



SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft  
Eidgenössisches Institut für Geistiges Eigentum

(11) **CH** **703 051 A2**

(51) Int. Cl.: **G04B 17/06** (2006.01)  
**H01L 41/08** (2006.01)

**Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein**

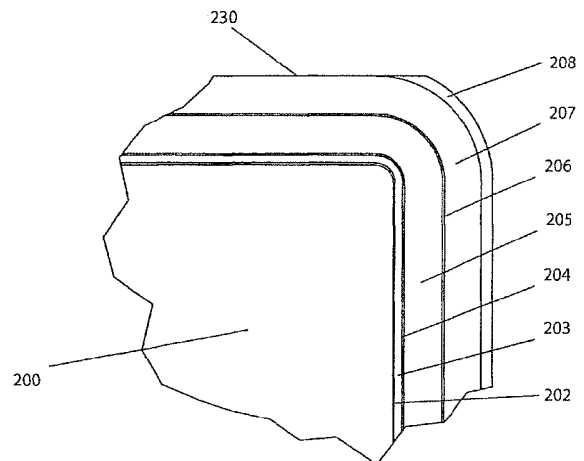
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer:	00708/11	(71) Anmelder:	Team SmartFish GmbH, Obere Spichermatt 17 6371 Stans (CH)
(22) Anmeldedatum:	21.04.2011	(72) Erfinder:	Konrad Schafroth, 3011 Bern (CH)
(43) Anmeldung veröffentlicht:	31.10.2011	(74) Vertreter:	P&TS SA, Av. J.-J. Rousseau 4 P.O. Box 2848 2001 Neuchâtel (CH)
(30) Priorität:	21.04.2010 CH 580/10 06.05.2010 CH 692/10 12.08.2010 CH 1298/10 07.09.2010 CH 1440/10 10.09.2010 CH 1454/10 23.09.2010 CH 1537/10 02.11.2010 CH 1824/10 18.11.2010 CH 1931/10 21.12.2010 CH 2132/10 24.02.2011 CH 322/11		

(54) **Spiralfeder für ein Uhrwerk und entsprechendes Herstellungsverfahren.**

(57) Verfahren zur Herstellung einer Spiralfeder für das Regelorgan eines Uhrwerks, mit folgenden Schritten:  
– Herstellung einer Spiralfeder aus einem Wafer von Halbleitermaterial;  
Beschichtung der bereits verformten Spiralfeder mit einem piezoelektrischen Material (205, 207).



## Beschreibung

### Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf die Uhrenindustrie. Diese Erfindung betrifft insbesondere eine piezoelektrische Spiralfeder für ein Uhrwerk, und ein Verfahren zur Herstellung einer Spiralfeder aus piezoelektrischem Material. Solche Spiralfedern werden im Regelorgan eines mechanischen Uhrwerks verwendet.

### Stand der Technik

[0002] Mechanische Uhren weisen ein Regelorgan mit einer Spiralfeder und einer Unruhe auf, deren Schwingungen den Gang der Uhr bestimmt.

[0003] Aus der JP2002 228 774A ist ein Uhrwerk mit einer piezoelektrischen Spiralfeder bekannt. Die Spiralfeder bildet mit einer Unruhe ein Regelorgan für die Uhr. Eine elektronische Schaltung regelt den Gang des Regelorgans durch Einstellung der Steifigkeit des piezoelektrischen Materials in der Spiralfeder.

[0004] Piezomaterialien entwickeln beim Einwirken einer äusseren Kraft eine elektrische Ladungsverschiebung, die über metallisch beschichteten Augenflächen (Elektroden) als Spannung abgegriffen werden kann. Die elektrischen Eigenschaften variieren mit der Richtung der angreifenden Kraft oder der Dehnung oder Biegung des Piezomaterials. Beim Verbiegen des Piezomaterials in eine Richtung wird beispielsweise eine positive Spannung erzeugt, beim Zurückfedern oder Verbiegen in die Gegenrichtung wird ein gegen gepolter Spannungsimpuls erzeugt. Die Amplitude ist von der mechanischen Verformung im Piezomaterial d.h. vom Auslenkungswinkel und von der Geschwindigkeit der Auslenkung abhängig. In den genannten Piezomaterialien können hohe Spannungen und hohe Ladungsdichten generiert und über einen Brückengleichrichter in einen nachgeschalteten Kondensator eingespeist werden, um Energie zur Speisung einer elektronischen Schaltung zu speichern.

[0005] Aus der Unterscheidung Transversaleffekt (Quereffekt) und Longitudinaleffekt (Längseffekt) ergeben sich drei verschiedene Grundelemente für piezoelektrische Generatoren: der Dickenschwinger, das Querdehnelement und als besondere Bauform der Biegeschwinger (Bimorph). Dieser ist eine Kombination aus zwei Querdehnelementen. Durch eine Deformation des Biegeschwingers ergibt sich eine unterschiedliche Belastung der beiden Querdehnelemente. Im einen Querdehnelement wird eine Druckspannung erzeugt, und im anderen Querdehnelement wird eine Zugspannung erzeugt. Die in den beiden Querdehnelementen erzeugten Spannungen lassen sich in Serie schalten.

[0006] Piezoelektrische Spiralfedern sind an sich bekannt. Ein Beispiel einer piezoelektrischen Spiralfeder wurde von Tao Dong et al. in «Proceedings of PowerMEMS 2008+ micro EMS 2008», Sendai, Japan, November 9-12, «A Mems-based spiral piezoelectric energy harvester» beschrieben; diese Spiralfeder wird jedoch nicht als Regelorgan für ein Uhrwerk verwendet.

[0007] US4 435 667 beschreibt einen Aktuator mit einer piezoelektrischen Spiralfeder; dieser Aktuator wird nicht für ein Uhrwerk verwendet.

### Darstellung der Erfindung

[0008] Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, eine neue piezoelektrische Spiralfeder für ein Uhrwerk vorzuschlagen.

[0009] Ein anderes Ziel ist es, ein neues Verfahren zur Herstellung einer Spiralfeder für ein Uhrwerk vorzuschlagen.

[0010] Eine andere Aufgabe ist es, eine sichere und einfache elektrische Verbindung der Piezospiralfeder mit der Elektronik vorzuschlagen.

[0011] Erfindungsgemäss werden diese Ziele anhand einer Spiralfeder gemäss Anspruch 20, und anhand eines Verfahrens gemäss Anspruch 1 erreicht.

[0012] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0013] Insbesondere werden diese Ziele anhand einer piezoelektrischen Spiralfeder erreicht, die sich zumindest teilweise auf einem Wafer aus Halbleitermaterial im Batch Prozess herstellen lässt, und die dann mit einem piezoelektrischen Material beschichtet wird. In einer bevorzugten Ausführungsform wird das piezoelektrische Material mit mindestens einer Elektrode beschichtet.

[0014] Vorteil hafterweise wird für die Herstellung nur eine einzige Maske verwendet.

### Kurze Beschreibung der Figuren

[0015] Die Erfindung wird anhand der beigefügten Figuren näher erläutert, wobei

Fig. 1 Eine dreidimensionale Ansicht einer piezoelektrischen Spiralfeder darstellt, inklusive den Elektroden auf den vertikalen Seitenflanken, der in die Spiralfeder integrierten Spiralrolle sowie einem verdickten Ende der Spiralfeder mit den Kontaktelektroden,

- Fig. 2 Eine dreidimensionale Ansicht der piezoelektrischen Spiralfeder darstellt, so wie sie in den Wafer geätzt wird, mit zwei Sollbruchstellen, einer Sollbruchstelle für das Heraustrennen der Spiralfeder aus dem Wafer sowie dem Trennen der Elektroden am Ende der Spiralfeder, sowie der zweiten an der integrierte Spiralrolle angeordneten Sollbruchstelle zum Trennen der Elektroden an der Spiralrolle,
- Fig. 3a Eine dreidimensionale Detailansicht der Spiralrolle der piezoelektrischen Spiralfeder darstellt, wobei eine durchgehende Elektrode an den senkrechten Seitenflächen sichtbar ist, sowie die an der Spiralrolle angeordnete Sollbruchstelle.
- Fig. 3b Eine dreidimensionale Detailansicht der Spiralrolle der piezoelektrischen Spiralfeder darstellt, mit der gebrochenen Sollbruchstelle, wodurch die an den senkrechten Seitenflächen angeordnete Elektrode an dieser Stelle unterbrochen worden ist.
- Fig. 4a Eine dreidimensionale Ansicht einer piezoelektrischen Spiralfeder, inklusive den Elektroden auf den vertikalen Seitenflanken, sowie der Verbindung der Elektroden der Piezospiralfeder mit einem Teil der gedruckten Schaltung darstellt.
- Fig. 4b Eine Detailansicht von Fig. 4a darstellt.
- Fig. 5a Einen Querschnitt der Spiralfeder vom Kern aus Silizium, wobei die vertikalen Seitenwände nach dem Ätzen noch nicht geglättet worden sind.
- Fig. 5b Einen Querschnitt der Spiralfeder vom Kern aus Silizium mit geglätteten Seitenwänden darstellt.
- Fig. 5c Einen Querschnitt der Spiralfeder mit dem Kern aus Silizium, den verschiedenen Schichten aus Aluminiumnitrid und Galliumnitrid sowie den Elektroden an den beiden vertikalen Seitenwänden darstellt.
- Fig. 5d Eine Detailansicht von Fig. 5c darstellt.
- Fig. 5e Eine Detailansicht von Fig. 5c darstellt, mit auf der Waferoberfläche weggeätzten Elektroden.

### Wege zur Ausführung der Erfindung

**[0016]** Die Spiralfeder 20 der Erfindung findet eine Anwendung in einem Regelorgan mit einer konventionellen Unruh (nicht dargestellt), und einer elektronischen Schaltung zur Steuerung der Ganggenauigkeit eines mechanischen Uhrwerks durch Ändern der Steifigkeit der piezoelektrischen Spiralfeder, Dieses Regelorgan wird konventionell über eine nicht dargestellte Hemmung über das Räderwerk eines mechanischen Uhrwerks angetrieben.

**[0017]** Erfindungsgemäss erzeugt ein Piezogenerator eine von den Schwingungen der Unruh und/oder der Spiralfeder abhängige Wechselspannung. Die Wechselspannung wird zur Regelung der Schwingfrequenz der Unruh über ein flexibles Kabel an ein elektronisches Hilfsregelorgan übertragen, wobei der Piezogenerator zur Regelung der Schwingfrequenz der Unruh und der Spiralfeder verwendet wird. Gleichzeitig kann das Hilfsregelorgan ausschliesslich vom benannten Piezogenerator elektrisch gespeist sein, so dass eine zusätzliche Batterie nicht benötigt wird. Obwohl eine Batterie nicht notwendig ist, kann man sich vorstellen, dass das Hilfsregelorgan durch eine Solarzelle und einen kleinen Akku oder eine Kapazität gespeist wird.

**[0018]** Wenn die Unruhe in Schwingung versetzt wird, wird durch die auf der Spiralfeder 20 angebrachten piezoelektrischen Materialien eine Wechselspannung erzeugt. Die Spiralfeder funktioniert also wie ein kleiner Generator.

**[0019]** Eine Gleichrichterschaltung konvertiert diese Wechselspannung in eine Gleichspannung, mit welchem das Hilfsorgan gespeist wird. Ein erstes kapazitives Bauelement wird vorzugsweise als Energiespeicher oder Energiezwischenspeicher verwendet. Das erste kapazitive Bauelement speist entweder direkt oder über ein zweites kapazitives Bauelement, welches auf einer geregelten Spannung gehalten wird, eine elektronische Referenzschaltung mit einem stabilen Oszillator und einer elektronischen Regelschaltung. Der stabile Oszillator weist einen Schwingquarz auf, dessen Schwingung eine Referenzfrequenz definiert. Die elektronische Regelschaltung weist eine Komparator-Logik-Schaltung und eine mit einem Ausgang der Komparator-Logik-Schaltung verbundene und durch die Komparator-Logik-Schaltung im Wert steuerbare Impedanzveränderungsschaltung auf. Die Komparator-Logik-Schaltung ist so ausgelegt, dass sie ein von der elektronischen Referenzschaltung kommendes Taktsignal mit einem vom Generator stammenden Taktsignal vergleicht, in Abhängigkeit vom Ergebnis dieses Vergleichs den Wert der parallel zur Piezospiralfeder geschalteten Impedanz verändert und auf diese Weise über die Steuerung der Steifigkeit der Piezospiralfeder die Schwingfrequenz der Unruhe und damit den Gang der Zeitanzeige regelt.

### Möglichkeiten der Herstellung einer Piezospiralfeder

**[0020]** Bei der Piezospiralfeder gibt es verschiedene Möglichkeiten für die Herstellung. In einer Ausführungsform wird ein Trägermaterial/Kern mit piezoelektrischem Material und mit mindestens einer Elektrode beschichtet und anschliessend zu

einer Spiralfeder aufgewickelt. Der Nachteil ist jedoch, dass die relative dünne piezoelektrische Schicht bei der Aufwicklung brechen kann.

**[0021]** Eine zweite Variante besteht darin die Spiralfeder grösstenteils direkt aus piezoelektrischem Material zu fertigen und mit mindestens einer Elektrode zu beschichten. Der Nachteil ist jedoch, dass die Anzahl von piezoelektrischen Materialien mit einem Qualitätsfaktor, der sie für Spiralfeder in der Uhrindustrie brauchbar machen, gering ist. Piezomaterial ist ausserdem schwierig zu bearbeiten.

**[0022]** Deshalb wird in einer bevorzugten Ausführungsform ein schon zu einer Spiralfeder geformtes Trägermaterial 200 mit piezoelektrischem Material 205, 207 und mindestens einer Elektrode 208 beschichtet.

**[0023]** Auch in diesem Fall muss ein Kompromiss gefunden werden zwischen möglichst guten mechanischen Eigenschaften der Piezospiralfeder (Qualitätsfaktor), möglichst guten elektrischen Eigenschaften des piezoelektrischen Materials und den Herstellungskosten und Risiken. Da die piezoelektrische Schicht relativ dünn sein kann, können unter Umständen piezoelektrischen Materialien mit einem weniger guten Qualitätsfaktor verwendet werden.

**[0024]** Wenn die Spiralfeder verformt wird, wird Energie in der Spiralfeder in Form von potentieller Energie gespeichert. Nur ein Bruchteil der potentiellen mechanischen Energie, die im piezoelektrisch aktiven Material gespeichert ist, kann in elektrische Energie umgewandelt werden. Der Anteil der Gesamtenergie, welche in die Verformung der notwendigen Elektroden sowie des piezoelektrisch nicht aktiven oder nicht durch Elektroden kontaktiertes Material gesteckt wurde, kann nicht in elektrische Energie umgewandelt werden. Damit trotzdem genügend mechanische Energie in elektrische Energie umgewandelt werden kann müssen die Dimensionen so gewählt werden, dass möglich viel der mechanischen Energie in der piezoelektrisch aktiven Schicht gespeichert oder aufgenommen wird. Die Elektroden sollten möglichst dünn aufgebracht werden und aus einem Material mit einem geringen E-Modul bestehen, damit nicht zu viel mechanische Energie in den Elektroden gespeichert wird.

### **Geeignete Piezoelektrische Materialien**

**[0025]** Ein geeignetes piezoelektrisches Material ist Aluminiumnitrid, welches hervorragende mechanische Eigenschaften aufweist, zudem aber auch genügend mechanische Energie in elektrische Energie umwandeln kann. Ein weiterer Vorteil des Aluminiumnitrids ist, dass dieses Material nicht mehr polarisiert werden muss, und dass es einen sehr hohen elektrischen Widerstand hat. AluminiumScandiumNitrid hat noch grössere piezoelektrische Koeffizienten als Aluminiumnitrid, und die mechanischen Eigenschaften sind denen von Aluminiumnitrid ähnlich.

**[0026]** Ein anderes geeignetes piezoelektrisches Material ist Galliumnitrid, aber dieses hat etwas kleinere piezoelektrische Koeffizienten als das Aluminiumnitrid, zudem ist der elektrische Widerstand kleiner.

**[0027]** Es gibt noch weitere piezoelektrische Materialien wie beispielsweise Zinkoxid und AluminiumGalliumNitrid, welche sich auch als piezoelektrische Schichten aufbringen lassen. Zinkoxid hat allerdings den Nachteil der mangelhaften Langzeitstabilität.

**[0028]** Weiter für diese Anwendung denkbare piezoelektrische Materialien sind Quarz, Gallium Phosphat, Lanthan Gallium Silikat, Bariumtitanat, Potassium Niobat, Lithium Niobat, Blei-Zirkon Titanat PZT, Langasit, PMNT und ähnliche Materialien. Wichtig ist dass die verwendeten piezoelektrischen Materialien einen genügen hohen mechanischen Qualitätsfaktor aufweisen, damit genügend mechanische Energie in elektrische Energie umgewandelt werden kann, und dass der elektrische Widerstand möglichst hoch ist, damit möglichst geringe elektrische Verluste entstehen.

### **Herstellung der Piezospiralfeder auf einem schon zu einer Spiralfeder geformten Substrat**

**[0029]** Erfindungsgemäss wird die Piezoelektrische Spiralfeder 20 aus einem Wafer 290 aus Halbleitermaterial hergestellt, beispielsweise aus einem Wafer aus Silizium, vorzugsweise einem Wafer mit der Orientierung 111. Indem entsprechend n- oder p-dotiertes Silizium verwendet wird ist der Wafer gut leitend, und der Kern 200 der Piezospiralfeder aus Silizium kann direkt als Elektrode verwendet werden.

**[0030]** Die Spiralfedern werden auf einem Wafer 290, beispielsweise einem SOI Wafer mit der Orientierung 111, mittels einem der bekannten Verfahren aus der MEMS Industrie strukturiert. Mit dem Deep Reactive Ion Etching DR1E Verfahren können vertikale Strukturen auf einfache Art und Weise in Silizium realisiert werden.

**[0031]** Nach dem Strukturieren der Spiralfedern auf dem Wafer weisen die Seitenwände 209 eine raue Oberfläche auf (Fig. 5a). Um diese Oberfläche zu glätten wird durch kontrolliertes Oxidieren des Wafers 290 eine dünne Oxydschicht 270 in der Grössenordnung von 1-3 um auf der Oberfläche der Spiralfedern gebildet. Damit werden die Kanten gerundet, und die Unebenheiten in den vertikal geätzten Oberflächen werden geglättet (209'). Das Glätten der Oberfläche und Runden der Kanten der Spiralfeder ist vorteilhaft für den nachfolgenden Beschichtungsprozess.

**[0032]** Mit dem Oxidieren können auch die Dimensionen der Spiralfeder in einem relativ engen Bereich verändert werden. Prinzipiell wird der Querschnitt der Spiralfedern etwas zu dick dimensioniert werden. Nach dem Strukturieren der Spiralfedern können einige wenige Spiralfedern aus dem Wafer auf die mechanischen Eigenschaften getestet werden. Nun kann ausgerechnet werden wie gross der Querschnitt der Spiralfeder aktuell ist, und wie gross der Querschnitt idealerweise sein sollte. Da das Wachstum der Oxydschichtdicke über die Zeit bekannt ist kann nun ausgerechnet werden, wie lange der

Wafer oxidiert werden muss, bis die Dicke des Siliziums der Spiralfedern die richtigen Abmessungen und die Spiralfeder somit die gewünschten Eigenschaften haben.

**[0033]** Ein geeignetes Verfahren zur Herstellung von kristallinen Schichten von piezoelektrischem Material oder anderen Schichten auf einer Spiralfeder ist die metallorganische Gasphasenepitaxie (engl. metal organic chemical vapor phase epitaxy, MOVPE). Dabei handelt es sich um eine spezielle Variante der metallorganischen chemischen Gasphasenabscheidung (engl. metal organic chemical vapor deposition, MOCVD). Eine erfindungsgemässe Spiralfeder lässt sich ideal auch mittels Molekularstrahlepitaxie (MBE) beschichten.

**[0034]** MOVPE ist das bedeutendste Herstellungsverfahren für III-V-Verbindungshalbleiter, insbesondere für Galliumnitrid (GaN) basierte Halbleiter. Mit MOVPE lassen sich die für die Bauelementfunktion wichtigen Halbleiter-kristallschichten reproduzierbar bis auf weniger als eine Monolage genau ( $< 2,5 \text{ \AA}$ ) wachsen.

**[0035]** Vor dem Beschichten mit einer ersten Schicht, beispielsweise einer Ankeimschicht 202 oder direkt mit einer ersten Schicht piezoelektrischen Materials, wird die Oxidschicht weggeätzt. Dies muss auch gemacht werden wenn das Silizium 200 vorher nicht kontrolliert oxidiert worden ist. Oxide werden immer auf dem Wafer vorhanden sein, und die müssen unbedingt entfernt werden, um einerseits einen guten elektrischen Kontakt zwischen dem leitfähigen Kern der Spiralfeder und der piezoelektrischen Schicht sicherzustellen, und andererseits um eine gute Qualität der piezoelektrischen Beschichtung zu erreichen.

**[0036]** Idealerweise liegt also für das epitaktische Wachstum der Beschichtung 202, 203 reines oder dotiertes Silizium 200 vor, ohne eine Oxidschicht oder eine anders geartete amorphe bzw. polykristalline Deckschicht.

**[0037]** Das Entfernen der Oxidschicht 270 kann entweder durch Ausheizen bei mehreren hundert Grad in hochreinen Rezipienten, vorteilhaft unter Wasserstoffzufuhr, erreicht werden oder durch eine nasschemische Präparation, welche idealerweise eine wasserstoffterminierte Oberfläche zurücklässt. Letzteres kann zum Beispiel durch ätzen mit Flusssäure erzielt werden.

**[0038]** Das Wachstum erfolgt dann mit einer Ankeimschicht 202, die in der Regel aus AlN bzw. einer Al-reichen Ankeimschicht im System AlGaInN besteht. Während in der MBE die Temperaturwahl keine so grosse Rolle spielt sollte in der MOVPE diese Keimschichttemperatur über  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  ideal um  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  liegen, da dies zu einem bevorzugt c-achsenorientiertem Wachstum senkrecht zur Oberflächennormale führt. Bei zu niedrigen Wachstumstemperaturen kann nur auf Si(111) Oberflächen eine c-Achsenorientierung senkrecht zur Oberfläche erzielt werden. Dies ist die Kristallachse in der die piezoelektrischen Felder verlaufen und somit ein maximaler Effekt erzielt werden kann.

**[0039]** Da eine Spiralfeder auf den Seitenflächen alle möglichen Orientierungen des Siliziums enthält ist die Ausrichtung der c-Achse senkrecht zur Oberfläche auf einem wesentlichen Teil der Spiralfeder wichtig für die Funktion des Bauelements.

**[0040]** In einer Variante wird anschliessend direkt auf die Ankeimschicht 202 eine piezoelektrische Schicht 205 mit der gewünschten Schichtdicke auf den Wafer und somit auf die von einer Oxidschicht befreiten Spiralfedern 200 aufgebracht, beispielsweise eine Schicht Aluminiumnitrid oder Galliumnitrid von  $1 \text{ }\mu\text{m}$  Dicke mittels MOVPE oder MBE. Diese Schicht hat idealerweise überall auf der Spiralfeder eine identische Dicke. So kann verhindert werden dass sich die Spiralfeder durch die unterschiedlichen Temperaturexpansionskoeffizienten des Siliziums und des Piezomaterials in unerwünschter Art und Weise verformt. Bei diesem Prozess muss darauf geachtet werden dass über den gesamten Wafer dieselbe Schichtdicke von AlN aufgebracht wird, damit die Spiralfedern alle dieselben oder sehr ähnliche mechanische Eigenschaften aufweisen.

**[0041]** Normalerweise wächst Aluminiumnitrid, wenn es bei einer genügend hohen Temperatur auf den Wafer aufgebracht wird, in einer sehr guten Qualität in der gewünschten c-Richtung auf der Oberfläche des Wafers auf, unabhängig von der Kristallorientierung des Siliziums. Wenn das Aluminiumnitrid bei einer tiefen Temperatur auf den Wafer aufgebracht wird ist die Qualität der aufgetragenen Schicht nicht so gut, und es ist nicht sichergestellt dass die Kristalle eine c-Orientierung haben. Idealerweise wird also die erste Schicht Aluminiumnitrid bei einer genügend hohen Temperatur auf das Silizium aufgebracht, damit die Kristalle mit einer Orientierung senkrecht zur Oberfläche aufwachsen.

**[0042]** Bei grösseren Schichtdicken kann es infolge der unterschiedlichen Temperaturexpansionskoeffizienten von Silizium und Aluminiumnitrid (oder Galliumnitrid) beim Abkühlen nach dem Beschichtungsprozess zu Rissbildung in der Beschichtung und somit zu einem Versagen der Spiralfeder kommen.

**[0043]** Dies kann durch mehrere Methoden vermieden werden. So kann zum Beispiel während dem Beschichtungsprozess durch eine kontinuierliche oder schrittweise Erhöhung bzw. Zulegierung von GaN, welches eine grössere Gitterkonstante besitzt als AlN, ein kompressiver Spannungsgradient aufgeprägt werden, welcher die Zugverspannung beim Abkühlen kompensiert.

**[0044]** Auch ist es möglich auf einer AlN Ankeimschicht 202 und gegebenenfalls einige zehn bis hundert Nanometer dicken AlN oder AlGaIn Pufferschicht GaN 205, 207 zu wachsen, welches von Al(Ga,In)N Zwischenschichten 204, 206 durchzogen wird, welche eine kleinere Gitterkonstante als das GaN besitzen und zumindest teilweise relaxieren. Ein Beispiel ist auf der Fig. 5d dargestellt. Dadurch erhält das darauf gewachsene GaN eine Druckverspannung. Dies funktioniert allgemein im System AlGaInN sofern die Gitterkonstante der Zwischenschicht kleiner ist und zumindest teilweise Relaxa-

tion mit Zwischenschichtdicken von maximal 200 nm Dicke erzielt werden kann. Dickere Zwischenschichten lassen sich nur noch schwer beherrschen.

**[0045]** Eine Beschichtung einer Spiralfeder 20 aus Silizium 200 mit piezoelektrischem Material 205, 207 kann beispielsweise so aussehen:

**[0046]** Zuerst wird auf das von der Oxydschicht befreite Silizium 200 bei einer Temperatur von idealerweise 1000 °C eine Ankeimschicht AlN 202 in der Dicke von 50-200 nm aufgebracht, und anschliessend wird dann auf diese Schicht Aluminiumnitrid eine Schicht Galliumnitrid GaN 205 aufgebracht, beispielsweise in der Dicke von 0.5-1.0 µm. Eventuell kann noch eine Zwischenschicht 203 von AlGaIn zwischen das AlN und das GaN aufgebracht werden, es kann aber auch schon die Ankeimschicht als Al-reiche AlGaIn aufgebracht werden. 204 ist eine optionale dünne Zwischenschicht aus AlN.

**[0047]** Auf die dicke Schicht 205 GaN wird abwechslungsweise eine dünne Schicht Aluminiumnitrid 206 mit einer Dicke von beispielsweise 10-20 nm, eine dicke Schicht 207 Galliumnitrid von beispielsweise 0.5-2 µm, dann wieder eine dünne Schicht Aluminiumnitrid, eine dicke Schicht Galliumnitrid usw. aufgebracht, bis die gewünschte Gesamtdicke der piezoelektrischen Beschichtung in der Grössenordnung von 2-6 µm erreicht ist.

**[0048]** Durch diese Zwischenschichten aus Aluminiumnitrid lassen sich rissfreie Galliumnitrid-Schichten beliebiger Dicke auf Silizium abscheiden. Durch die kleinere Gitterkonstante des Aluminiumnitrids 204, 206 wird das darauf wachsende Galliumnitrid 205, 207 leicht druckverspannt, was der Zugverspannung, die schon beim Wachstum und vor allen Dingen beim Abkühlen entsteht, entgegenwirkt. Somit kann man ein fast verspannungsfreies Material erhalten. Gleichzeitig bewirken diese Schichten, dass ein Teil der an der Silizium-Aluminiumnitrid-Grenzfläche entstandenen Versetzungen an ihnen gestoppt und somit die Materialqualität erheblich verbessert wird.

**[0049]** Durch die AlN Zwischenschichten 204, 206 wird also erreicht dass die Spiralfedern auf dem Wafer nach dem Abkühlen vom Beschichtungsprozess spannungsarm, bei optimaler Einstellung der Beschichtungsparameter sogar praktisch spannungsfrei sind. Als Zwischenschichten können aber wie weiter oben beschrieben auch Schichten aus Al(Ga,In)N verwendet werden. Oder es kann AlGaIn für die dicken Schichten verwendet werden, und AlN für die dünnen Zwischenschichten.

**[0050]** Bei einer Beschichtung mit Galliumnitrid ist als erste Schicht 204 piezoelektrischen Materials aber vorzugsweise immer eine Schicht Aluminiumnitrid oder eine Al-reiche Ankeimschicht aus dem System AlGaInN vorzusehen, da sich Galliumnitrid nicht eignet um direkt auf einem Siliziumwafer abgeschieden zu werden.

**[0051]** Vorteilhaft ist immer die Verwendung von möglichst Al-reichen Schichten, da hiermit die höchsten piezoelektrischen Koeffizienten für die Beschichtung erzielt werden können.

**[0052]** Damit das Galliumnitrid 205, 207 ein möglichst guter Isolator ist und somit der mechanische Qualitätsfaktor der Spiralfeder möglichst gut ist kann während dem Beschichten mit Galliumnitrid mit Eisen dotiert werden, damit möglichst hohe elektrische Isolationswerte erreicht werden.

**[0053]** Eine weitere Möglichkeit denselben Effekt (dass GaN ein guter Isolator ist) zu erreichen besteht darin, dasselbe Material zu verwenden, beispielsweise Galliumnitrid, dieses Material aber mit unterschiedlichen Temperaturen und / oder Precursor Chemikalien aufzubringen, so dass ein hoher, die elektrische Leitfähigkeit reduzierender Kohlenstoffeinbau stattfindet.

**[0054]** Alternativ zu Gruppe-III-Nitriden können diese auch als Pufferschicht für andere piezoelektrische Materialien dienen, wie zum Beispiel ZnO oder Langasit um ein möglichst hochwertiges Wachstum, also einer möglichst guten Kristallausrichtung bei gleichzeitig kompakter Schicht dieser zu ermöglichen.

**[0055]** Um eine möglichst uniforme Dicke der Beschichtung zu erreichen mit dem MOCVD Verfahren ist es sinnvoll, einen Beschichtungsreaktor mit geheizten Wänden zu verwenden.

**[0056]** Und um einer mögliche Verformung der Spiralfedern 20 bei der Beschichtung durch die hohen Temperaturen und die Auswirkungen der Gravitation entgegenzuwirken wird der Wafer ein oder mehrere Male während des Herstellungsprozesses in eine andere Position gebracht. Dieser Prozess kann auch kontinuierlich durchgeführt werden, beispielsweise kann der Wafer während dem gesamten Beschichtungsprozess in Rotation gehalten werden. Somit können sich die Auswirkungen der Gravitation während des Beschichtungsprozesses verringern oder ganz ausschliessen lassen.

**[0057]** Nach dem Beschichten des Siliziums 200 mit den piezoelektrischen Materialien 202, 203, 204, 205, 206, 207 können wieder die physikalischen Eigenschaften von ein paar einzelnen Spiralfedern auf dem Wafer vermessen werden. Auch hier gibt es dann wieder die Möglichkeit entweder die Schichtdicke noch zu erhöhen indem noch einmal für kurze Zeit beschichtet wird, oder aber die Schichtdicke zu verringern mit Ätzen oder einem anderen geeigneten Verfahren, um so die gewünschten physikalischen Eigenschaften der Spiralfeder zu erzielen.

**[0058]** Nach dem Aufbringen der piezoelektrischen Schicht(en) mit einer C-Orientierung (senkrecht) zur Oberfläche der Spiralfeder muss noch mindestens eine Elektrode 208 aufgebracht werden. Eine Elektrode kann möglicherweise durch den Kern 200 ausgebildet sein.

**[0059]** Eine Möglichkeit besteht darin zuerst den gesamten Wafer mit einer dünnen Haftschrift mit einer Dicke von wenigen nm aus Chrom oder Titan zu überziehen, um anschliessend daran eine Schicht 208 aus beispielsweise Nickel oder

Nickel/Gold in einer Dicke von 100-500 nm aufzubringen. Somit sind der gesamte Wafer und auch die Spiralfedern auf der gesamten Oberfläche überall mit einer elektrisch leitenden Schicht versehen (Fig. 5d).

[0060] Die Beschichtung mit den Elektroden 208 kann durch Bedampfen, CVD Chemical Vapor Deposition oder Sputtern erfolgen, es ist aber auch ein galvanisches Aufbringen der Elektroden möglich. Und Nickel / Gold Schichten können rein chemisch aufgebracht werden.

[0061] Es werden aber nur Elektroden 208 auf den senkrechten Seitenwänden der Spiralfedern benötigt, auf der Oberseite 230 und der Unterseite des Wafers 290 muss das nicht benötigte Elektrodenmaterial entfernt werden (Fig. 5e).

[0062] Dies kann mit einem gerichteten Ätzprozess erfolgen, beispielsweise mit einem Ionenstrahlätzen oder Ion Beam Milling. Mit diesem Prozess ist ein sehr anisotropes Ätzen möglich, d.h. dass nur das Material auf der Waferoberfläche 230 abgetragen wird, da hier die Ionen senkrecht auf die Oberfläche auftreffen» Die vertikalen Seitenwände werden nicht geätzt, und das ist in diesem Falle auch gewünscht, da an den vertikalen Seitenwänden die Elektroden benötigt werden. Die Ätzparameter werden dabei so eingestellt, dass ein wenig mehr als die Materialdicke der auf der Ober- und Unterseite des Wafers 290 nicht benötigten Elektroden entfernt werden, sondern auch noch ein klein wenig des darunter liegenden Materials, in diesem Falle der piezoelektrischen Beschichtung, Dies ist ein elegantes Verfahren, weil für diesen Arbeitsschritt keine Maske benötigt wird.

[0063] Es kann auch ein anderes Verfahren angewendet werden, bei welchem mit einer Maske gearbeitet wird. Dabei werden mit Photoresist diejenigen Flächen der Elektroden abgedeckt, die nicht weggeätzt werden sollen, und abschliessend werden die nicht benötigten Teile der elektrisch leitenden Beschichtung weggeätzt.

[0064] Eine elegantere Methode ist das Lift-Off Verfahren, bei dem zuerst mit Photoresist diejenigen Bereich abgedeckt werden, die nicht metallisiert werden dürfen, um danach den gesamten Wafer 290 mit der Haftschrift und dem elektrisch gut leitenden Elektrodenmaterial zu beschichten. Als letzter Arbeitsschritt wird der Photoresist weggeätzt, und somit werden auch die darüber liegenden Metallschichten entfernt.

[0065] Vorzugsweise wird aber die Lösung ohne Verwendung einer Maske für den Photoresist verwendet. Sobald die Spiralfedern auf dem Wafer strukturiert sind steht das eine Ende der Spiralfeder frei, und die ganze Spiralfeder ist leicht in Schwingungen zu versetzen. Und da dürfte es schwierig werden mit einer Maske und Photoresist noch genaue Strukturen auf die Spiralfeder aufbringen zu können.

[0066] Nun sind die Spiralfedern 20 fertiggestellt, aber noch im Wafer 290 befestigt, wie auf Fig. 2 dargestellt. Und die Elektroden 208 an beiden vertikalen Wänden der Spiralfedern sind untereinander noch elektrisch verbunden.

[0067] Damit die Elektroden einer Spiralfeder 20 elektrisch isoliert voneinander sind werden im Herstellungsprozess zwei Sollbruchstellen 210, 270 in das Design der Spiralfeder 20 integriert (Fig. 2, 3a, 3b). Die eine Sollbruchstelle 211 befindet sich an der integrierten Spiralrolle oder in deren Nähe. An dieser Sollbruchstelle kann ein hervorstehendes Stück Silizium abgebrochen werden, Damit werden aber an dieser Stelle auch die auf das Silizium angebrachten Schichten getrennt, und somit besteht an dieser Stelle 211 kein elektrischer Kontakt zwischen der Elektrode 208 der Innenseite der Spiralfeder und der Elektrode an der Aussenseite der Spiralfeder mehr.

[0068] Die zweite Sollbruchstelle 210, die vorzugsweise am Ende der Spiralfeder angebracht wird, dient dazu, die Spiralfeder 20 aus dem Wafer 290 herauszulösen, und zusätzlich dazu auch den Kontakt zwischen den Elektroden der Innen- und Aussenseite der Spiralfeder zu unterbrechen.

[0069] Wenn also die Spiralfeder 20 aus dem Wafer 290 herausgelöst, indem die Sollbruchstelle 210 gebrochen wird und das hervorstehende Stück Silizium an der Spiralrolle an der Sollbruchstelle 211 abgebrochen worden ist sind die Elektroden an den vertikalen Seitenwänden der Spiralfeder elektrisch voneinander isoliert.

#### **Anschluss der Piezospiralfeder an elektronische Schaltung**

[0070] Die elektrische Verbindung 300 von der Piezospiralfeder 20 zur elektronischen Schaltung muss so gestaltet werden, dass diese Verbindung durch das Schwingen der Unruhe nicht mechanisch belastet wird. Beim Betrieb des Uhrwerks, wenn die Unruhe hin und her schwingt und die Piezospiralfeder verformt wird, dürfen keine Verformungen oder Kräfte an den elektrischen Kontaktstellen entstehen. Deshalb ist am Aussenende der Spiralfeder 20 eine Verdickung 280 angebracht, damit an dieser Stelle die Kontaktierung der Elektroden zur Elektronik hergestellt werden kann.

[0071] Wenn die Verdickung 280 gross genug ausgeführt ist, können auf der Verdickung auch gleich die Elektroden angeordnet und so gross gestaltet werden, dass die Verbindung 300 zur elektronischen Schaltung 300 direkt daran angeschlossen werden kann, beispielsweise durch Löten 301 oder Verbinden mit einem elektrisch leitfähigem Leim, beispielsweise Adhesive Conducting Glue oder Adhesive Conduction Paste. Es gibt auch noch andere Möglichkeiten wie Bonden oder Schweißen, die angewendet werden können; aber auch ein rein mechanisches festklemmen oder drücken der Kontakte der Elektronik mit den Kontakten der Piezospiralfeder ist denkbar.

[0072] Eine Möglichkeit besteht darin, dass die Kontaktstelle der Elektrode auf dem Ende der Spiralfeder 20 und die Kontaktstelle auf der flexiblen Leiterplatte 300 in einem Winkel zueinander anzuordnen, vorzugsweise einen rechten Winkel. Somit kann an dieser Stelle der Kontakt zwischen der flexiblen Leiterplatte 300 und der Elektrode der Spiralfeder 20 ein-

fach durch Löten oder durch elektrisch leitfähigen Kleber hergestellt werden. Die Kontaktstelle kann einfach eingesehen und überprüft werden unter dem Mikroskop.

[0073] Nach dem Herstellen der elektrischen Verbindung zwischen der flexiblen Leiterplatte oder auch dünnen Drähten zur Piezospiralfeder 20 wird die Verbindungsstelle mit einem Kleber mechanisch gesichert, beispielsweise mit einem rasch aushärtenden UV Kleber.

### **Montage der Piezospiralfeder 20**

[0074] Die Piezospiralfeder 20 muss so mit dem Klötzchen verbunden werden dass die Spiralfeder elektrisch vom Uhrwerk isoliert ist. Dasselbe gilt für die Befestigung an der Unruhe. Die Konstruktion muss auf jeden Fall so gestaltet werden, dass die Piezospiralfeder 20 nicht elektrisch kurzgeschlossen wird. Entweder wird für die Montage am Klötzchen die Spiralfeder an der Montagestelle elektrisch isoliert, beispielsweise mit einem Schutzlack. Oder es wird am Klötzchen die Montagestelle isoliert, indem die Montagestelle mit einem Schutzlack überzogen wird, oder aber dass die entsprechende Stelle aus einem nichtleitenden Material hergestellt ist, beispielsweise Rubin oder einer Keramik. Eine dritte Möglichkeit besteht darin einen elektrisch isolierenden Leim für die Montage zu verwenden, beispielsweise einen UV Kleber. Dabei wird das Ende der Spiralfeder inklusive der Kontaktstelle zur elektronischen Schaltung in das Klötzchen geleimt, und zwar so dass auf die elektrischen Kontaktstellen durch das Schwingen der Spiralfeder keine Kräfte übertragen werden, und dass auch kein Kurzschluss entsteht. Zwischen dem Klötzchen und dem Ende der Spiralfeder ist ein Zwischenraum, der mit dem UV Kleber gefüllt und ausgehärtet wird. Das Klötzchen wird anschliessend auf der Unruhebrücke fixiert.

[0075] Für die Verbindung der Piezospiralfeder 20 mit der Unruhe reicht es aus, im Bereich der Spiralarolle, die schon in die Spiralfeder integriert ist, keine Elektroden anzubringen. Oder die Abmessungen der verschiedenen Bauteile so zu wählen, dass kein Kurzschluss zwischen den Elektroden auf der integrierten Spiralarolle und dem daran anschliessenden Bauteil entstehen kann, beispielsweise indem das anschliessende Bauteil, beispielsweise ein Teil der Achse der Unruhe, an der Kontaktstelle einen kleineren Durchmesser aufweist als der Aussendurchmesser der integrierten Spiralarolle. Dann kann gar kein Kurzschluss entstehen.

### **Gestaltung der Piezospiralfeder für konzentrisches Verformen**

[0076] Um eine möglichst gleichmässige Verformung der Spiralfeder 20 zu erreichen, d.h. eine asymmetrische Entwicklung (Ein- und Ausschwingen, resp. «Atmen») der Spirale zu verhindern, ist die Spiralfeder so gestaltet, dass ein Teil der Spiralfeder verdickt ausgeführt und als steif bezeichnet werden kann. Der Teil der Spiralfeder, der als flexibel bezeichnet werden kann, und der steife Teil der Spiralfeder müssen so zueinander abgestimmt sein, dass der Massenschwerpunkt des flexiblen Teils der Spiralfeder in der Rotationsachse der Unruhe zu liegen kommt. Somit kann eine konzentrische Entwicklung der Spiralfeder garantiert werden.

### **Vereinfachung Montage der Spiralfeder**

[0077] Da die Spiralfedern 20 auf einem Wafer 290 sehr präzise hergestellt werden können, ist es möglich, auf Rückerstifte und einen beweglichen Spiralklötzchenträger zu verzichten. Falls trotzdem noch die Schwingfrequenz eingestellt werden muss kann dies über Verändern des Massenträgheitsmoment der Unruhe realisiert werden.

### **Zusammenführen von Unruh und Piezospiralfeder**

[0078] Da sie getrennt hergestellt werden, müssen Unruh und Spiralfeder 20 aneinander angepasst werden.

[0079] Diese Methode besteht darin, eine Unruh mit der passenden Spiralfeder zusammenzuführen. Die Unruhen, bereits ausgewuchtet, werden in mehreren, zum Beispiel zwanzig, Klassen entsprechend ihrem Trägheitsmoment eingeteilt.

[0080] Die Piezospiralfedern werden auch anhand ihres jeweiligen Momentes ebenfalls in mehrere, zum Beispiel zwanzig, Klassen eingeteilt.

[0081] Die derart eingeteilten Unruhen und Spiralfedern können einander nun ihren Klassen entsprechend zugeordnet werden.

[0082] Da die Schwingfrequenz der Unruhe mit Hilfe der Regelelektronik in einem Bereich von ca. 1% verändert werden kann, ist es bei der sorgfältigen Vermessung von Unruhe und Piezospiralfeder und der anschliessenden Montage möglich, die genaue Schwingfrequenz der Unruhe nur mit der kleinen Hilfselektronik zu regeln. Der Uhrmacher hat also im Idealfall mit dem Reglage nichts mehr zu tun.

[0083] Es ist auch sinnvoll nicht nur die mechanischen Eigenschaften der Piezospiralfeder zu vermessen, sondern auch die elektrischen Eigenschaften wie beispielsweise die induzierte Spannung in Abhängigkeit von der Amplitude der Unruhe, den inneren Widerstand der Piezospiralfeder und die elektrische Kapazität der Piezospiralfeder. So können mechanisch einwandfreie, elektrisch aber defekte Spiralfedern aussortiert werden.

### Unruhe mit Thermokompensation

[0084] Eine Piezospiralfeder (20) hat von der Temperatur abhängige physikalische Eigenschaften, und dementsprechend wird sich auch die unregelmäßige Schwingfrequenz verändern. Die für die Herstellung der Piezospiralfeder verwendeten Materialien haben alle eine nicht sehr grosse Temperaturabhängigkeit, und so sollte die Elektronik in der Lage sein, die genaue Frequenz der Unruhe zu regeln.

[0085] Es könnte aber trotzdem der Fall auftreten dass die Unterschiede in der unregelmäßigen Schwingfrequenz der Unruhe grösser sind als der Frequenzbereich, in dem die Frequenz mit Hilfe der Elektronik genau geregelt werden kann. Um dies zu verhindern gibt es beispielsweise die Möglichkeit das Massenträgheitsmoment der Unruhe zu verändern und somit die Schwingfrequenz weitgehend zu stabilisieren. Eine Möglichkeit hierzu ist die Verwendung einer Unruhe mit Elementen aus einem Bimetall.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Spiralfeder (20) für das Regelorgan eines Uhrwerks, mit folgenden Schritten:  
- Herstellung einer Spiralfeder (20) aus einem Wafer (290) aus Halbleitermaterial;  
Beschichtung der Spiralfeder (20) mit einem piezoelektrischem Material (205, 207).
2. Verfahren gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Elektrode (208) auf das piezoelektrische Material (205, 207) beschichtet wird.
3. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass vor der Beschichtung mit dem benannten piezoelektrischem Material (205, 207) eine Oxydschicht (270) von der Spiralfeder entfernt wird.
4. Verfahren gemäss Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der benannte Halbleiter kontrolliert oxidiert wird, und dass die entstehende Oxydschicht (270) dann anschliessend entfernt wird.
5. Verfahren gemäss Anspruch 4, in welchem der Querschnitt der Spiralfedern ursprünglich zu dick ist, und durch kontrolliertes Oxydieren und Entfernen der Oxydschicht (270) dann auf die gewünschte Dicke gebracht wird.
6. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 5, in welchem mindestens eine Gruppe-III-Nitridschicht als piezoelektrische Schicht verwendet wird.
7. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 6, in welchem die Spiralfeder (202) mit einer Ankeimschicht (202) beschichtet wird, bevor die benannte piezoelektrische Schicht (205, 207) aufgebracht wird.
8. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 7, in welchem die Ankeimschicht (202) aus einem Gruppe-III-Nitrid mit mindestens 20% Aluminium mittels MOCVD bei einer Temperatur von mindestens 800 °C hergestellt wird.
9. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 8, in welchem die Kristallachse vom piezoelektrischen Material weitgehend in C-Richtung senkrecht zur Oberfläche aufwächst.
10. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 9, in welchem das Wachstum des piezoelektrischen Materials mittels epitaktischen Wachstumsmethoden erreicht wird.
11. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 10, in welchem während dem Beschichtungsprozess eine kontinuierliche oder schrittweise Erhöhung bzw. Zulegierung von einem zweiten piezoelektrischen Material, welches eine grössere Gitterkonstante aufweist als das erste piezoelektrische Material, stattfindet.
12. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 11, in welchem mehrere relativ dicke Schichten von piezoelektrischen Material (205, 207) durch relativ dünne Schichten eines anderen piezoelektrischen Materials (204, 206) mit einer kleineren Gitterkonstante getrennt werden.
13. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 12, in welchem der benannte Halbleiter (200) aus n- oder p-dotiertem Silizium besteht und eine gute elektrische Leitfähigkeit aufweist.
14. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 13, in welchem die piezoelektrische Schicht überall auf der Spiralfeder eine ähnliche Dicke hat.
15. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 14, in welchem mindestens die Seitenflächen der Spiralfeder mit piezoelektrischem Material beschichtet werden.
16. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 15, in welchem eine Elektrode (208) auf allen Seiten beschichtet wird, und in welchem das nicht benötigte Elektrodenmaterial auf der Oberseite und der Unterseite der Spiralfeder entfernt wird.
17. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 16, in welchem die Spiralfeder durch mindestens zwei Sollbruchstellen (210, 211) mit dem Wafer (290) verbunden ist, und in welchem die Elektroden (208) nach dem Brechen dieser Sollbruchstellen an diesen Bruchstellen elektrisch voneinander getrennt sind.
18. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 17, in welchem eine Verdickung (280) am Ende der Spiralfeder (20) vorgesehen ist, damit die Elektroden (208) kontaktiert werden können.

## CH 703 051 A2

19. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 18, in welchem das Ende (280) der Spiralfeder (20) elektrisch mit einer elektronischen Schaltung verbunden wird, wobei die Verbindung (300) der elektronischen Schaltung zur Spiralfeder so gestaltet wird, dass sie durch das Schwingen der Spiralfeder nicht mechanisch belastet wird.
20. Spiralfeder (20) für das Regelorgan eines Uhrwerks, mit folgenden Komponenten:  
Einen aus einem Halbleitermaterial hergestellten Kern (200); Ein piezoelektrisches Material (205, 207), mit dem dieser Kern beschichtet ist.
21. Die Spiralfeder gemäss Anspruch 20, mit mindestens einer auf das piezoelektrische Material (205, 207) aufgetragenen Elektrode (208).
22. Die Spiralfeder gemäss Anspruch 20 oder 21, in welcher das Halbleitermaterial (200) keine Oxydschicht aufweist.
23. Die Spiralfeder gemäss einem der Ansprüche 20 bis 22, in welcher die Spiralfeder (202) mit einer Ankeimschicht (202) beschichtet ist.
24. Die Spiralfeder gemäss einem der Ansprüche 20 bis 23, in welcher die Kristallachse vom piezoelektrischen Material weitgehend in C-Richtung senkrecht zur Oberfläche orientiert ist.
25. Die Spiralfeder gemäss einem der Ansprüche 20 bis 24, in welcher mehrere relativ dicke Schichten von piezoelektrischen Material (205, 207) durch relativ dünne Schichten eines anderen piezoelektrischen Materials (204, 206) mit einer kleineren Gitterkonstante getrennt sind.
26. Die Spiralfeder gemäss einem der Ansprüche 20 bis 25, in welcher mindestens die Seitenflächen der Spiralfeder(20) mit piezoelektrischem Material beschichtet werden.
27. Die Spiralfeder gemäss einem der Ansprüche 20 bis 26, in welcher Elektroden (208) nur auf den Seitenflächen der Spiralfeder(20) vorhanden sind.
28. Die Spiralfeder gemäss einem der Ansprüche 20 bis 27, in welcher mehrere Elektroden durch Bruchstellen, die nach dem Brechen von Sollbruchstellen (210, 211) übrig bleiben, elektrisch voneinander getrennt sind.
29. Die Spiralfeder gemäss einem der Ansprüche 20 bis 28, in welcher der benannte Halbleiter aus n- oder p-dotiertes Silizium besteht, und eine gute elektrische Leitfähigkeit aufweist.
30. Die Spiralfeder gemäss einem der Ansprüche 20 bis 29, in welcher die piezoelektrische Schicht (205, 207) überall eine weitgehend ähnliche Dicke hat.
31. Die Spiralfeder gemäss einem der Ansprüche 20 bis 30, in welcher die piezoelektrische Schicht (205, 207) mindestens teilweise aus einem Gruppe-III-Nitrid besteht.

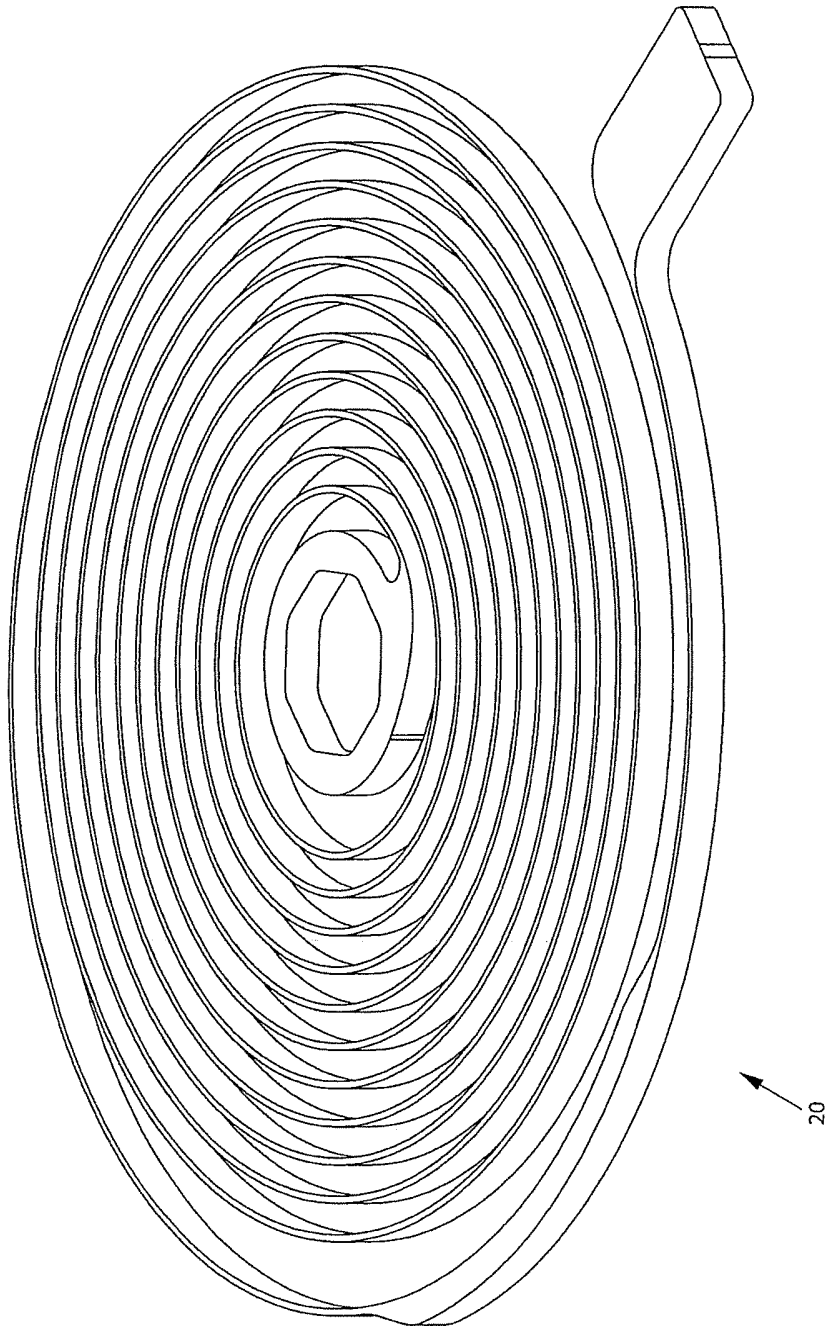


FIG 1

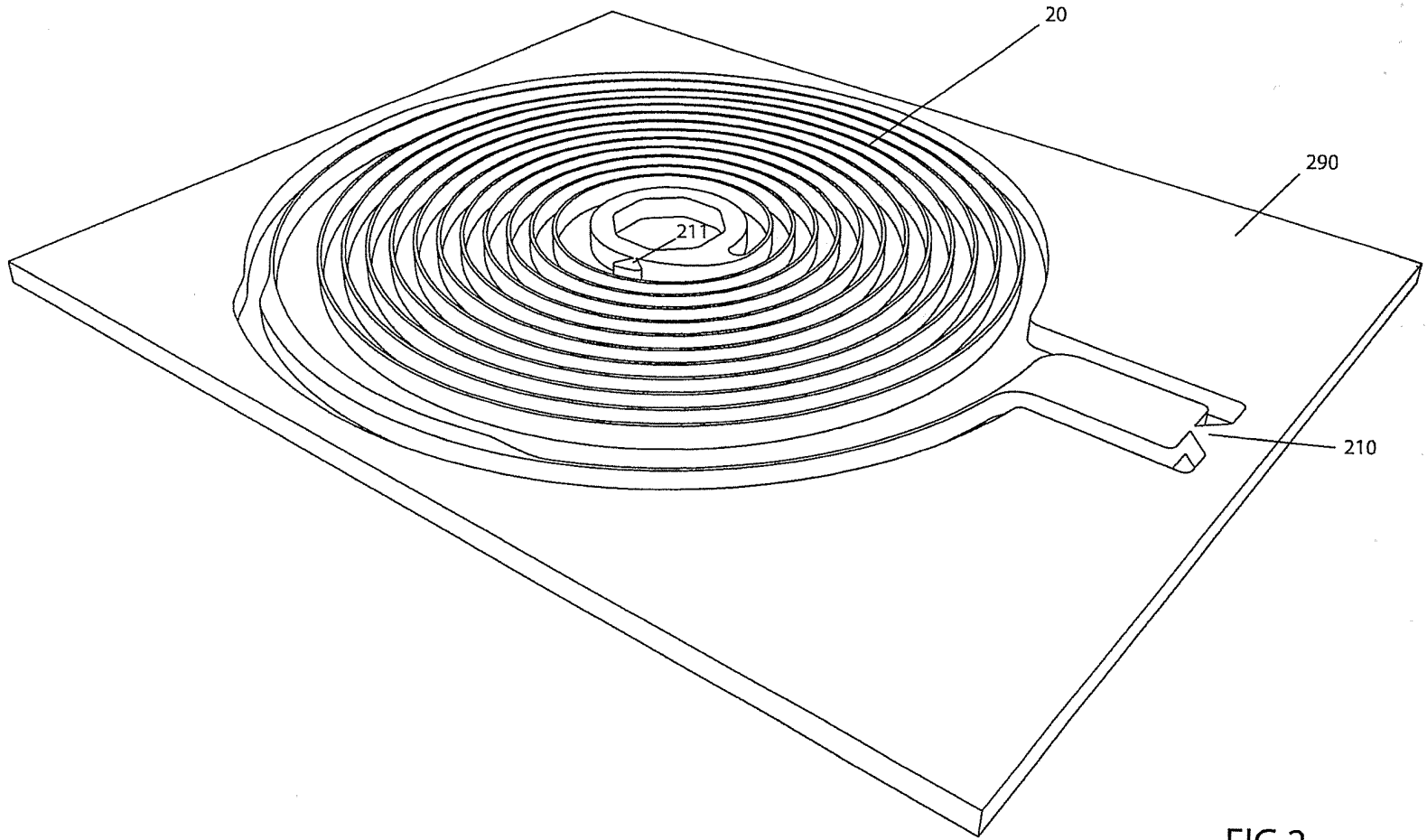


FIG 2

FIG 3a

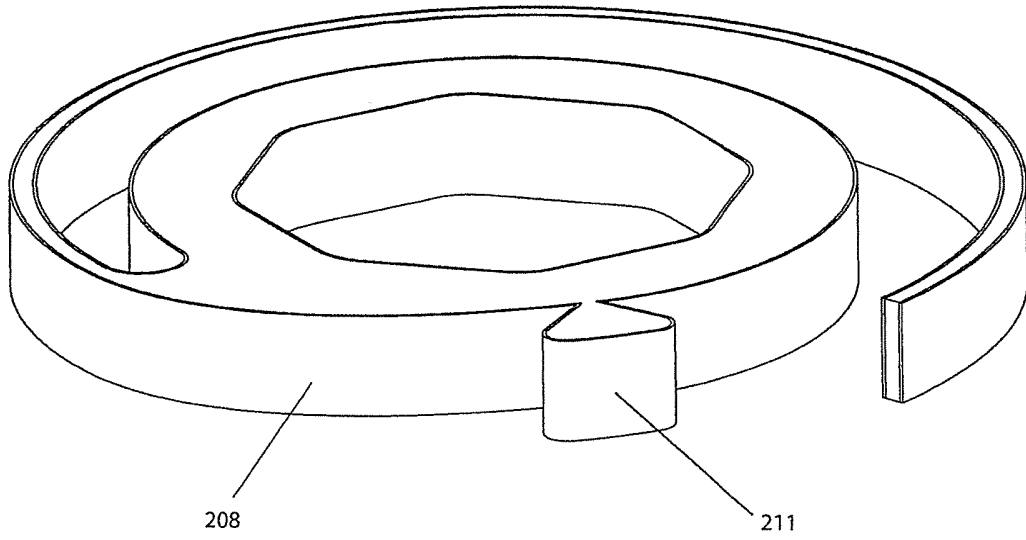


FIG 3b

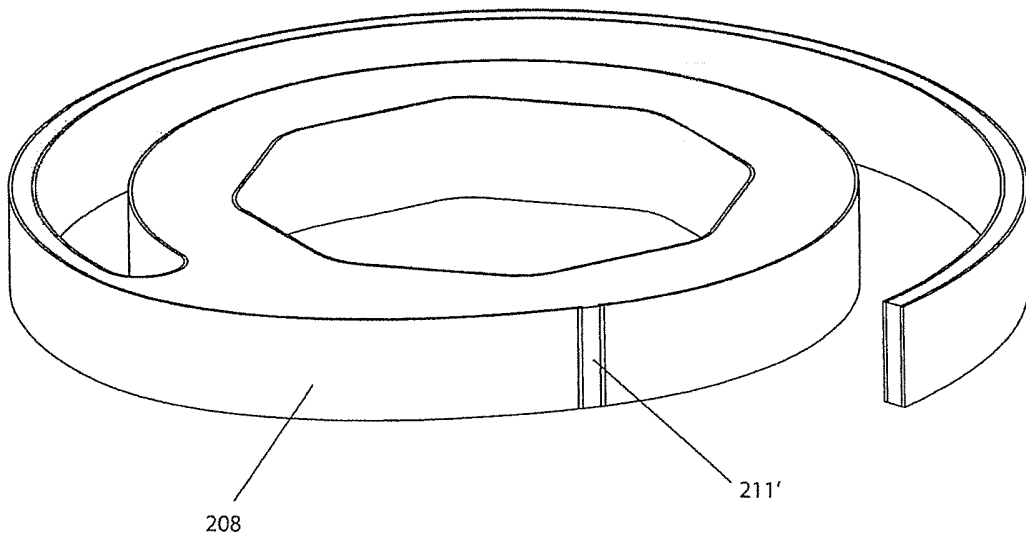


FIG 4a

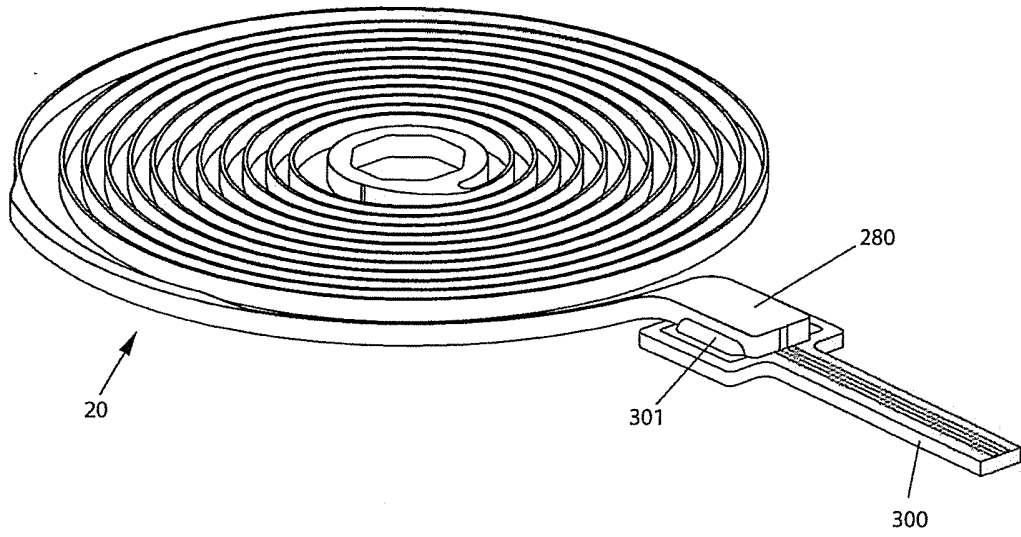


FIG 4b

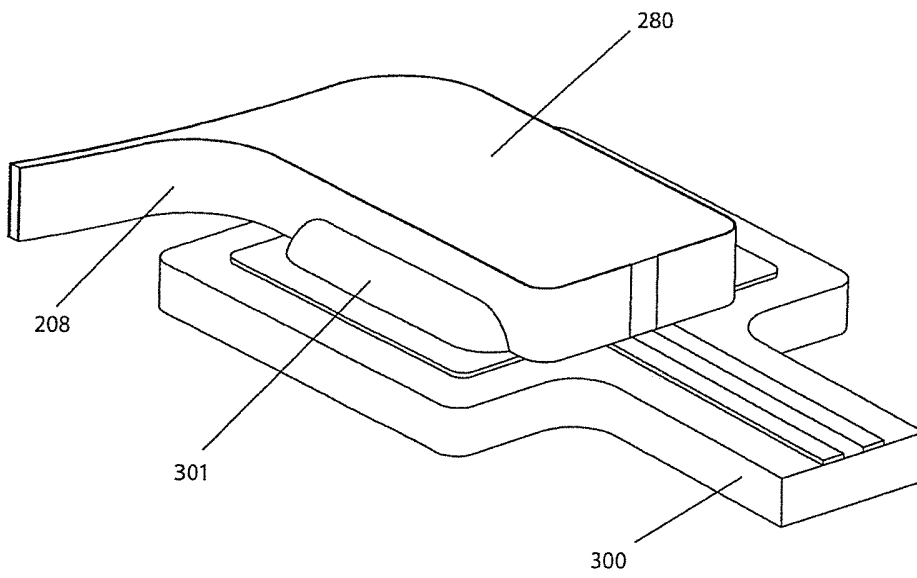


FIG 5a

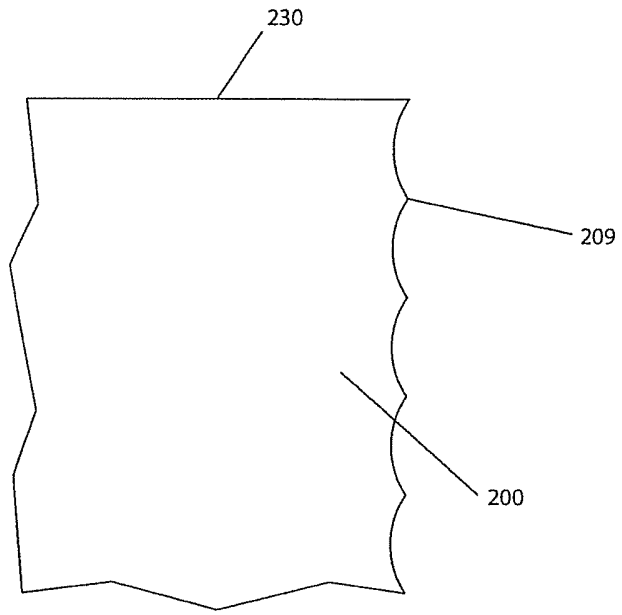


FIG 5b

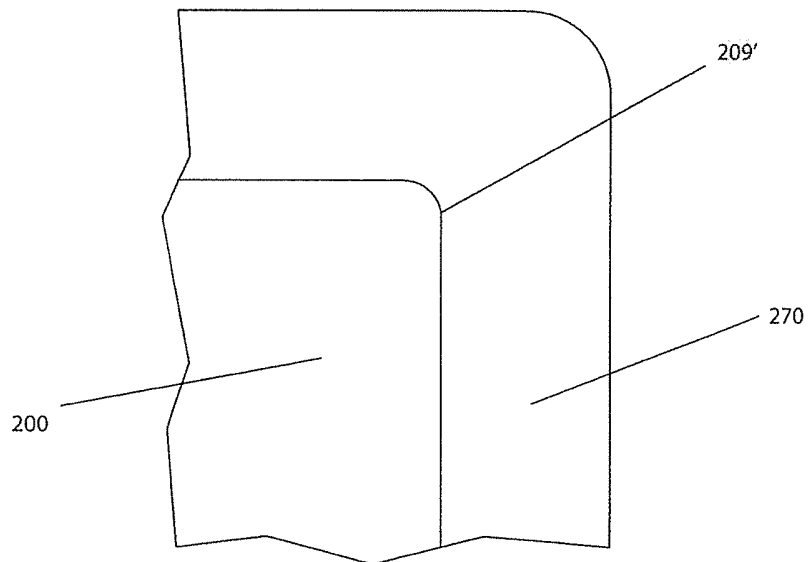


FIG 5c

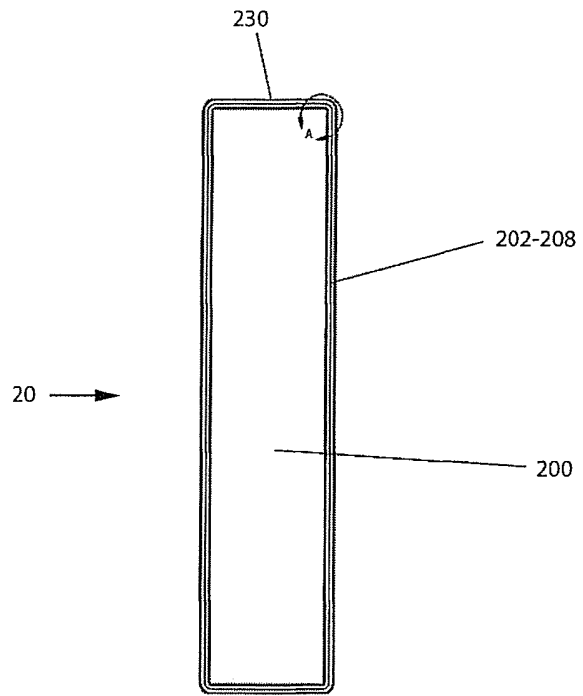


FIG 5d

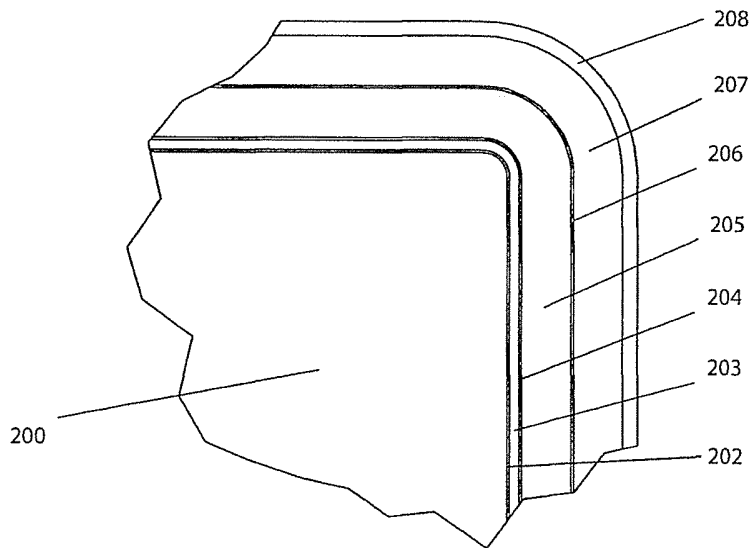


FIG 5e

