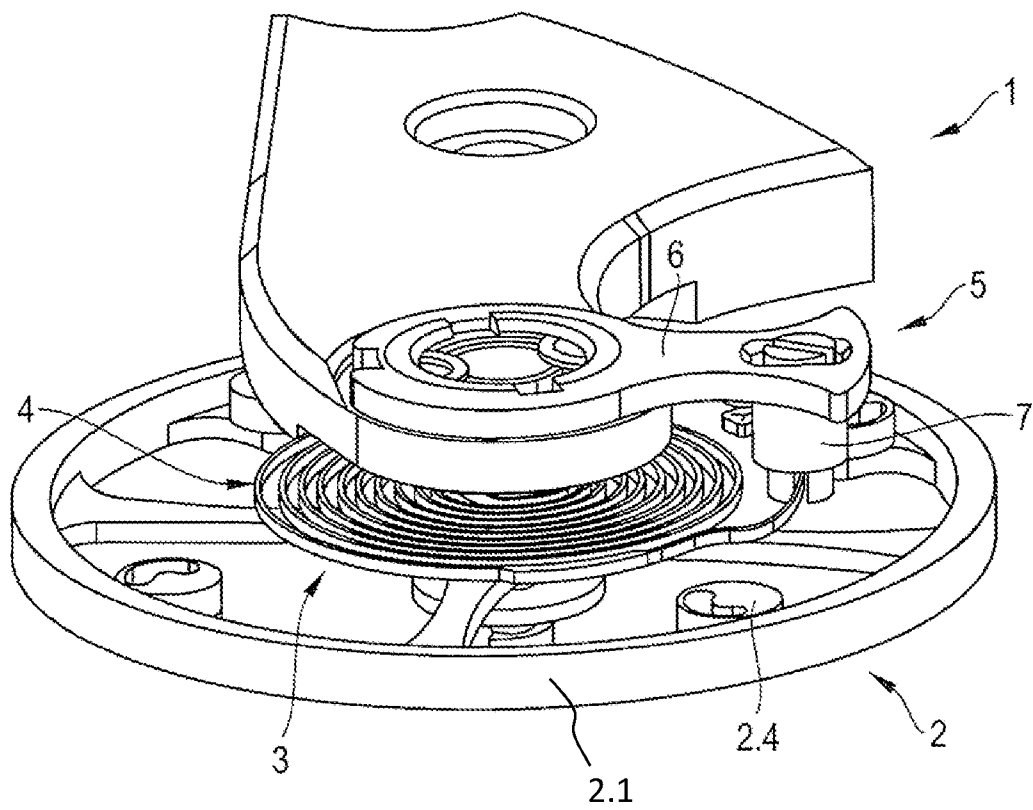
10. Verfahren zur Herstellung einer Spiralfeder (4) aus einem Siliziummaterial, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

- Bereitstellen eines Trägers (30);
- Aufbringen eines Siliziummaterials (32) auf den Träger (30), wobei das Siliziummaterial (32) einen Kern (16) mindestens einer Windung (9) der Spiralfeder (4) bildet;
- Ätzen der mindestens einen Windung (9) der Spiralfeder (4), so dass der Kern (16) der mindestens einen Windung (9) der Spiralfeder (4) ausgeformt wird, der zwei lange, parallele und geradlinige Seiten (22) und zwei kurze parallele und geradlinige Seiten (24_O, 24_U) umfasst;
- Ausführen einer thermischen Oxidation, wobei eine Schicht (20) eines Oxids zumindest auf die durch die langen Seiten (22) definierten und freigelegten Seitenflächen der Spiralfeder aufwächst; und
- Entfernen des Trägers (30) von dem Siliziummaterial(32).

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei beim Ausführen der thermischen Oxidation die Schicht (20) des Oxids auf die durch die langen Seiten (22) definierten und freigelegten Seitenflächen und die durch die obere, kurze und geradlinige Seite (24_o) definierte und freigelegte Seitenfläche der Spiralfeder aufwächst.
- 5 12. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die obere, kurze und geradlinige Seite (24_o) beidseits über jeweils einen stetig differenzierbaren oberen Abschnitt (15_o) mit den gegenüberliegenden langen Seiten (22) verbunden ist und wobei beim Ausführen der thermischen Oxidation die Schicht (20) des Oxids auf die durch die langen Seiten (22), die stetig differenzierbaren oberen Abschnitte (15_o) und
10 die obere, kurze und geradlinige Seite (24_o) definierten und freigelegten Seitenflächen aufwächst.
13. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die obere, kurze und geradlinige Seite (24_o) beidseits über jeweils einen stetig differenzierbaren oberen Abschnitt (15_o) mit den gegenüberliegenden langen Seiten (22) verbunden ist und eine untere,
15 kurze und geradlinige Seite (24_u) beidseits über jeweils einen stetig differenzierbaren unteren Abschnitt (15_u) mit den gegenüberliegenden langen Seiten (22) verbunden ist
14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei das Ätzen der mindestens einen Windung (9) der Spiralfeder (4) derart ausgeführt wird, dass im Bereich der unteren Seite (24_u) des Kerns (16) eine Hinterätzung (53) ausgebildet wird, so dass zumindest
20 der stetig differenzierbare untere Abschnitt (15_u), der die gegenüberliegenden langen Seiten (22) jeweils beidseits mit der unteren, kurzen und geradlinigen Seite (24_u) verbindet, vom Träger (30) beabstandet ist.
15. Verfahren nach Anspruch 13, wobei zwischen dem Träger (30) und dem Siliziummaterial (32) für den Kern (16) der mindestens einen Windung (9) der Spiralfeder eine Trennschicht (31) vorgesehen ist und das Ätzen der mindestens
25 einen Windung (9) der Spiralfeder (16) derart ausgeführt wird, dass im Bereich der unteren, kurzen und geradlinigen Seite (24_u) des Kerns (16) eine Hinterätzung (53) zumindest in der Trennschicht (31) ausgebildet wird, so dass
30 zumindest der stetig differenzierbare untere Abschnitt (15_u), der die gegenüberliegenden langen Seiten (22) jeweils beidseits mit der unteren, kurzen und geradlinigen Seite (24_u) verbindet, vom Träger (30) beabstandet ist.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei das Ätzen der mindestens einen Windung (9) der Spiralfeder (16) derart ausgeführt wird, dass unterhalb eines ursprünglichen Niveaus (52) des Trägers (30) geätzt wird.
- 5 17. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 15, wobei eine Schicht (20) aus einem Material zur Kompensation des thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Siliziummaterials des Kerns (16) der Windungen (9) auf die mittels des Ätzprozesses freigelegten Begrenzungsflächen der mindestens einen Windung (9) aufgebracht wird.
- 10 18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei das Material zur Kompensation des thermischen Ausdehnungskoeffizienten das gleiche Material, wie das der Trennschicht (31) ist.
- 15 19. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 18, wobei das Material der Schicht zur Kompensation des thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Siliziummaterials (32) eine SiO₂-Schicht ist, die mittels thermischer Oxidation des Siliziummaterials (32) des Kerns (16) gebildet wird.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 19, wobei das Entfernen des Trägers (30) mechanisch und/oder chemisch durchgeführt wird.
21. Mechanische Uhr mit einer Spiralfeder (4), die nach dem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 10 bis 20 hergestellt ist.

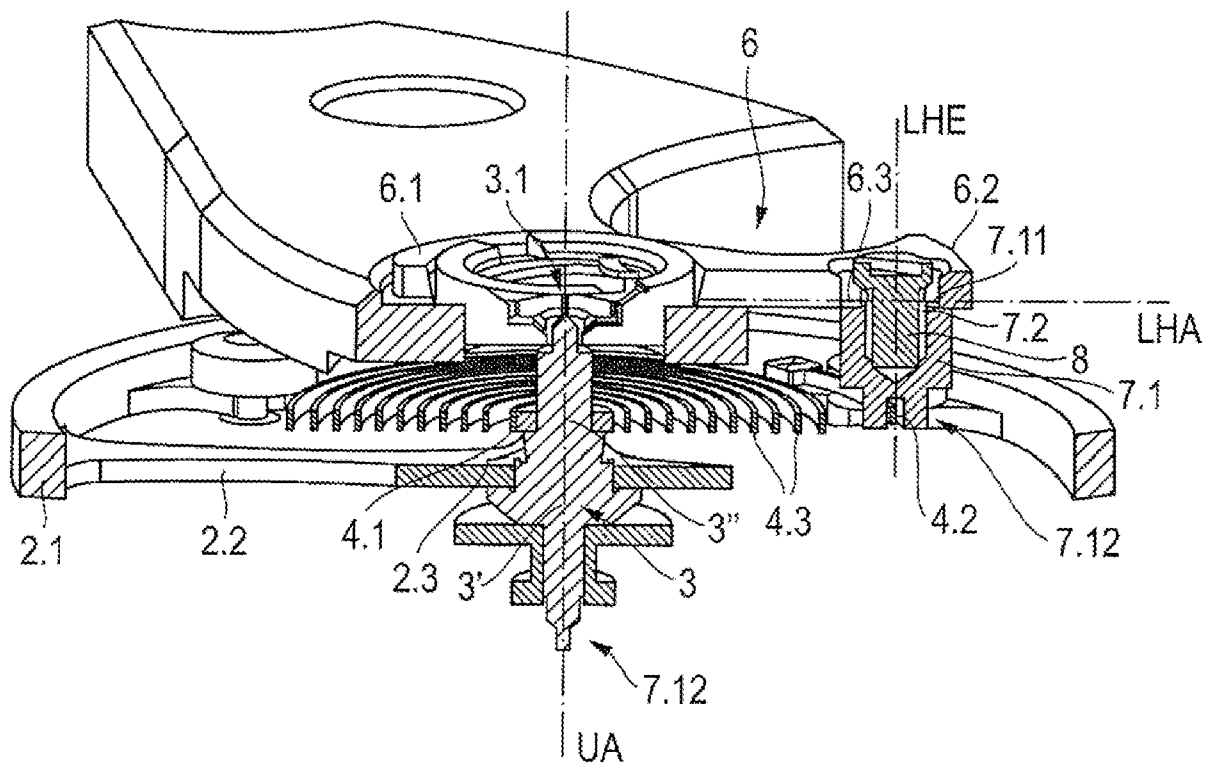
1/19



Stand der Technik

Fig. 1

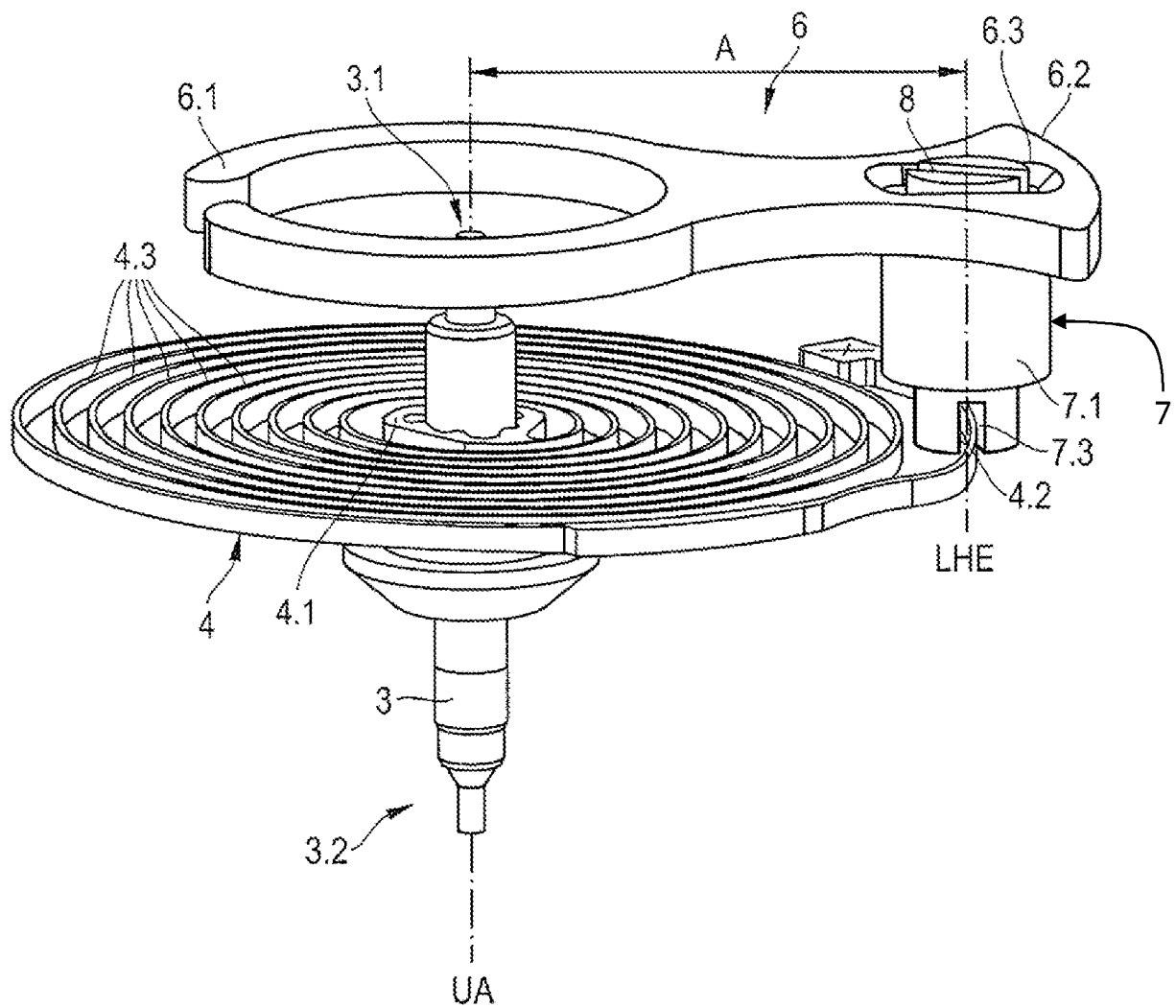
2/19



Stand der Technik

Fig. 2

3/19



Stand der Technik

Fig. 3

4/19

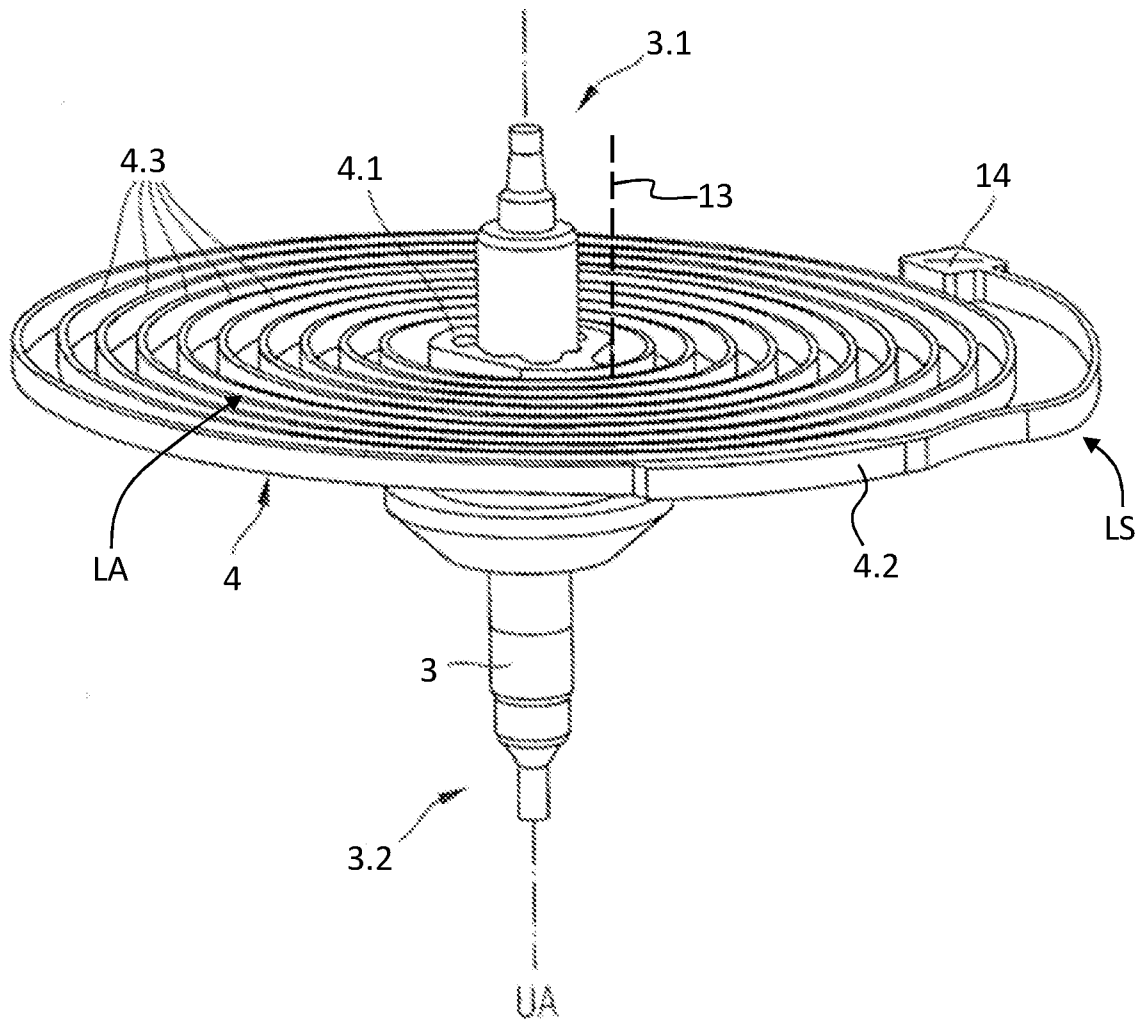


Fig. 4

5/19

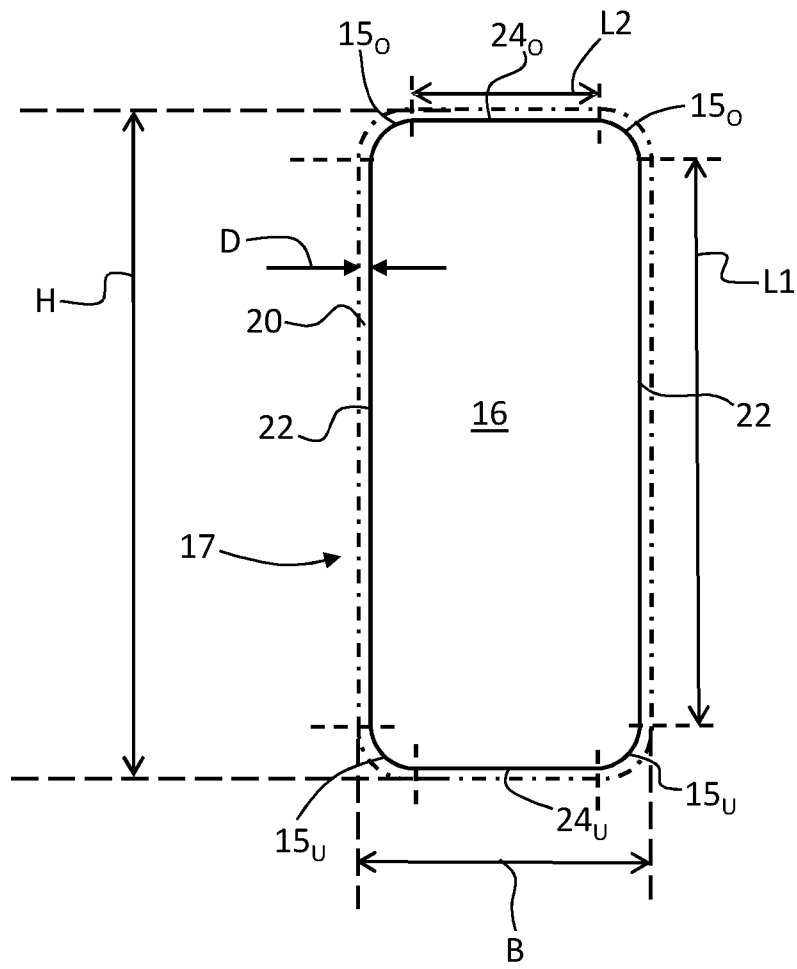


Fig. 5

6/19

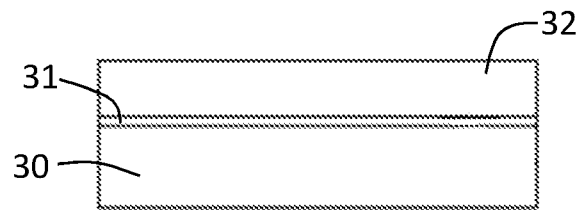


Fig. 6A

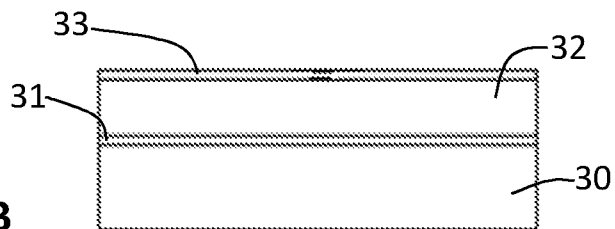


Fig. 6B

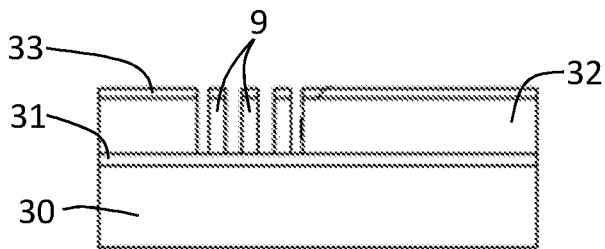


Fig. 6C

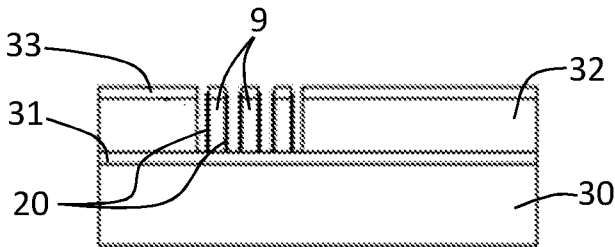
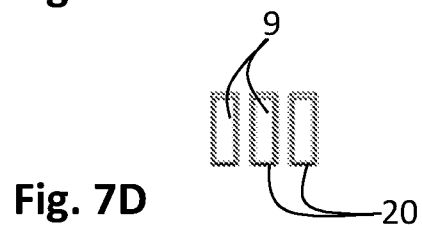
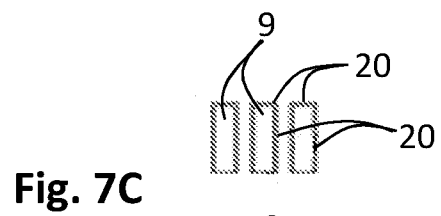
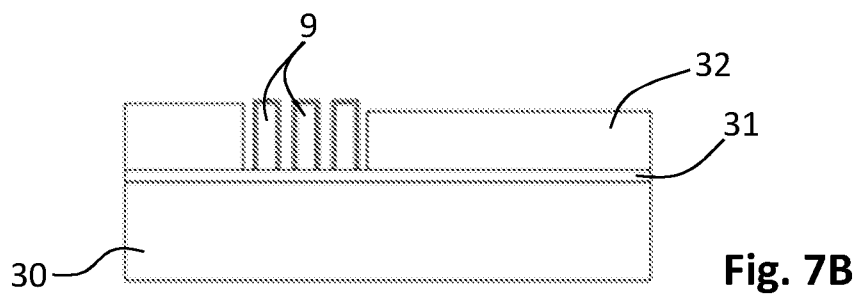


Fig. 6D

7/19



8/19

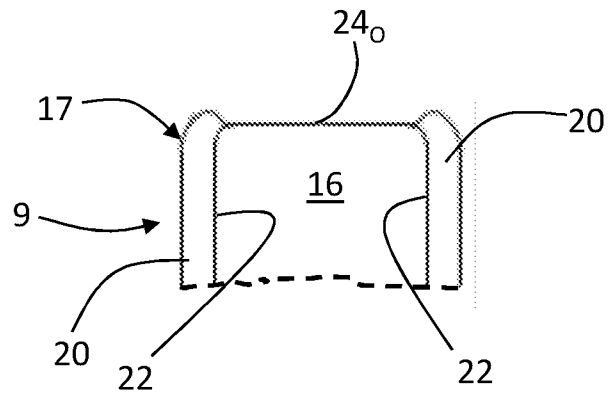


Fig. 8A

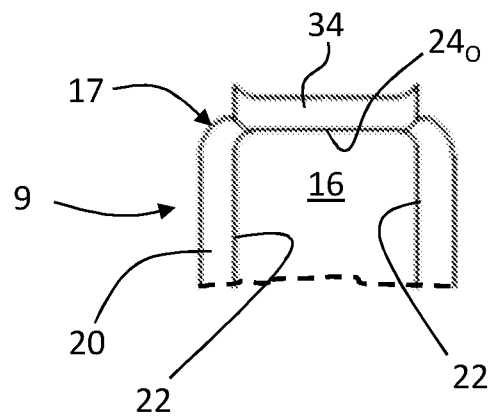


Fig. 8B

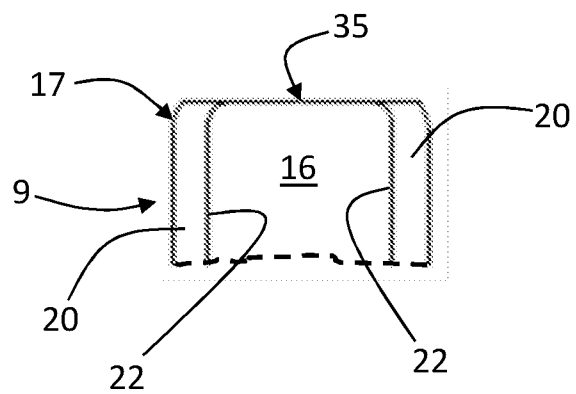


Fig. 8C

9/19

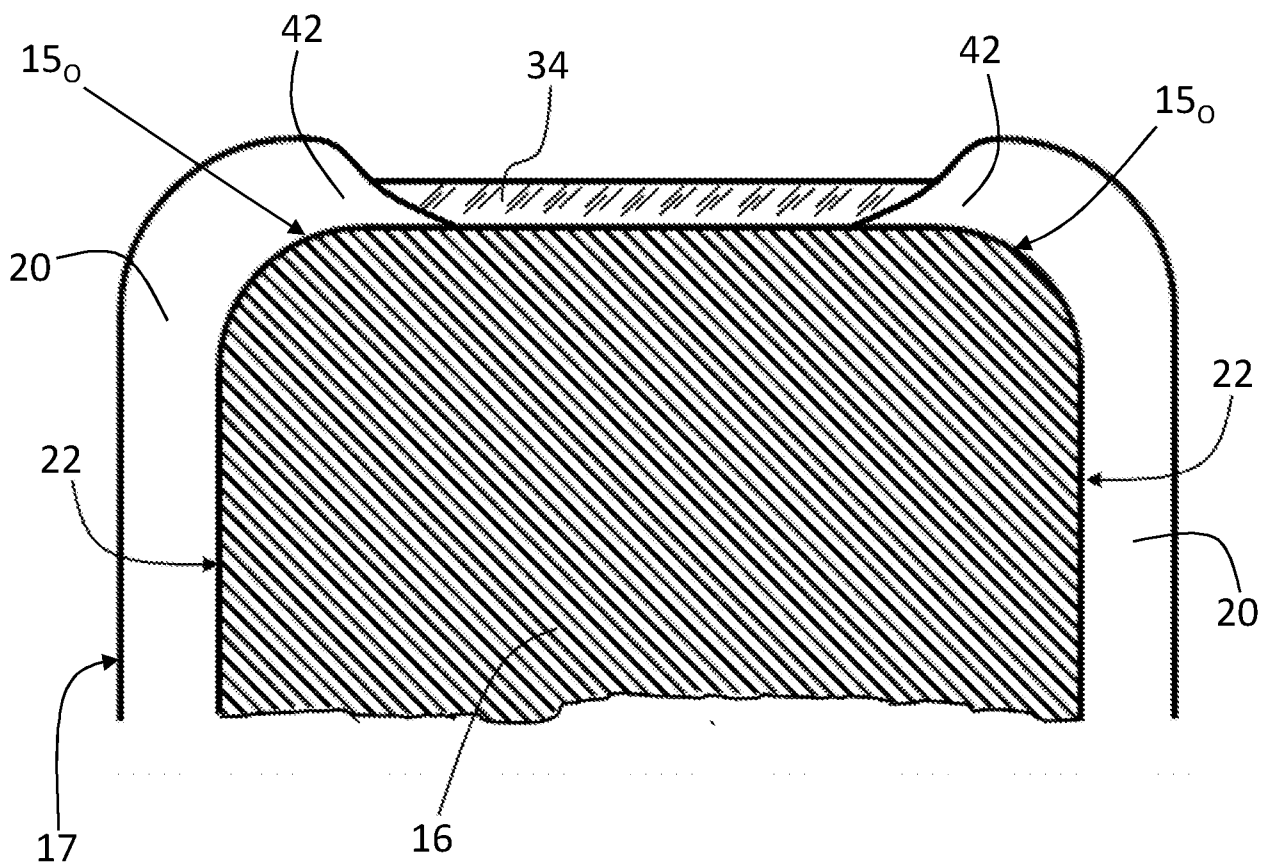


Fig. 9

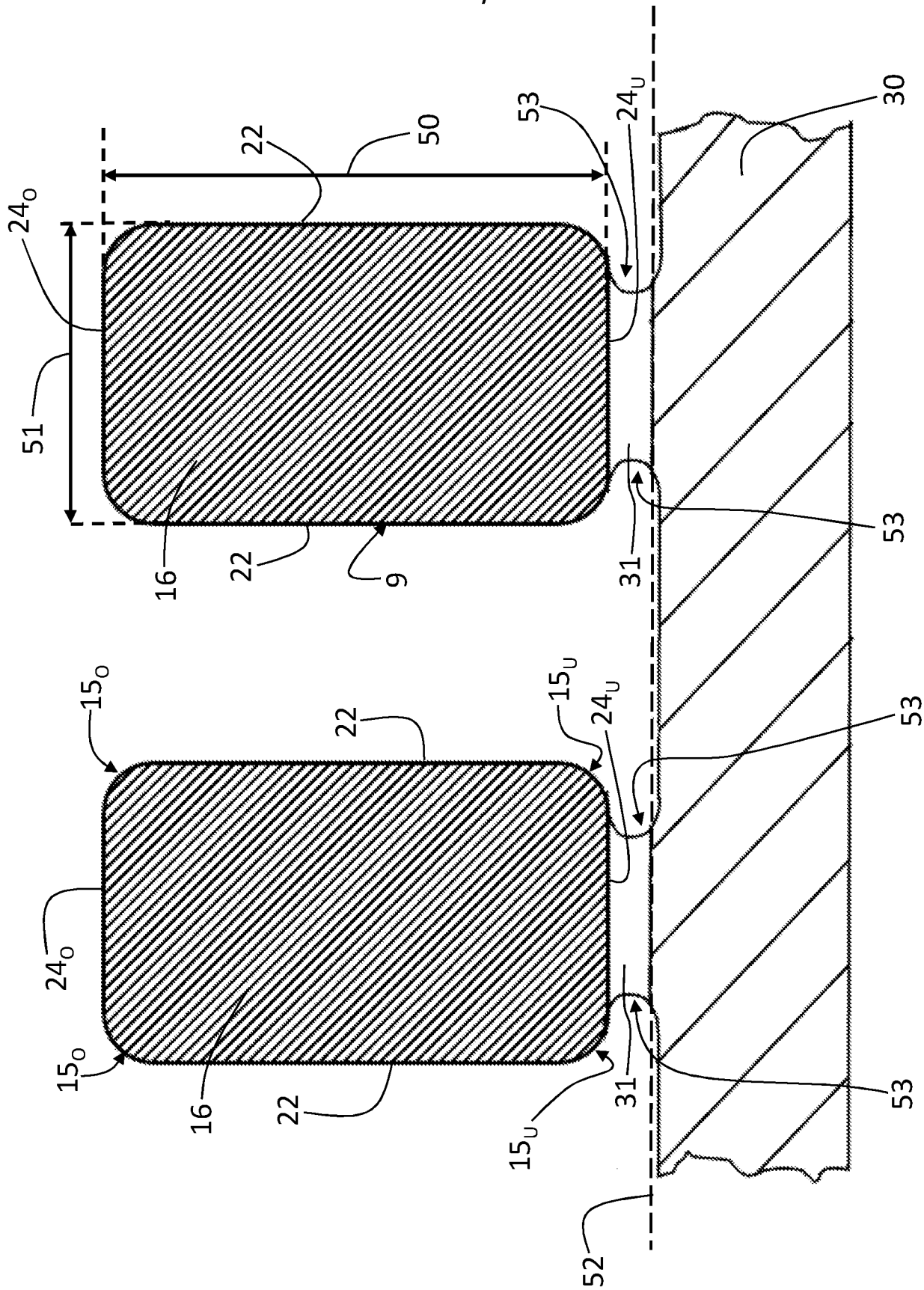


Fig. 10

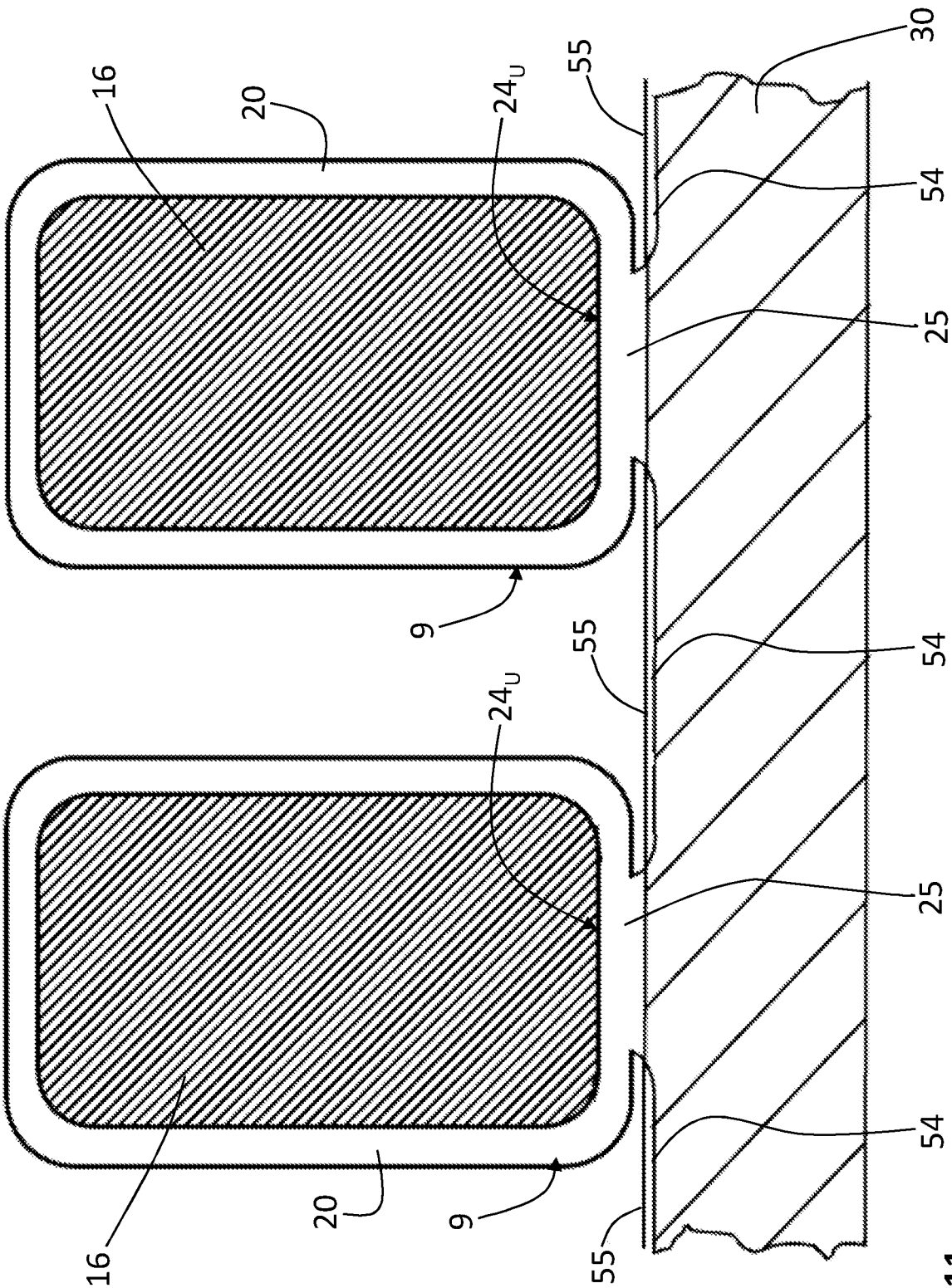


Fig. 11

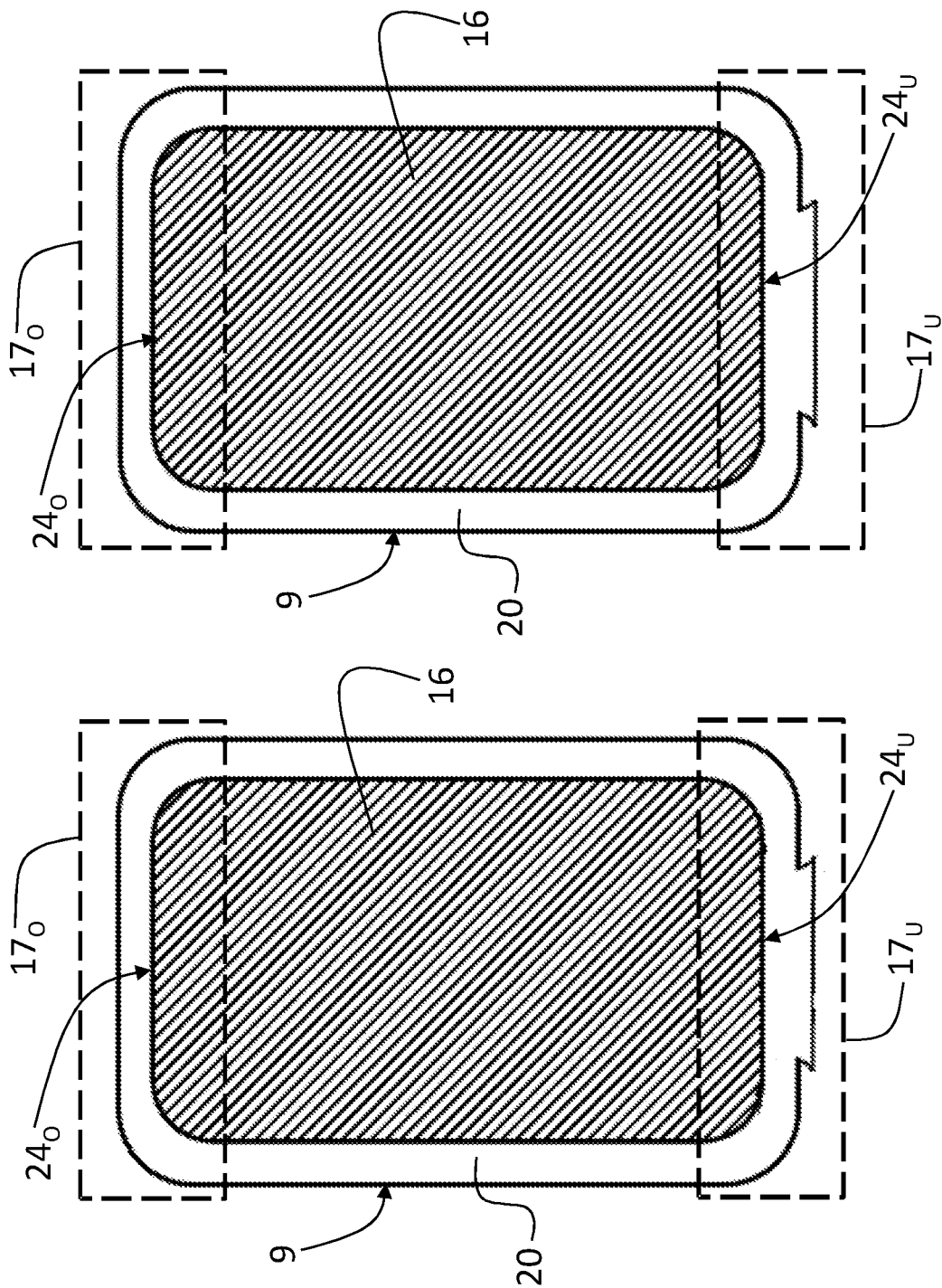


Fig. 12

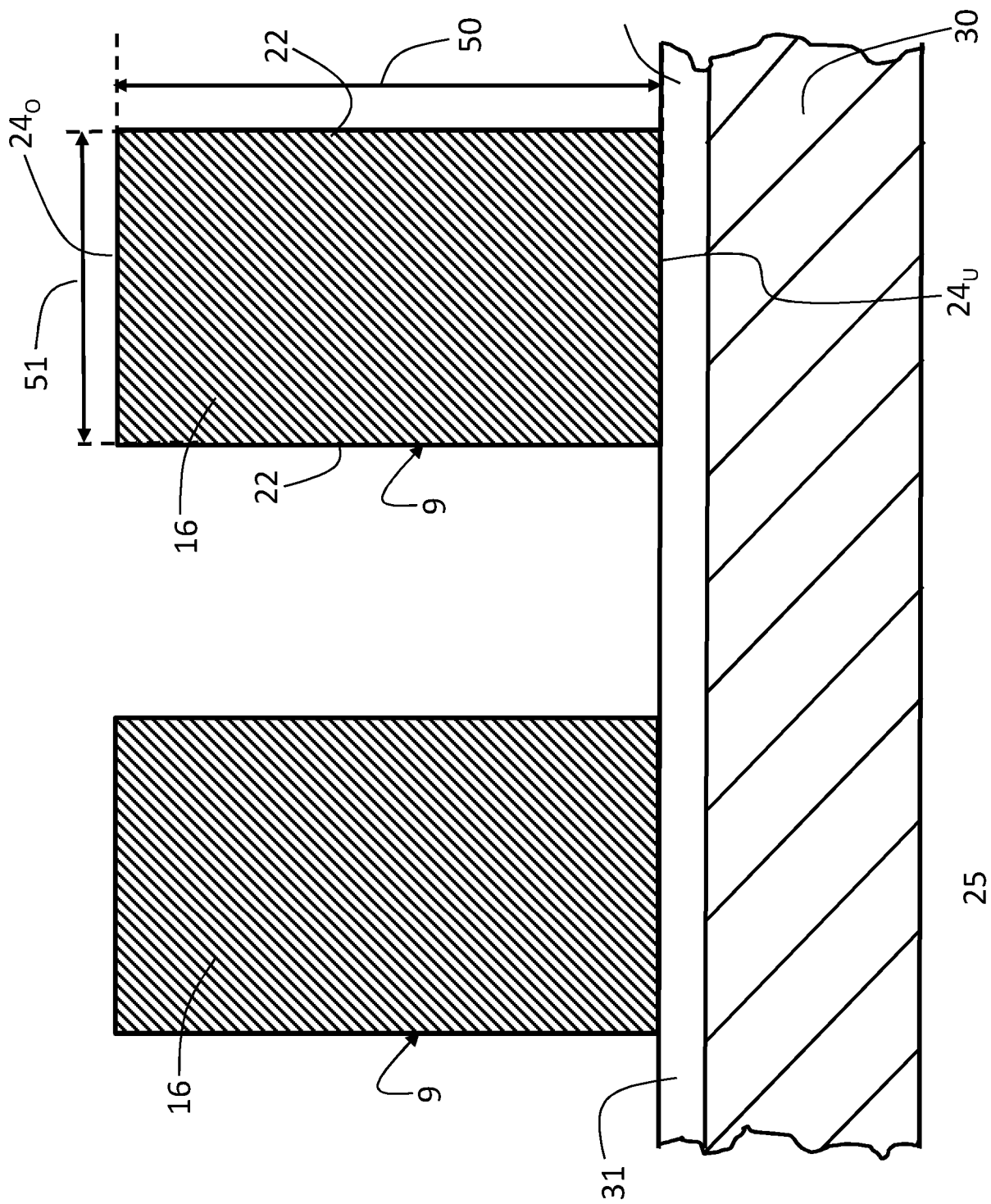


Fig. 13

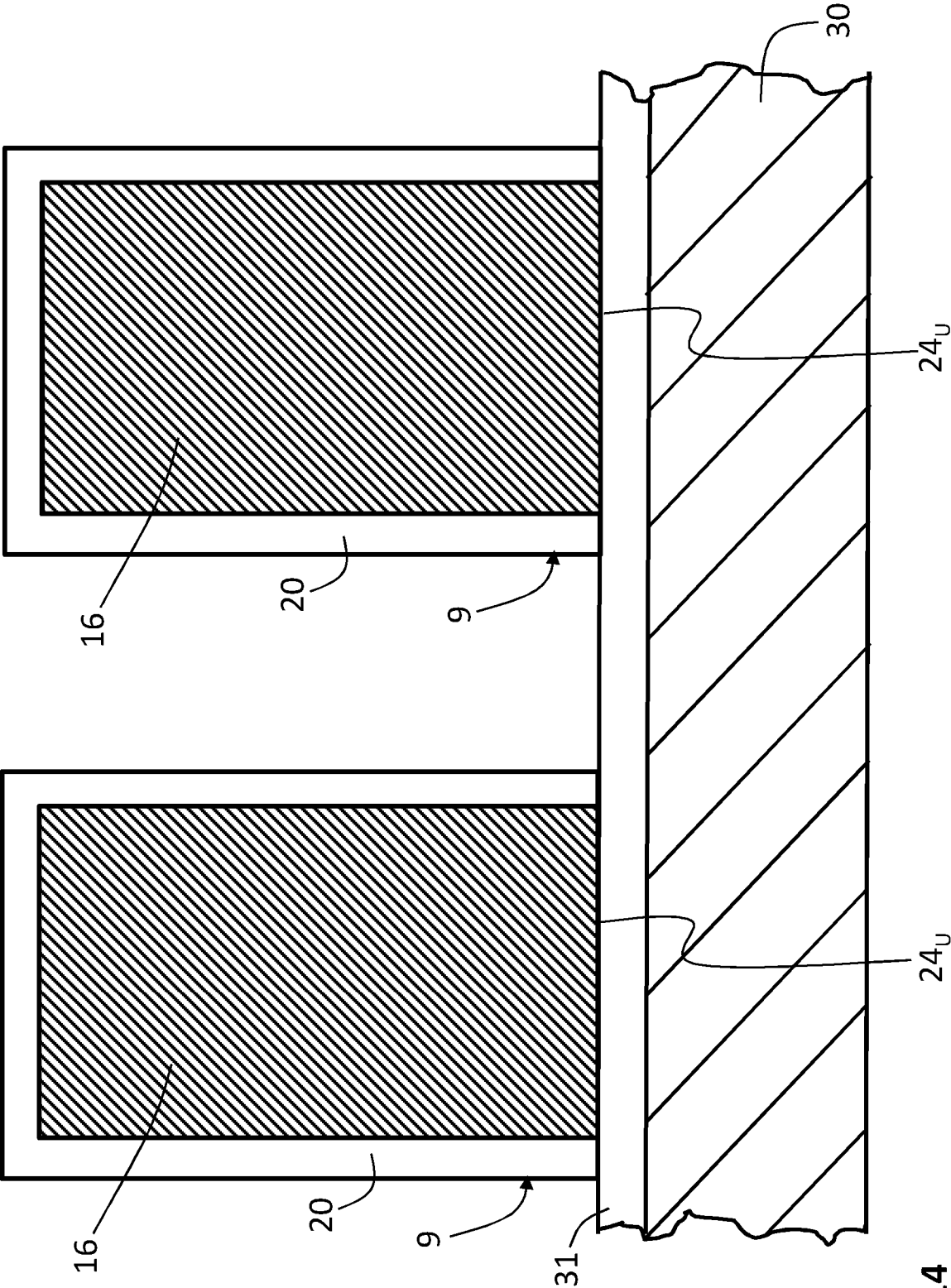


Fig. 14

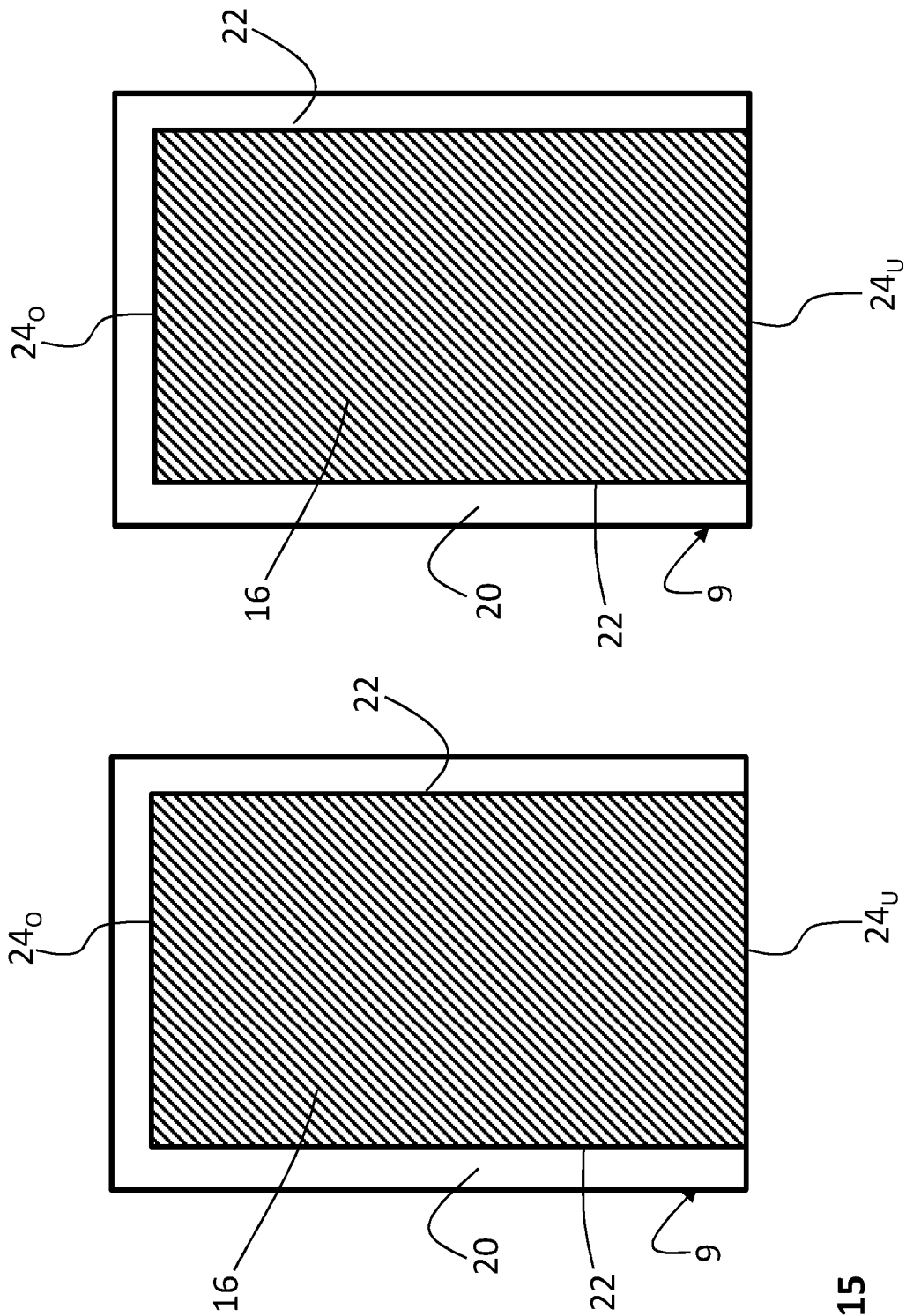


Fig. 15

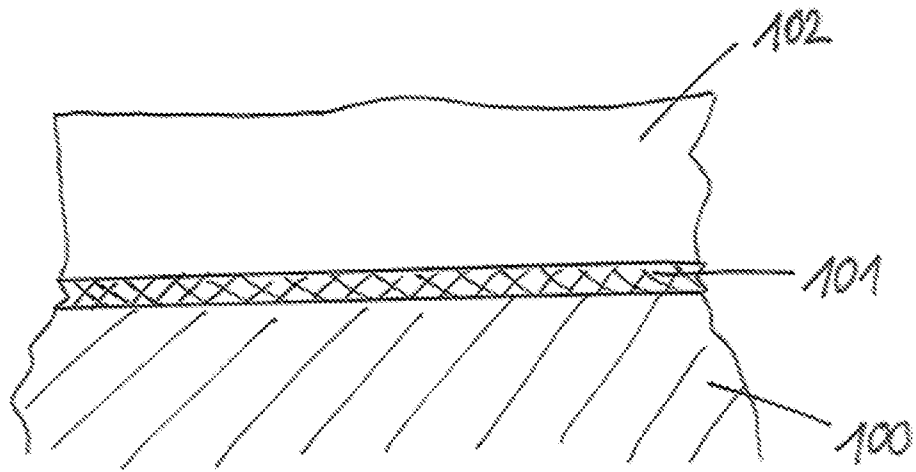


Fig. 16

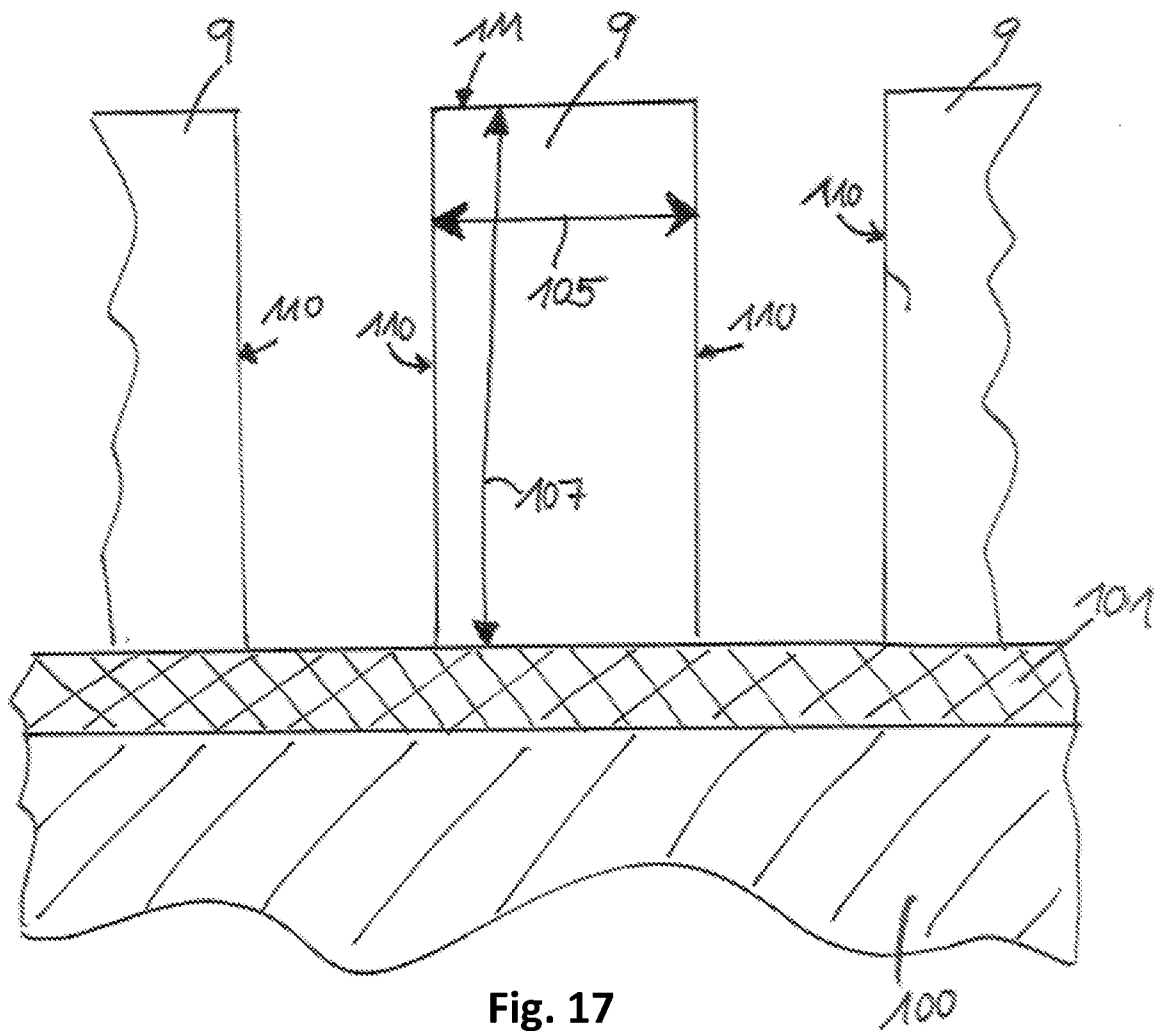


Fig. 17

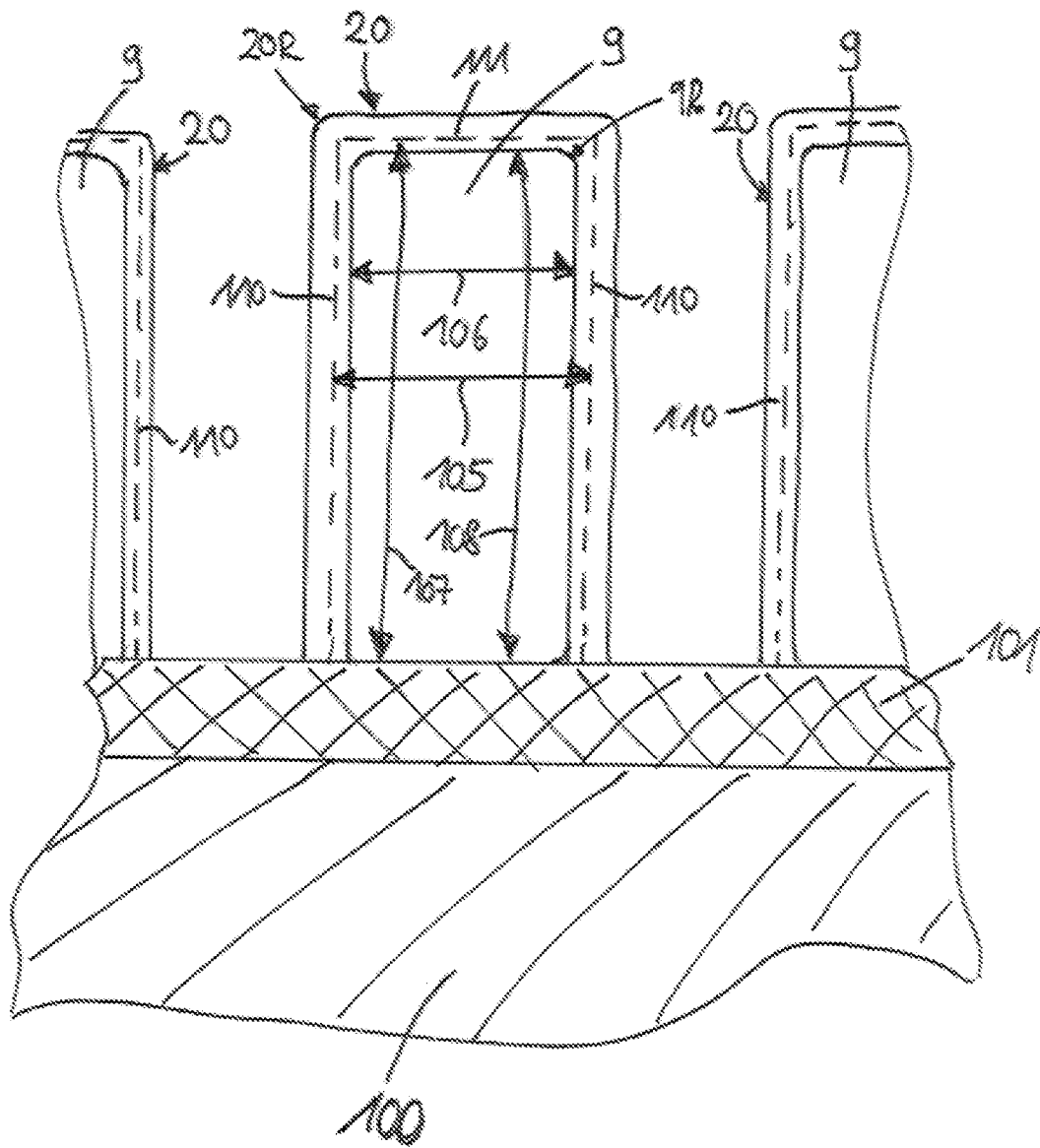


Fig. 18

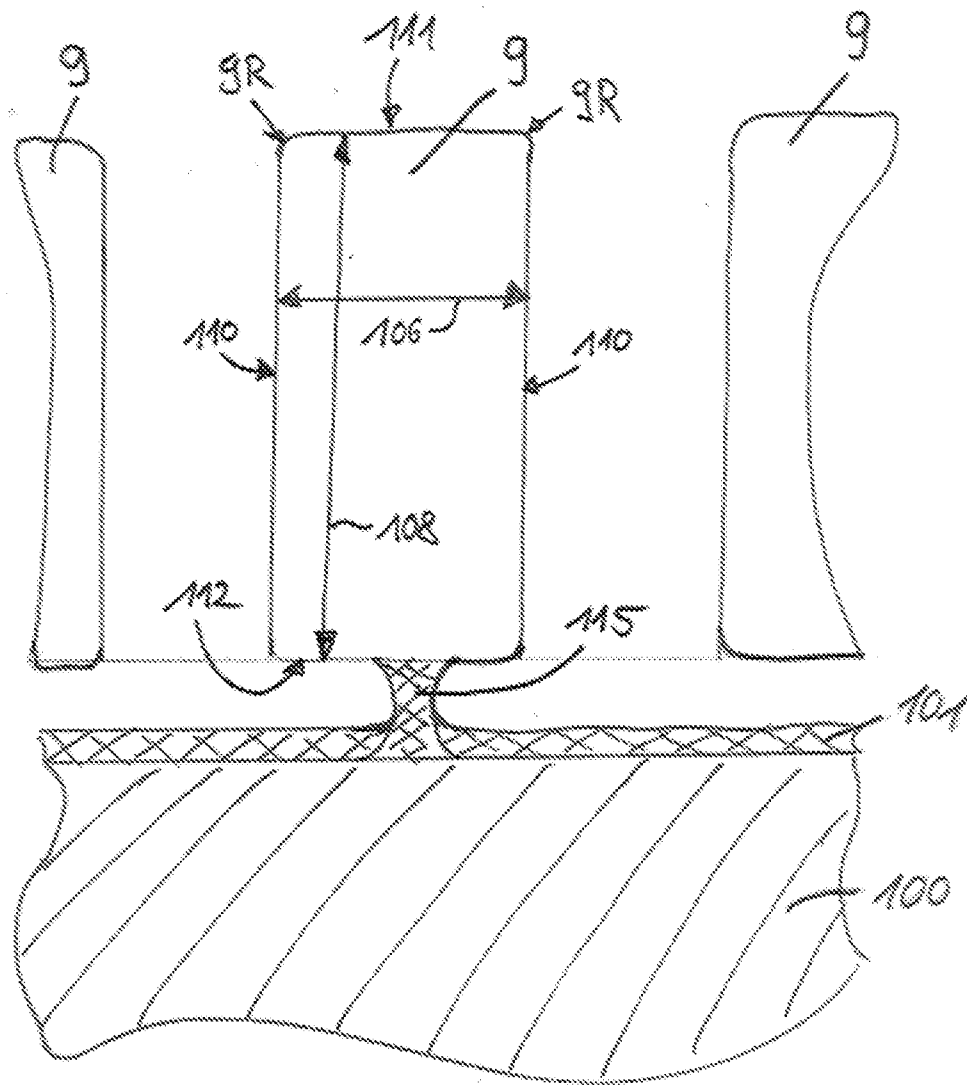


Fig. 19

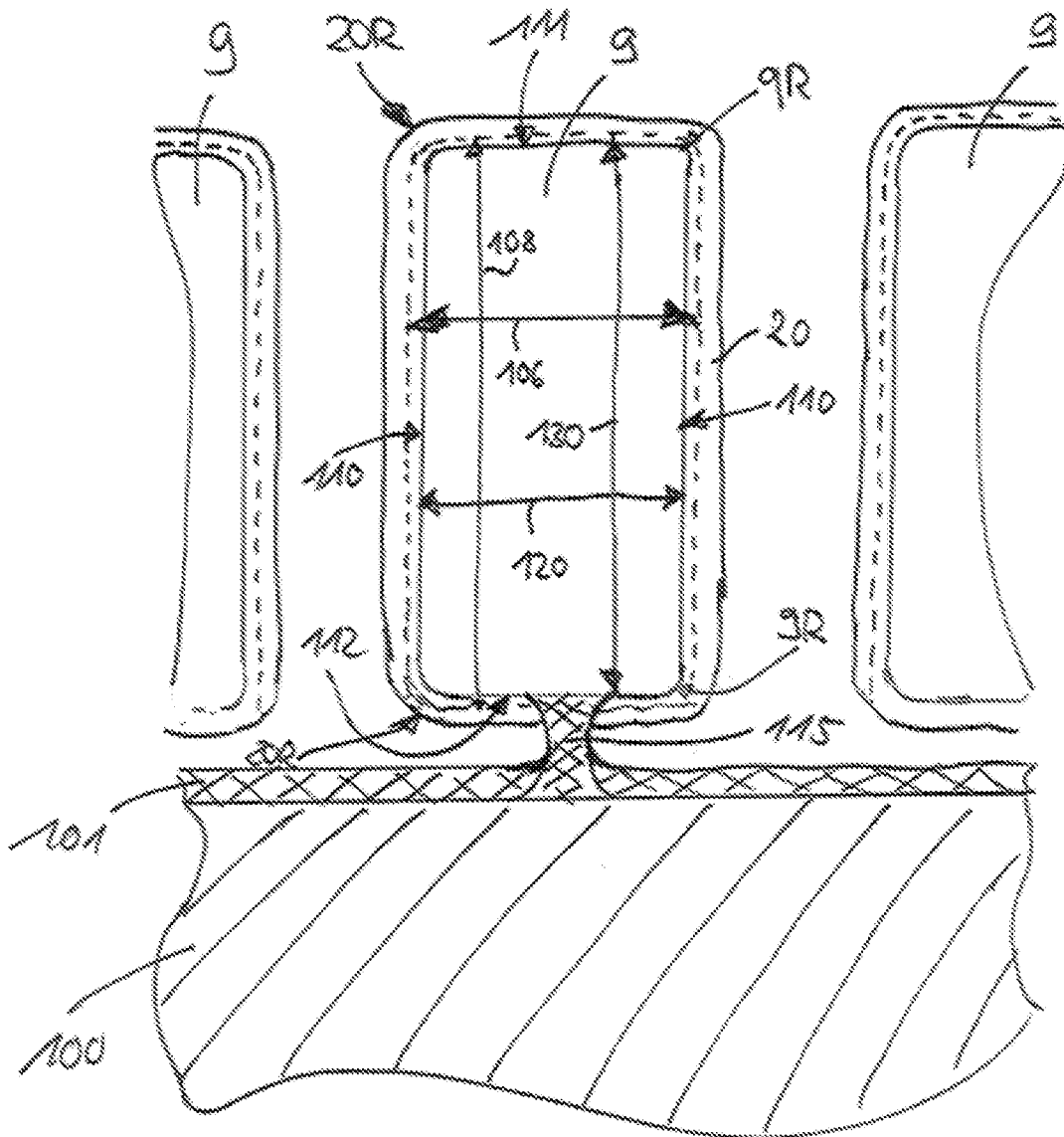


Fig. 20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/IB2016/053970

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G04B17/06
ADD.

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)
G04B

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	DE 10 2008 061182 A1 (DAMASKO KONRAD [DE])	1,2,8,9
Y	10 June 2010 (2010-06-10) figures 1,4a-4e	1-7, 10-13, 17-21 14-16
A	-----	
X	WO 2009/068091 A1 (MANUF ET FABRIQUE DE MONTRES E [CH]; GYGAX PIERRE [CH]; GLASSEY MARC-A) 4 June 2009 (2009-06-04)	1,2,8,9
Y	page 2, line 18 - page 4, line 25; figure 4	1-3,5,6, 17-19
	----- -/-	



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

9 November 2016

Date of mailing of the international search report

16/11/2016

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Zuccatti, Stefano

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/IB2016/053970

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 422 436 A1 (CSEMCT SUISSE D ELECTRONIQUE E [CH]) 26 May 2004 (2004-05-26) cited in the application	1,2,8,9
Y	paragraphs [0009] - [0014], [0024]; figures 2a, 2b -----	1-3,5,6, 17-19
X	EP 2 284 628 A2 (ETA SA MFT HORLOGERE SUISSE [CH]) 16 February 2011 (2011-02-16) cited in the application	1,2,8,9
Y	paragraphs [0004], [0009]; figure 3 -----	4,7, 17-19
X	WO 2007/000271 A1 (ETA SA MFT HORLOGERE SUISSE [CH]; RAPPO RENE [CH]; LIPPUNER MARC [CH];) 4 January 2007 (2007-01-04)	1,2,8,9
Y	paragraph [0010]; figures 1-3 -----	1-3,5,6
X	DE 10 2008 029429 A1 (DAMASKO GMBH) 23 April 2009 (2009-04-23)	1
Y	paragraphs [0009], [0010], [0011], [0035], [0037], [0039], [0051] - [0053]; figures 7,18 -----	10-13, 17-21
Y	CH 703 445 B1 (SUISSE ELECTRONIQUE MICROTECH [CH]) 31 January 2012 (2012-01-31) paragraphs [0006] - [0009]; figure 2 -----	1-3,5,6, 12,13
E	EP 3 056 948 A1 (MASTER DYNAMIC LTD [CN]) 17 August 2016 (2016-08-17) page 11, lines 12-22; figure 3 page 12, lines 16-25 page 17, line 12- - page 18, line 1 -----	1-3,5,8, 9
A	LEE MING-CHANG M ET AL: "Thermal annealing in hydrogen for 3-D profile transformation on Silicon-on-Insulator and sidewall roughness reduction", JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, IEEE SERVICE CENTER, US, vol. 15, no. 2, 1 April 2006 (2006-04-01), pages 338-343, XP002454307, ISSN: 1057-7157, DOI: 10.1109/JMEMS.2005.859092 the whole document -----	3-7,12, 13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/IB2016/053970

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102008061182 A1	10-06-2010	NONE	
WO 2009068091 A1	04-06-2009	AT 501467 T CH 699494 B1 CN 101878454 A EP 2215531 A1 HK 1149334 A1 JP 5613056 B2 JP 2011505003 A US 2010290320 A1 WO 2009068091 A1	15-03-2011 30-09-2010 03-11-2010 11-08-2010 06-09-2013 22-10-2014 17-02-2011 18-11-2010 04-06-2009
EP 1422436 A1	26-05-2004	AT 307990 T AU 2003271504 A1 CN 1717552 A DE 60206939 D1 DE 60206939 T2 EP 1422436 A1 HK 1067687 A1 JP 4515913 B2 JP 2006507454 A US 2005281137 A1 WO 2004048800 A1	15-11-2005 18-06-2004 04-01-2006 01-12-2005 27-07-2006 26-05-2004 19-05-2006 04-08-2010 02-03-2006 22-12-2005 10-06-2004
EP 2284628 A2	16-02-2011	CN 101995812 A EP 2284628 A2 EP 2284629 A1 HK 1156117 A1 JP 5806453 B2 JP 2011041282 A US 2011037537 A1	30-03-2011 16-02-2011 16-02-2011 02-05-2014 10-11-2015 24-02-2011 17-02-2011
WO 2007000271 A1	04-01-2007	AT 416401 T CH 696881 A5 CN 101213497 A EP 1904901 A1 ES 2318778 T3 HK 1122365 A1 JP 3154091 U JP 2008544290 A US 2010214880 A1 WO 2007000271 A1	15-12-2008 15-01-2008 02-07-2008 02-04-2008 01-05-2009 12-08-2011 08-10-2009 04-12-2008 26-08-2010 04-01-2007
DE 102008029429 A1	23-04-2009	DE 102008029429 A1 EP 2201428 A1 EP 2741149 A1 WO 2009049591 A1	23-04-2009 30-06-2010 11-06-2014 23-04-2009
CH 703445 B1	31-01-2012	NONE	
EP 3056948 A1	17-08-2016	CH 710795 A2 CN 105892259 A EP 3056948 A1 HK 1209578 A2 US 2016238994 A1 WO 2016131377 A1	31-08-2016 24-08-2016 17-08-2016 01-04-2016 18-08-2016 25-08-2016

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G04B17/06
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G04B

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	DE 10 2008 061182 A1 (DAMASKO KONRAD [DE])	1,2,8,9
Y	10. Juni 2010 (2010-06-10)	
	Abbildungen 1,4a-4e	1-7, 10-13, 17-21
A		14-16
X	WO 2009/068091 A1 (MANUF ET FABRIQUE DE MONTRES E [CH]; GYGAX PIERRE [CH]; GLASSEY MARC-A) 4. Juni 2009 (2009-06-04)	1,2,8,9
Y	Seite 2, Zeile 18 - Seite 4, Zeile 25; Abbildung 4	1-3,5,6, 17-19
	----- -/-	



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

9. November 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

16/11/2016

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Zuccatti, Stefano

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 422 436 A1 (CSEMCT SUISSE D ELECTRONIQUE E [CH]) 26. Mai 2004 (2004-05-26) in der Anmeldung erwähnt	1,2,8,9
Y	Absätze [0009] - [0014], [0024]; Abbildungen 2a, 2b -----	1-3,5,6, 17-19
X	EP 2 284 628 A2 (ETA SA MFT HORLOGERE SUISSE [CH]) 16. Februar 2011 (2011-02-16) in der Anmeldung erwähnt	1,2,8,9
Y	Absätze [0004], [0009]; Abbildung 3 -----	4,7, 17-19
X	WO 2007/000271 A1 (ETA SA MFT HORLOGERE SUISSE [CH]; RAPPO RENE [CH]; LIPPUNER MARC [CH];) 4. Januar 2007 (2007-01-04)	1,2,8,9
Y	Absatz [0010]; Abbildungen 1-3 -----	1-3,5,6
X	DE 10 2008 029429 A1 (DAMASKO GMBH) 23. April 2009 (2009-04-23)	1
Y	Absätze [0009], [0010], [0011], [0035], [0037], [0039], [0051] - [0053]; Abbildungen 7,18 -----	10-13, 17-21
Y	CH 703 445 B1 (SUISSE ELECTRONIQUE MICROTECH [CH]) 31. Januar 2012 (2012-01-31) Absätze [0006] - [0009]; Abbildung 2 -----	1-3,5,6, 12,13
E	EP 3 056 948 A1 (MASTER DYNAMIC LTD [CN]) 17. August 2016 (2016-08-17) Seite 11, Zeilen 12-22; Abbildung 3 Seite 12, Zeilen 16-25 Seite 17, Zeile 12- - Seite 18, Zeile 1 -----	1-3,5,8, 9
A	LEE MING-CHANG M ET AL: "Thermal annealing in hydrogen for 3-D profile transformation on Silicon-on-Insulator and sidewall roughness reduction", JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, IEEE SERVICE CENTER, US, Bd. 15, Nr. 2, 1. April 2006 (2006-04-01), Seiten 338-343, XP002454307, ISSN: 1057-7157, DOI: 10.1109/JMEMS.2005.859092 das ganze Dokument -----	3-7,12, 13

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/IB2016/053970

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102008061182 A1	10-06-2010	KEINE	
WO 2009068091 A1	04-06-2009	AT 501467 T	15-03-2011
		CH 699494 B1	30-09-2010
		CN 101878454 A	03-11-2010
		EP 2215531 A1	11-08-2010
		HK 1149334 A1	06-09-2013
		JP 5613056 B2	22-10-2014
		JP 2011505003 A	17-02-2011
		US 2010290320 A1	18-11-2010
		WO 2009068091 A1	04-06-2009
EP 1422436 A1	26-05-2004	AT 307990 T	15-11-2005
		AU 2003271504 A1	18-06-2004
		CN 1717552 A	04-01-2006
		DE 60206939 D1	01-12-2005
		DE 60206939 T2	27-07-2006
		EP 1422436 A1	26-05-2004
		HK 1067687 A1	19-05-2006
		JP 4515913 B2	04-08-2010
		JP 2006507454 A	02-03-2006
		US 2005281137 A1	22-12-2005
		WO 2004048800 A1	10-06-2004
EP 2284628 A2	16-02-2011	CN 101995812 A	30-03-2011
		EP 2284628 A2	16-02-2011
		EP 2284629 A1	16-02-2011
		HK 1156117 A1	02-05-2014
		JP 5806453 B2	10-11-2015
		JP 2011041282 A	24-02-2011
		US 2011037537 A1	17-02-2011
WO 2007000271 A1	04-01-2007	AT 416401 T	15-12-2008
		CH 696881 A5	15-01-2008
		CN 101213497 A	02-07-2008
		EP 1904901 A1	02-04-2008
		ES 2318778 T3	01-05-2009
		HK 1122365 A1	12-08-2011
		JP 3154091 U	08-10-2009
		JP 2008544290 A	04-12-2008
		US 2010214880 A1	26-08-2010
		WO 2007000271 A1	04-01-2007
DE 102008029429 A1	23-04-2009	DE 102008029429 A1	23-04-2009
		EP 2201428 A1	30-06-2010
		EP 2741149 A1	11-06-2014
		WO 2009049591 A1	23-04-2009
CH 703445 B1	31-01-2012	KEINE	
EP 3056948 A1	17-08-2016	CH 710795 A2	31-08-2016
		CN 105892259 A	24-08-2016
		EP 3056948 A1	17-08-2016
		HK 1209578 A2	01-04-2016
		US 2016238994 A1	18-08-2016
		WO 2016131377 A1	25-08-2016