(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
4. Dezember 2008 (04.12.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/145478 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/055445

(22) Internationales Anmeldedatum:
5. Mai 2008 (05.05.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 024 908.1 29. Mai 2007 (29.05.2007) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **GÖTSCH, Dieter** [DE/DE]; Am Birkengarten 27, 85521 Ottobrunn (DE). **MATZ, Richard** [DE/DE]; Trebnitzer Str. 5, 83052 Bruckmühl (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

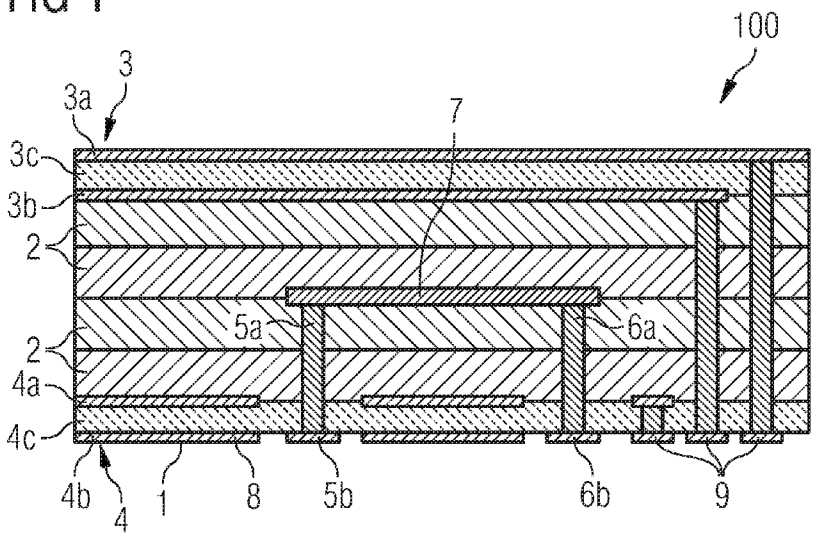
(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** TUNABLE INDUCTIVE COMPONENT AND USE OF THE COMPONENT

(54) **Bezeichnung:** ABSTIMMBARES INDUKTIVES BAUELEMENT UND VERWENDUNG DES BAUELEMENTS

FIG 1



(57) **Abstract:** The invention relates to a tunable inductive component comprising at least one ceramic multi-layer body having at least one ferrite layer having ferritic material and at least one coil integrated in the volume of the multi-layer body. A permeability of the ferrite layer is dependent on a mechanical stress acting on the ferrite layer, the coil being integrated in the volume of the multi-layer body such that an inductivity of the coil is dependent on the permeability of the ferrite layer, and a means for transferring the mechanical stress to the ferrite layer is provided, so that the permeability of the ferrite layer can be adjusted. The means for transferring the mechanical stress is, for example, an integrated piezo-element. The tunable inductive component is used in filter or oscillator circuits. The component can also be used as a pressure sensor.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/145478 A2

EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein abstimmbares induktives Bauelement, aufweisend mindestens einen keramischen Mehrschichtkörper mit mindestens einer Ferritschicht mit ferritischem Material und mindestens eine im Volumen des Mehrschichtkörpers integrierte Spule. Dabei ist eine Permeabilität der Ferritschicht abhängig von einer mechanischen Spannung, die auf die Ferritschicht wirkt, die Spule derart im Volumen des Mehrschichtkörpers integriert, dass eine Induktivität der Spule von der Permeabilität der Ferritschicht abhängig ist und ein Mittel zum Übertragen der mechanischen Spannung auf die Ferritschicht vorhanden, so dass die Permeabilität der Ferritschicht eingestellt werden kann. Das Mittel zum Übertragen der mechanischen Spannung ist beispielsweise ein integriertes Piezoelement. Verwendung findet das abstimmbare induktive Bauelement in Filter- oder Oszillatorschaltungen. Das Bauelement kann auch als Drucksensor zum Einsatz kommen.

Beschreibung

Abstimmbares induktives Bauelement und Verwendung des Bauelements

Die Erfindung betrifft ein abstimmbares induktives Bauelement. Daneben wird eine Verwendung des Bauelements angegeben.

In einer elektronischen Schaltung der Leistungselektronik oder der Hochfrequenztechnik spielen induktive Bauelemente im Verbund mit kapazitiven Bauelementen eine wichtige Rolle. Die elektronische Schaltung ist beispielsweise ein Schwingkreis, ein Frequenzfilter, ein Impedanz-Anpassungsnetzwerk oder eine Ladungspumpe.

Eine derartige elektronische Schaltung können mit jeweils einem festen Wert der induktiven und der kapazitiven Bauelemente grundsätzlich nur für einen begrenzten Frequenzbereich (feste Frequenzcharakteristik) optimal ausgelegt werden. Eine elektronische Schaltung mit veränderlicher Frequenzcharakteristik wäre aber allein aus Kostengründen begrüßenswert.

Dazu gibt es Schaltungselemente mit abstimmbaren elektrischen Kenngrößen. Ein derartiges Schaltungselement ist beispielsweise eine abstimmbare (regelbare) Induktivität (Variometer). Ein derartiges Variometer besteht beispielsweise aus zwei ineinander liegenden elektrisch hintereinander geschalteten zylinderförmige Spulen. Eine Spule verfügt über eine Drahtwicklung. Die Drahtwicklung weist eine Anzahl von Windungen eines elektrischen Leiters zur Erzeugung eines magnetischen Flusses mittels des im elektrischen Leiter fließenden Stromes auf. Die Drahtwicklung dient auch der Erzeugung einer Spannung durch Änderung der magnetischen Induktion in der Drahtwicklung.

Die innere der beiden Spulen kann zum Beispiel drehbar gelagert sein. Ein Maximum einer Gesamtinduktion wird dann erreicht, wenn die Windungsebenen der Windungen der beiden Spulen parallel und

gleichsinnig vom Strom durchflossen werden. Fließen dagegen bei einer derartigen Anordnung der Spulen die Ströme gegenläufig, heben sich die resultierenden Induktivität der Spulen gegenseitig auf. Die Gesamtinduktion nimmt einen Minimalwert an. Ebenso würde eine relative koaxiale Verschiebung beider Spulen eine Änderung der Gesamtinduktion mit sich bringen.

Ein dazu alternatives Variometer besteht aus zylinderförmigen Spulen, in deren Inneren jeweils ein Kern aus ferromagnetischem Kernmaterial angeordnet ist. Ein Kern einer Spule dient einer Vergrößerung der magnetischen Induktion. Das ferromagnetische Kernmaterial weist dazu, wie beispielsweise bei einem Ferrit, eine hohe Permeabilität auf. Alternativ dazu ist das ferromagnetische Kernmaterial elektrisch gut leitend. Dieses Kernmaterial ist ein Metall wie Kupfer und Aluminium. Durch eine axiale Bewegung der Kerne wird der magnetische Fluss vergrößert oder verkleinert.

Bezüglich der Ferrite ist aus H. Meuche, D. Lange, A. H. Nguyen, "The Impact of Pressure on Ferrits", EPCOS Components 3/2005, Seiten 35-38, bekannt, dass die Permeabilität von Ferriten von einer auf das Ferrit einwirkenden mechanischen Spannung (Druck) abhängig ist.

Die oben dargestellten Ausführungsformen des Variometers sind aufgrund der Verwendung von makroskopischen, mechanischen Komponenten, die für die axiale Bewegung der Spulen oder Kerne notwendig sind, nur begrenzt geeignet für eine Miniaturisierung.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein kompaktes, abstimmbares induktives Bauelement zur Verfügung zu stellen, das für eine Miniaturisierung geeignet ist.

Zur Lösung der Aufgabe wird ein abstimmbares induktives Bauelement angegeben, aufweisend mindestens einen keramischen Mehrschichtkörper mit mindestens einer Ferritschicht mit ferritischem Material und mindestens eine im Volumen des Mehrschichtkörpers integrierte Spule. Dabei ist eine

Permeabilität der Ferritschicht abhängig von einer mechanischen Spannung, die auf die Ferritschicht wirkt, die Spule derart im Volumen des Mehrschichtkörpers integriert, dass eine Induktivität der Spule von der Permeabilität der Ferritschicht abhängig ist und ein Mittel zum Übertragen der mechanischen Spannung auf die Ferritschicht vorhanden, so dass die Permeabilität der Ferritschicht eingestellt werden kann.

Durch die Ausnutzung des Effekts der Druckabhängigkeit der Permeabilität von Ferriten wird die Induktivität des Bauelements variiert. Dabei wird folgender Zusammenhang ausgenutzt (vgl. H. Meuche et al.):

$$\mu(\sigma) = \frac{\mu(0)}{1 + k\sigma\mu(0)} \qquad (1)$$

Dabei bedeuten б die mechanische Spannung (Druck), μ(0) die Permeabilität bei keiner mechanischen Spannung. Hinter k verbirgt sich eine materialspezifische Größe. Bei einem Druck von einigen 10 MPa kann die Veränderung μ(б)-μ(0) der Permeabilität der Ferritschicht einige 10% betragen.

Die Ferritschicht fungiert als Ferritkern der Spule. Der ferromagnetische Kern beeinflusst essentiell den magnetischen Fluss der Spule. Gegenüber einer baugleichen Spule, die sich an der Luft befindet, liegt die Induktivität in erster Näherung um den Faktor der Permeabilität der Ferritschicht höher. Eine Abnahme der Permeabilität der Ferritschicht bewirkt folglich eine proportionale Abnahme der Induktivität der Spule und umgekehrt. Mit der Erfindung ist ein kompaktes, integriertes, abstimmbares induktives Bauelement zugänglich. Die Integration führt zu einem hohen Maß an Miniaturisierung. Die grundlegende Struktur ermöglicht die elektrische Abstimmung einzelner oder verkoppelter Spulen, wie sie z.B. in einem Transformator vorliegen. Dadurch sind Induktivitäten und das Übertragungsverhalten von Transformatoren steuerbar.

Gemäß einer besonderen Ausgestaltung ist die Spule in die Ferritschicht eingebettet. Die Spule kann dabei teilweise oder vollständig in die Ferritschicht eingebettet sein. Denkbar ist auch, dass die Spule in mehrere Ferritschichten eingebettet ist. Durch diese Art der Anordnung ist sichergestellt, dass die Ferritlage als Ferritkern der Spule fungiert und die oben beschriebene Korrelation zwischen äußerem Druck auf die Ferritschicht und der Induktivität der Spule auftritt.

Besonders vorteilhaft ist es, die Spule spannungsfrei einzubetten. Dies bedeutet, dass eine Variationsbreite der Permeabilität des ferritischen Materials voll ausgeschöpft werden kann.

Das Ferrit ist beispielsweise eine Oxidkeramik mit der allgemeinen Summenformel $M^{II}Fe^{III}{}_2O_4$ (bzw. $M^{II}O{\cdot}Fe_2O_3$). M^{II} ist ein zweiwertiges Metall, beispielsweise Cobalt oder Eisen. Insbesondere weist das Ferrit mindestens ein aus der Gruppe Mangan und/oder Zink ausgewähltes Metall auf. Das Ferrit ist ein MnZn-Ferrit. Ferrite im Allgemeinen und MnZn-Ferrite im Speziellen zeigen von sich aus im spannungsfreien Zustand (σ = 0 MPa) eine hohe Permeabilität $\mu(0)$ aus dem Bereich von 100 bis 1000.

Zur Übertragung der mechanischen Spannung auf das ferritische Material beziehungsweise auf die Ferritschicht des keramischen Mehrschichtkörpers können verschiedene Bauteile oder Techniken verwendet werden. Beispielsweise ist im Mehrschichtkörper Material mit unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten verarbeitet. Durch Temperaturerhöhung kommt es zu einer Verspannung und damit zum Aufbau eines Drucks. Wenn dafür gesorgt wird, dass dieser Druck auf die Ferritschicht einwirken kann, führt dies, wie oben beschrieben, zu einer Änderung der Permeabilität der Ferritschicht und damit zu einer Änderung der Induktivität der Spule.

In einer besonderen Ausgestaltung weist das Mittel zum Übertragen der mechanischen Spannung mindestens ein Piezoelement auf. Ein

Piezoelement besteht aus einer piezoelektrisch aktiven Schicht und beidseitig an der piezoelektrisch aktiven Schicht angebrachte Elektrodenschichten. Die piezoelektrische aktive Schicht weist insbesondere piezokeramisches Material (Piezokeramik) auf. Durch elektrische Ansteuerung der Elektrodenschichten wird ein elektrisches Feld in die piezoelektrisch aktive Schicht eingekoppelt. Aufgrund des elektrischen Feldes kommt es zu einer Ausdehnungsänderung der piezoelektrischen Schicht. Wird nun das Piezoelement mit der Ferritschicht so Verbunden, dass die Ausdehnungsänderung der piezoelektrischen Schicht als Druck auf die Ferritschicht übertragen wird, so wird in der Ferritschicht ein Druck aufgebaut, der zur Änderung der Permeabilität führt. Denkbar ist dabei, dass die Ferritschicht zwischen einem Piezoelement und einem Widerlager eingeklemmt ist. Durch die Ansteuerung des Piezoelements wird der Druck aufgebaut. Ebenso kann die Ferritschicht mit der Spule zwischen zwei Piezoelementen angeordnet bzw. eingeklemmt sein.

Das Piezoelement oder die Piezoelemente sind derart ausgelegt, dass ein für die Änderung der Permeabilität notwendiger Druck auf die Ferritschicht aufgebaut werden kann. Dazu ist eine Vielzahl von übereinander gestapelten Piezoelementen vorgesehen. Es wird ein Vielschichtaktor verwendet. Bei einem Vielschichtaktor sind viele Piezoelemente übereinander gestapelt. Der Vielschichtaktor wird beispielsweise in einem Co-Firing(Co-Sintering)-Prozess aus übereinander gestapelten, mit Elektrodenmaterial bedruckten keramischen Grünfolien hergestellt. Ein derartiger Vielschichtaktor eignet sich besonders für den Aufbau und für die Übertragung hoher Drücke.

Das Piezoelement oder das Mittel zum Übertragen der mechanischen Spannung auf die Ferritschicht kann extern zum keramischen Mehrschichtkörper angeordnet sein. Vorzugsweise ist aber neben der Spule auch das Mittel zum Übertragen der mechanischen Spannung im Mehrschichtkörper integriert. Vorzugsweise ist daher das Mittel zum Übertragen der mechanischen Spannung im Volumen des Mehrschichtkörpers integriert. Das Mittel zum Übertragen ist

integrativer Bestandteil des Mehrschichtkörpers. Das Mittel zum Übertragen der mechanischen Spannung kann dabei teilweise oder vollständig im Mehrschichtkörper integriert sein. Diese Ausführungsform bietet sich beispielsweise dann an, wenn die Ferritschicht zwischen zwei Piezoelementen mit Piezokeramik angeordnet ist.

Gemäß einer anderen Ausführungsform ist lediglich ein Piezoelement Bestandteil des keramischen Mehrschichtkörpers. Hier ist ein externes Widerlager vorgesehen. Dieses externe Widerlager kann dabei von einem Gehäuse des Mehrschichtkörpers gebildet sein. Das Gehäuse ist dabei so ausgestaltet und mit dem Mehrschichtkörper verbunden, dass innerhalb der Ferritschicht der notwendige mechanische Druck aufgebaut werden kann, beispielsweise durch elektrische Ansteuerung des integrierten Piezoelements. In einer besonderen Ausgestaltung weist daher das Mittel zum Übertragen der mechanischen Spannung ein Gehäuse des Mehrschichtkörpers auf. Das Gehäuse fungiert als Druckgehäuse.

Zur Integration der verschiedenen Bauelemente können verschiedene Technologien zur Herstellung von keramischen Mehrschichtkörpern eingesetzt werden. Besonders geeignet ist die LTCC(Low Temperature Cofired Ceramics)-Technologie, mit deren Hilfe niedrig schmelzende und elektrisch hoch leitfähige Metalle wie Silber oder Kupfer zur Integration von elektrischen Bauelementen in einem Co-Firing-Prozess eingesetzt werden. In einer besonderen Ausgestaltung weist daher mindestens eine Lage des Mehrschichtkörpers Glaskeramik auf. Glaskeramik eignet sich durch eine niedrige Dichtbrandtemperatur aus. Beispielsweise beträgt die Dichtbrandtemperatur unter 900°C. Bevorzugt ist der gesamte Mehrschichtkörper aus Schichten mit Glaskeramik aufgebaut. Der Mehrschichtkörper ist in LTCC-Technologie hergestellt. Dies kann auch für den Fall eines integrierten Piezoelements vorgesehen sein. Hier weist die piezoelektrisch aktive Keramikschicht auch Glaskeramik auf. Aber auch andere keramische Mehrschichttechnologien sind denkbar, beispielsweise HTCC(High Temperature Cofired Ceramics). Dies kann beispielsweise im Hinblick auf die Integration des Piezoelements

vorteilhaft sein. Piezokeramische Materialien wie Bleizirkonattitanat (PZT) werden bei höheren Temperaturen von über 1100° C gesintert.

Verwendung findet das abstimmbare induktive Bauelement überall dort, wo Induktivitäten in einem weiten Regelungsbereich verwendet werden. Daher findet das Bauelement insbesondere in einer elektrischen Schaltung Verwendung, die aus der Gruppe Filterschaltung und Oszillatorschaltung ausgewählt ist. Das abstimmbare induktive Bauelement kann allgemein in Frequenz agilen Systemen (Frequency Agile Systems) eingesetzt werden. Ebenso ist mit dem induktiven Bauelement ein Schaltungselement zugänglich, das als Hardware-Komponente im das Konzept Software Defined Radio, SDR, eingesetzt werden kann.

Darüber hinaus findet das induktive Bauelement insbesondere Anwendung als Drucksensor. Dafür wird die beschriebene Druck-Induktions-Korrelation genutzt. In Abhängigkeit vom äußeren Druck ändern sich die Permeabilität der Ferritschicht und damit die Induktion der Spule. Es wird lediglich dafür gesorgt, dass der äußere Druck auf die Ferritschicht einwirken kann. Eine Anwendung des induktiven Bauelements als Temperatursensor ist ebenfalls denkbar. Dabei treten durch die Verwendung von Materialien mit unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten im keramischen Mehrschichtkörper in Abhängigkeit von der Temperatur mechanische Spannungen, die auf die Ferritschicht übertragen werden und so zu einer Änderung der Permeabilität der Ferritschicht führen.

Zusammenfassend sind folgende Vorteile der Erfindung hervorzuheben:

- Das abstimmbare induktive Bauelement ist kompakt und enthält keine mechanisch bewegten Komponenten. Insbesondere trifft das bei der Verwendung von Piezoelementen zu, die im Mehrschichtkörper integriert sind.

- Das induktive Bauelement ist miniaturisierbar, da die Spule zum Beispiel mit Hilfe der LTCC-Technologie planar zwischen Ferritschichten integriert werden kann und piezoelektrisch aktive Lagen durch Co-Sintern ebenfalls integriert oder auch nachträglich außen am Mehrschichtkörper angebracht werden können.

- Hochpermeable Ferrite wie MnZn-Verbindungen ermöglichen eine hohe Anfangsinduktivität im spannungsfreien Zustand und damit einen weiten Abstimmbereich.

- Bei Verwendung des induktiven Bauelements als Drucksensor wird ein hoher Berstdruck erzielt, da an Stelle der druckabhängigen Bewegung einer dünnen Membran die druckabhängige Permeabilität einer relativ dicken Ferritschicht gemessen wird.

Anhand mehrerer Ausführungsbeispiele und der dazu gehörigen Figuren wird die Erfindung im Folgenden näher erläutert. Die Figuren sind schematisch und stellen keine maßstabsgetreue Abbildung dar.

Figuren 1 und 2 zeigen jeweils einen Ausschnitt eines abstimmbaren induktiven Bauelements mit einem keramischen Mehrschichtkörpers im seitlichen Querschnitt.

Figur 3 zeigt einen Ausschnitt eines abstimmbaren induktiven Bauelements mit einem keramischen Mehrschichtkörpers im seitlichen Querschnitt, das als Drucksensor verwendet wird.

Figur 4 zeigt die Abhängigkeit der Induktivität zweier jeweils separat in einem keramischen Mehrschichtkörper integrierter Spulen von einem äußeren Druck.

Beispiel 1:

Das abstimmbare induktive Bauelement 100 ist ein monolithisch mit Piezoelementen 3 und 4 integriertes Variometer, bestehend aus einem keramischen Mehrschichtkörper 1 mit magnetisch aktiven

Ferritschichten 2 und piezoelektrisch aktiven Schichten 3c und 4c. Die Piezoelemente fungieren als Mittel zum Übertragen von mechanischer Spannung auf die Ferritschichten. Die Ferritschichten weisen MnZn-Ferrit auf, wobei die Ferritschichten eine relative Permeabilität von beispielsweise 500 aufweisen.

Über die jeweils beidseitig an den piezoelektrisch aktiven Schichten angeordneten Elektrodenschichten 3a, 3b, 4a und 4b kann eine elektrische Steuerspannung zur Auslenkung der Piezoelemente angelegt werden. Dabei müssen die inneren Elektrodenschichten 3b und 4a zwecks besserer mechanischer Verbindung der Schichten 2, 3c und 4c nicht notwendigerweise großflächig ausgeführt sein, sondern können Öffnungen enthalten.

In die Ferritschichten ist über die vertikalen Durchkontaktierungen 5a und 6a mit den äußeren Kontaktflächen 5b und 6b eine kontaktierbare Spule (Leitungselement) 7 eingebettet. Die Kontaktflächen 8 und 9 dienen der Zuführung der Steuerspannung für die Elektrodenschichten der Piezoelemente, wobei aus Symmetriegründen 3a und 4b sowie 3b und 4a vorteilhafterweise auf dem gleichen elektrischen Potential liegen. Durch den piezoelektrischen Effekt kommen dabei die piezoelektrisch aktiven Schichten 3c und 4c unter mechanische Spannung, die sie auf Grund der monolithischen Integration mit den Ferritschichten teilweise auf diese übertragen, so dass die magnetische Permeabilität in der Umgebung der Spule 7 abnimmt und folglich die Induktivität der Spule abnimmt.

In einer weiteren, hier nicht dargestellten Ausführungsform sind zwischen den Ferritschichten 2 mehrere lateral oder vertikal benachbarte und magnetisch verkoppelte Spulen integriert, deren Koppelkoeffizient sich ebenfalls über die Druckabhängigkeit der Permeabilität der Ferritlagen abstimmen lässt.

In einer weiteren, hier ebenfalls nicht dargestellten Ausführungsform sind einzelne oder mehrere piezoelektrische Elemente bzw. piezoelektrisch aktive Schichten innen zwischen

den Ferritschichten integriert. Auf diese Weise werden bei Ansteuerung der Elektrodenschichten dieser Piezoelemente lokal mechanische Spannungen in die Ferritschichten eingebracht.

Beispiel 2:

Eine alternative Ausführungsform sieht anstelle der Piezoelemente als Mittel zum Übertragen der mechanischen Spannung einfache, thermisch verspannte dielektrische Schichten im Verbund mit den Ferritschichten vor. Dabei können in Abhängigkeit von der Dicke der dielektrischen Schichten relativ zur Dicke der Ferritschichten mechanische Spannungen im Ferrit von deutlich über 100 MPa auftreten, z.B. 160 MPa (1600 bar) mit einer beobachteten Abnahme der Permeabilität um 90% von 500 auf 50 und in Folge davon mit einer Abnahme der Induktivität von 2 µH auf 0,2 µH bei 180 µm dielektrischer Dicke und 810 µm Ferritdicke. Die Konstante k (vgl. Gleichung 1) wurde dabei zu $k=10^{-4}$ MPa^{-1} ermittelt.

Beispiel 3:

In einer weiteren Ausführungsform ist im Vergleich zum Beispiel 1 das untere Piezoelement 4 fortgelassen und durch ein allseitiges Druckgehäuse 10 ersetzt worden. Dadurch ist es nicht mehr erforderlich, dass das obere Piezoelement 3 für die Übertragung der mechanischen Spannung auf die Ferritschichten 2 monolithisch mit diesen im keramischen Mehrschichtkörper integriert ist. Vielmehr kann es ein separates Element sein, das zusammen mit dem Keramikkörper 1 in das Druckgehäuse gelegt wird, bevor dieses durch einen Deckel verschlossen wird. Zum Betrieb als Variometer wird die untere Elektrodenschicht 3b mit Hilfe der Durchkontaktierung 9 gegenüber dem Druckgehäuse 10 elektrisch vorgespannt. Nach dem Stand der Technik können Piezokeramiken bei unterdrückter Längenänderung Drucke von einigen kN/cm^2 bzw. einigen 100 bar erzeugen, z.B. 400 bar bei üblichen Piezoaktoren für Kfz-Einspritzventile. Die Spannung im Ferrit kann außerdem konstruktiv leicht um das Zwei- bis Dreifache gesteigert werden, wenn der Querschnitt des Piezoaktors entsprechend größer als der

des Ferrit-Gegenstückes gewählt wird. Demnach können die oben beschriebenen Effekte im Bereich von 1000 bar auch in dieser Bauform erzielt werden.

Beispiel 4:

In der Ausführung gemäß Figur 3 fehlt auch das obere Piezoelement 3. Stattdessen ist das Gehäuse 10 oben durch eine flexible Membran 11 abgedichtet, die bei äußerer Belastung entweder unmittelbar oder über mechanische Zwischenelemente bzw. Kraftübersetzungen Druck auf die Ferritschichten 2 ausübt. Ein Druckausgleich erfolgt dabei auf der unbelasteten Seite über den Kanal 12. Die dadurch hervorgerufene Veränderung der Induktivität der Spule 7 stellt ein Maß für den äußeren Druck dar. Das Element arbeitet somit als Drucksensor.

Mit einer gemäß Figur 3 realisierten Ausführungsform konnte die Machbarkeit der Erfindung nachgewiesen werden. Das abstimmbare induktive Bauelement besteht aus dem keramischen Mehrschichtkörper 1 mit integrierter Spule 7. Der Mehrschichtkörper ist mit Hilfe der LTCC-Technologie hergestellt. Der Mehrschichtkörper ist zusammen mit einem Kraftaufnehmer (Dehnungsmessstreifen) in einen Schraubstock so eingespannt, dass die auf den Mehrschichtkörper ausgeübte Kraft unabhängig gemessen wird. Bei bekannter Fläche des Mehrschichtkörpers kann somit der Druck berechnet und direkt mit der beobachteten Änderung der Induktivität der integrierten Spule korreliert werden. Für zwei unterschiedlich große Spulen ergeben sich die in Figur 4 dargestellten Abhängigkeiten der Induktivitäten vom äußeren Druck: Zu sehen sind die jeweiligen Messpunkte und die Anpassungskurven. Für die Anpassungskurven wurde die Materialkonstante k = 3x $k=10^{-4}$ MPa^{-1} eingesetzt. Es resultiert eine Reduktion der Induktivitäten um 25% bei σ = 20 MPa (200 bar).

Patentansprüche

1. Abstimmbares induktives Bauelement(100), aufweisend
- mindestens einen keramischen Mehrschichtkörper (1) mit mindestens einer Ferritschicht (2) mit ferritischem Material und
- mindestens eine im Volumen des Mehrschichtkörpers integrierte Spule (7), wobei
- eine Permeabilität der Ferritschicht abhängig ist von einer mechanischen Spannung, die auf die Ferritschicht wirkt,
- die Spule derart im Volumen des Mehrschichtkörpers integriert ist, dass eine Induktivität der Spule von der Permeabilität des Ferritschicht abhängt, und
- ein Mittel (3, 4, 10, 11) zum Übertragen der mechanischen Spannung auf die Ferritschicht vorhanden ist, so dass die Permeabilität der Ferritschicht eingestellt werden kann.

2. Bauelement nach Anspruch 1, wobei die Spule in die Ferritschicht eingebettet ist.

3. Bauelement nach Anspruch 2, wobei die Spule spannungsfrei eingebettet ist.

4. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das ferritische Material eine MnZn-Verbindung aufweist.

5. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Mittel zum Übertragen der mechanischen Spannung mindestens ein Piezoelement (3, 4) aufweist.

6. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Mittel zum Übertragen der mechanischen Spannung im Volumen des Mehrschichtkörpers integriert ist.

7. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Mittel zum Übertragen der mechanischen Spannung ein Gehäuse (10) des Mehrschichtkörpers aufweist.

8. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der mindestens eine Lage des Mehrschichtkörpers Glaskeramik aufweist.

9. Bauelement nach Anspruch 8, wobei der Mehrschichtkörper in LTCC-Technologie hergestellt ist.

10. Verwendung des Bauelements nach einem der Ansprüche 1 bis 9 in einer elektrischen Schaltung, die aus der Gruppe Filterschaltung oder Oszillatorschaltung ausgewählt wird.

11. Verwendung des Bauelements nach einem der Ansprüche 1 bis 9 als Drucksensor.

FIG 1

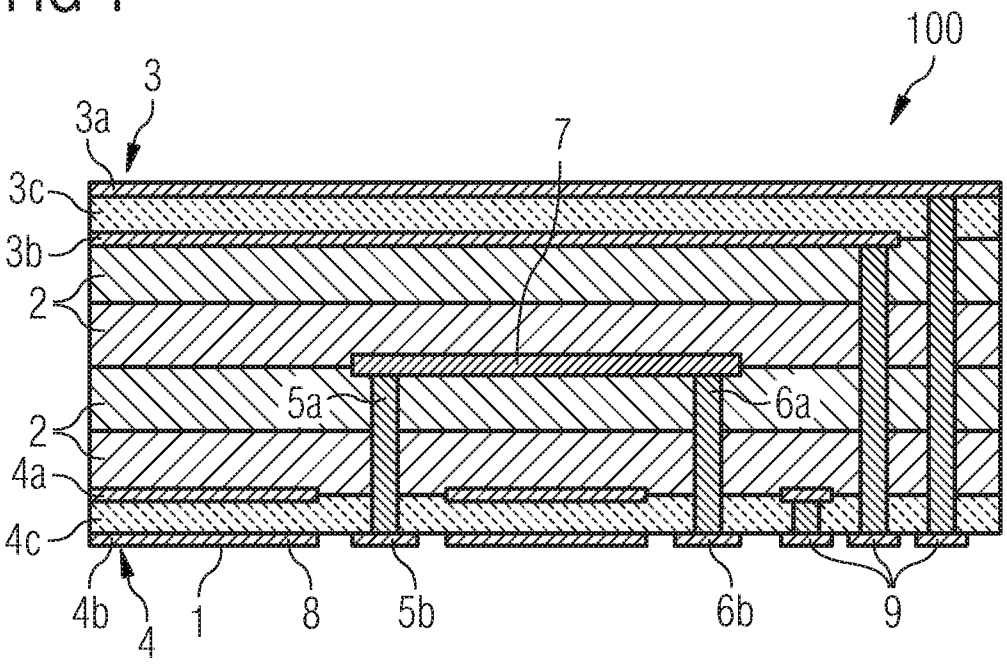

100
3
3a
7
3c
3b
2
5a
6a
2
4a
4c
4b
4
1
8
5b
6b
9

FIG 2

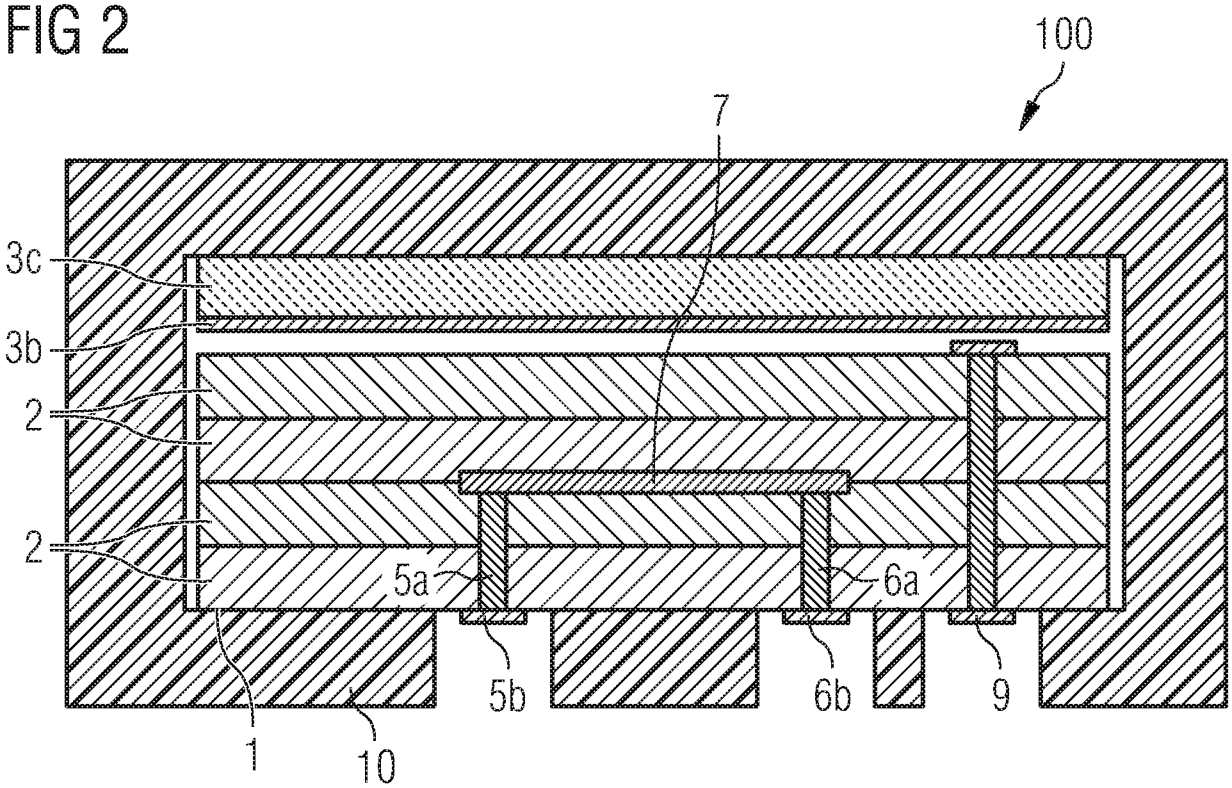

100
7
3c
3b
2
2
5a
6a
5b
6b
9
1
10

FIG 3

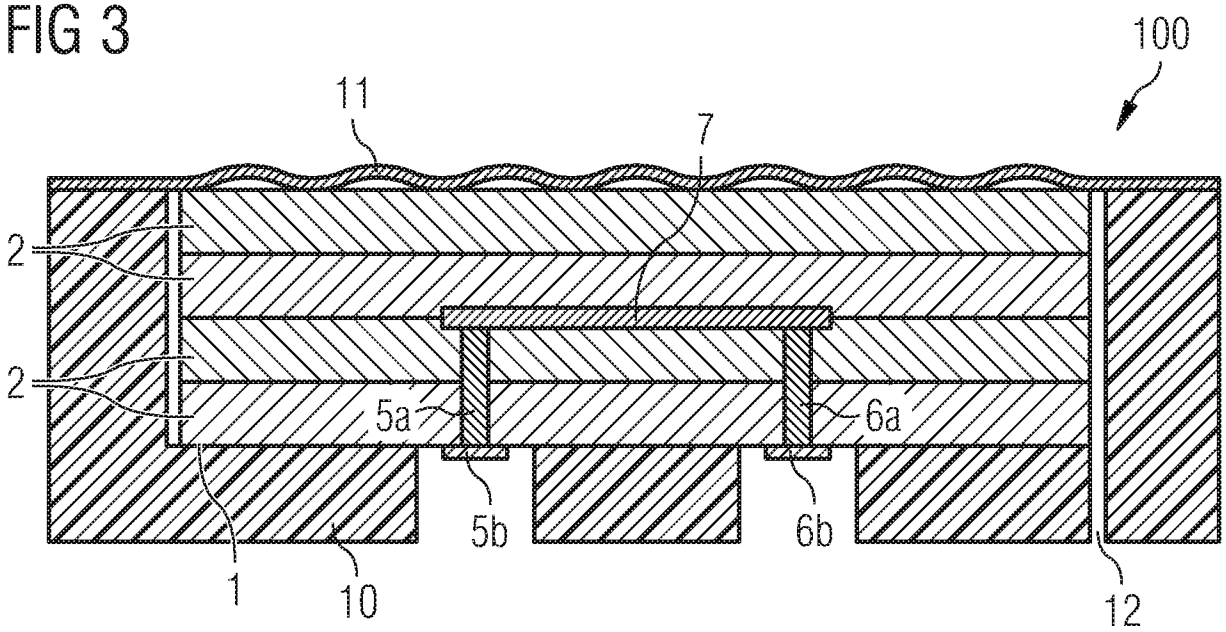
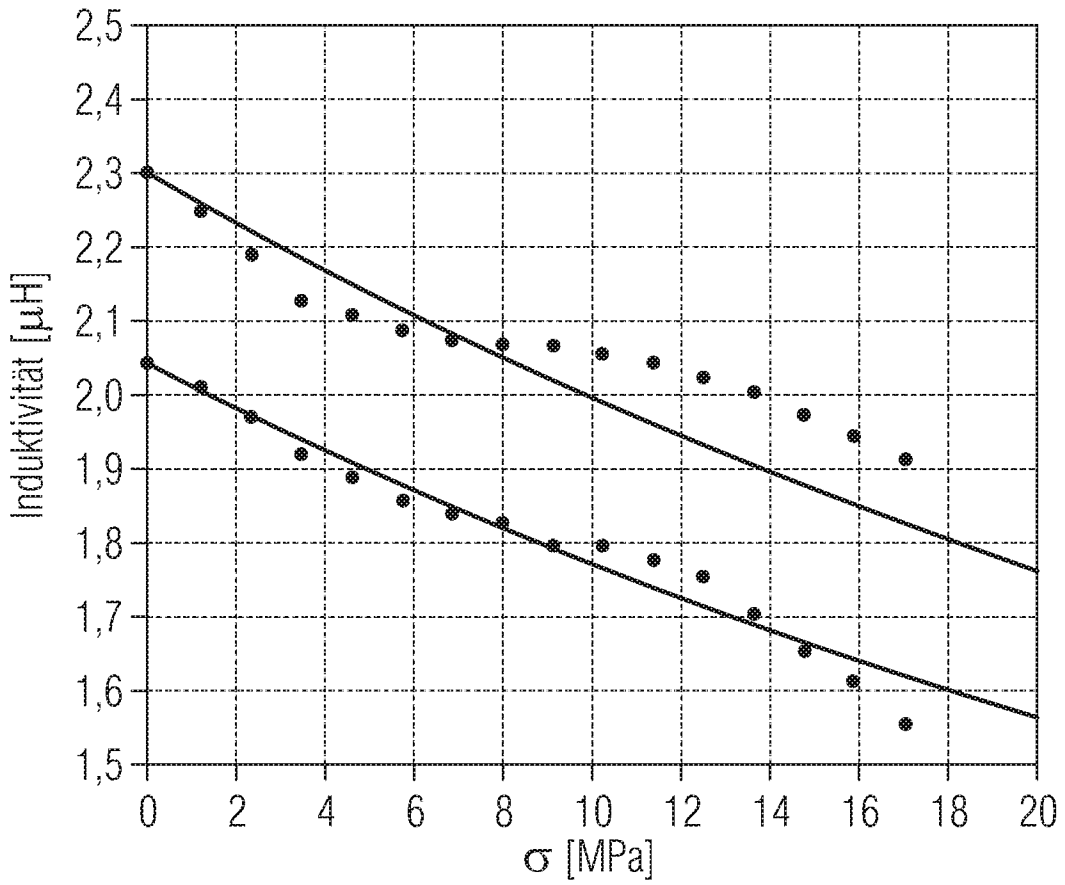

100
11
7
2
2
5a
6a
5b
6b
1
10
12

FIG 4


Induktivität [µH]
2,5
2,4
2,3
2,2
2,1
2,0
1,9
1,8
1,7
1,6
1,5
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
σ [MPa]