



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 31 492 T2** 2006.06.29

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 996 942 B1**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G08B 13/24** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 31 492.1**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/EP98/04053**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 939 591.8**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 99/013442**

(86) PCT-Anmeldetag: **01.07.1998**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **18.03.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **03.05.2000**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **07.09.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **29.06.2006**

(30) Unionspriorität:  
**890723 09.07.1997 US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(73) Patentinhaber:  
**Vacuumschmelze GmbH & Co. KG, 63450 Hanau,  
DE**

(72) Erfinder:  
**HERZER, Giselher, D-63486 Bruchköbel, DE**

(74) Vertreter:  
**Schweiger & Partner, 80333 München**

(54) Bezeichnung: **AMORPHE MAGNETOSTRIKTIVE LEGIERUNG UND ELEKTRONISCHES WARENÜBERWA-  
CHUNGSSYSTEM UNTER BENÜTZUNG DIESER LEGIERUNG**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

## Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine amorphe, magnetostruktive Legierung zur Verwendung in einem Marker, der in einem magnetomechanischen, elektronischen Warenüberwachungssystem eingesetzt wird. Die vorliegende Erfindung bezieht sich auch auf ein magnetomechanisches, elektronisches Warenüberwachungssystem, das diesen Marker einsetzt, sowie auf das Verfahren zur Herstellung der amorphen, magnetostruktiven Legierung, und auf ein Verfahren zur Herstellung des Markers.

## Beschreibung des bisherigen Standes der Technik

**[0002]** Es sind verschiedene Arten elektronischer Warenüberwachungssysteme bekannt, die alle das gemeinsame Merkmal besitzen, dass sie einen Marker oder ein Schild verwenden, der bzw. das an einem Gegenstand befestigt wird, der vor Diebstahl geschützt werden soll, wie Waren in einem Laden. Wenn ein legitimer Einkauf des Artikels stattfindet, kann der Marker entweder von dem Artikel abgenommen oder von einem aktiven Zustand in einen deaktivierten Zustand verwandelt werden. Bei diesen Systemen wird ein Meldesystem meistens an allen Ladenausgängen installiert und wenn ein aktivierter Marker das Meldesystem passiert, wird dies durch das Meldesystem festgestellt, und ein Alarm wird ausgelöst.

**[0003]** Eine Art eines elektronischen Warenüberwachungssystems ist als Oberschwingungssystem bekannt. Bei einem solchen System besteht der Marker aus ferromagnetischem Material und das Meldesystem erzeugt ein elektromagnetisches Feld bei einer festgelegten Frequenz. Wenn der magnetische Marker das elektromagnetische Feld passiert, stört er das Feld und bewirkt, dass Oberschwingungen der festgelegten Frequenz erzeugt werden. Das Meldesystem ist darauf abgestimmt, bestimmte Oberschwingungsfrequenzen festzustellen. Wenn diese Oberschwingungsfrequenzen gemeldet werden, wird ein Alarm ausgelöst. Die Oberschwingungsfrequenzen, die erzeugt werden, hängen von dem Magnetverhalten des Markers ab, insbesondere von dem Ausmaß, in dem die B-H Schleife des magnetischen Materials von einer linearen B-H Schleife abweicht. Im allgemeinen werden desto mehr Oberschwingungen erzeugt, je mehr sich die Nichtlinearität der B-H Schleife erhöht. Ein System dieser Art wird beispielsweise in dem amerikanischen Patent Nr. 4.484.184 beschrieben.

**[0004]** Doch im Zusammenhang mit diesen Oberschwingungssystemen treten zwei grundlegende Probleme auf. Die Störungen in dem elektromagnetischen Feld, die von dem Marker erzeugt werden, treten innerhalb eines relativ kleinen Bereichs auf, und sie können deshalb nur sehr nahe am Marker selbst festgestellt und gemeldet werden. Wenn ein solches Oberschwingungssystem in einem Ladengeschäft eingesetzt wird, bedeutet dies deshalb, dass der Durchgang, der von dem elektromagnetischen Sender auf der einen Seite und dem elektromagnetischen Empfänger auf der anderen Seite begrenzt wird, und den die Kunden passieren müssen, auf höchstens ca. 90 cm (3 Fuß) beschränkt ist. Ein weiteres Problem im Zusammenhang mit diesen Oberschwingungssystemen ist die Schwierigkeit, Oberschwingungen, die von dem ferromagnetischen Material des Markers erzeugt werden, von jenen zu unterscheiden, die von anderen ferromagnetischen Gegenständen wie Schlüsseln, Münzen, Gürtelschnallen etc. zu unterscheiden.

**[0005]** Demzufolge ist eine andere Art von elektronischem Warenüberwachungssystem entwickelt worden, das unter der Bezeichnung magnetomechanisches System bekannt ist. Ein solches System wird beispielsweise in dem amerikanischen Patent NR. 4.510.489 beschrieben. Bei dieser Art von System besteht der Marker aus einem Element aus elektromagnetischen Material, genannt Resonator, der neben einem Streifen aus magnetisierbarem Material, genannt Vorspannelement, angeordnet ist. Der Resonator besteht meistens (aber nicht unbedingt) aus amorphem, ferromagnetischem Material und das Vorspannelement besteht aus kristallinem, ferromagnetischem Material. Der Marker wird durch Magnetisieren des Vorspannelementes aktiviert und durch Entmagnetisieren des Vorspannelementes deaktiviert.

**[0006]** Bei einem derartigen magnetomechanischen System besitzt die Detektoranordnung einen Sender, der im unteren HF-Bereich wie z.B. bei 58 kHz Impulse in Form von HF-Stößen aussendet. Die Impulse (Stöße) werden mit einer Grundfrequenz von beispielsweise 60 Hz und einer Pause zwischen aufeinanderfolgenden Impulsen ausgesendet (übertragen). Die Detektoranordnung besitzt außerdem einen Empfänger, der mit dem Sender synchronisiert (torgesteuert) ist, so dass er nur in den Pausen zwischen den Impulsen, die von dem Sender ausgesendet werden, aktiviert ist. Der Empfänger "rechnet damit", dass er in diesen Pausen zwischen den Impulsen nichts feststellt. Doch wenn ein aktivierter Marker zwischen Sender und Empfänger vorhanden ist, wird der in ihm existierende Resonator durch die übertragenen Impulse angeregt, und schwingt mechanisch mit Senderfrequenz, d.h. mit 58 kHz im obigen Beispiel. Der Resonator sendet ein Signal aus, das bei

Resonatorfrequenz mit einer exponentiellen Abfallzeit ("Signalabfallzeit") 'ertönt'. Das Signal, das von dem aktivierten Marker ausgesendet wird, wenn sich dieser zwischen Sender und Empfänger befindet, wird von dem Empfänger in den Pausen zwischen den übertragenen Impulsen gelöscht, und der Empfänger löst demzufolge einen Alarm aus. Um einen falschen Alarm weitgehend zu reduzieren, muss der Detektor ein Signal normalerweise in mindestens zwei und vorzugsweise vier aufeinanderfolgenden Pausen erkennen bzw. feststellen.

**[0007]** Um einen falschen Alarm, beispielsweise aufgrund von Signalen, die von anderen HF-Quellen erzeugt werden, weiter zu reduzieren bzw. zu minimieren, verwendet der Empfängerschaltkreis zwei Meldefenster in jeder Pause. Der Empfänger integriert jedes 58 kHz Signal (in diesem Beispiel), das in jedem Fenster vorhanden ist, und vergleicht die Integrationsergebnisse der jeweiligen, in den Fenstern integrierten Signale. Da es sich bei dem von dem Marker erzeugten Signal um ein abfallendes Signal handelt, wenn das festgestellte Signal von einem Resonator in einem Marker kommt, wird es in den Fenstern eine abnehmende Amplitude (Integrationsergebnis) aufweisen. Ein HF-Signal aus einer anderen HF-Quelle, das sich zufällig auf der festgelegten Resonanzfrequenz befindet oder Oberschwingungen auf der festgelegten Resonanzfrequenz besitzt, würde im wesentlichen die gleiche Amplitude in jedem Fenster aufweisen (Integrationsergebnis). Deshalb wird nur dann ein Alarm ausgelöst, wenn das in beiden Fenstern in einer Pause festgestellte Signal in jeder einer Anzahl aufeinanderfolgender Pausen den oben genannten, abnehmenden Amplitudengang aufweist.

**[0008]** Wie oben bereits gesagt, wird die Empfängerelektronik für diese Zwecke durch einen Synchronisationsschaltkreis mit der Senderelektronik synchronisiert. Die Empfängerelektronik wird durch den Synchronisationsschaltkreis aktiviert und schaut in einem ersten Aktivierungsfenster ungefähr 1,7 ms nach dem Ende jedes übertragenen Impulses nach dem Vorhandensein eines Signals mit der festgelegten Resonanzfrequenz. Um das Signal (wenn es von dem Resonator ausgesendet wird) innerhalb dieses ersten Fensters zuverlässig von dem Signal in dem zweiten Fenster unterscheiden zu können, ist eine hohe Signalamplitude im ersten Fenster wünschenswert. Anschließend wird die Empfängerelektronik deaktiviert und wird dann ungefähr 6 ms nach der ursprünglichen Resonatorerregung in einem zweiten Meldefenster wieder aktiviert, um wieder nach einem Signal mit der festgelegten Resonanzfrequenz Ausschau zu halten und es zu integrieren. Wenn ein solches Signal mit ungefähr dem gleichen Ergebnis wie in dem ersten Meldefenster integriert wird, nimmt die Auswertungs-elektronik an, dass das in dem ersten Fenster festgestellte Signal nicht von einem Marker kam, sondern stattdessen von einem Geräusch oder von einer anderen, externen HF-Quelle. Deshalb wird kein Alarm ausgelöst.

**[0009]** In den PCT-Anmeldungen WO 96/32731 und WO 96/32518, die dem amerikanischen Patent Nr. 5.469.489 entsprechen, wird eine glasartige Metalllegierung beschrieben, die im wesentlichen aus der Formel  $\text{Co}_a\text{Fe}_b\text{Ni}_c\text{M}_d\text{B}_e\text{Si}_f\text{C}_g$  besteht, wobei M aus Molybdän und Chrom ausgewählt wird und es sich bei a, b, c, d, e, f und g um Atomprozent (at %) handelt, und a von ungefähr 40 bis ungefähr 43, b von ungefähr 35 bis ungefähr 42, c von 0 bis ungefähr 5, d von 0 bis ungefähr 3, e von ungefähr 10 bis ungefähr 25, f von 0 bis ungefähr 15 und g von 0 bis ungefähr 2 reicht. Die Legierung kann durch rasches Erstarren zu einem Band vergossen, zur Verbesserung ihrer magnetischen Eigenschaften wärmebehandelt und anschließend zu einem Marker ausgebildet werden, der für den Einsatz in magnetomechanisch gesteuerten Warenüberwachungssystemen besonders geeignet ist. Der Marker ist durch ein relativ lineares Magnetisierverhalten in einem Frequenzbereich gekennzeichnet, in dem Markersysteme mit Oberschwingungen magnetisch wirken. Die für den Marker festgestellten Spannungsamplituden sind hoch und eine Interferenz zwischen Überwachungssystemen auf der Grundlage von mechanischer Resonanz und harmonischer Rückkopplung sind ausgeschlossen.

**[0010]** In dem amerikanischen Patent Nr. 5.469.140 wird ein bandförmiger Streifen einer amorphen, magnetischen Legierung beschrieben, die wärmebehandelt wird, während ein querverlaufendes, sättigendes Magnetfeld darauf angewendet wird. Der so behandelte Streifen wird in einem Marker für ein elektronisches Warenüberwachungssystem mit Impulsabfrage verwendet. Ein bevorzugtes Material für den Streifen besteht aus Eisen, Kobalt, Silikon und Bor, wobei der Kobaltanteil 30 Atomprozent (at %) überschreitet.

**[0011]** In dem amerikanischen Patent Nr. 5.252.144 wird vorgeschlagen, dass verschiedene magnetostruktive Legierungen wärmebehandelt werden, um ihre Signalabfallzeiten zu verbessern. In diesem Patent ist jedoch nicht davon die Rede, dass während der Erwärmung ein Magnetfeld angewendet wird. Ungeachtet dieser Versuche muss ein magnetostruktiver Marker für den Einsatz in einem magnetomechanischen Warenüberwachungssystem, der für den Einsatz in einem solchen System optimale Merkmale aufweist, und der für ein Oberschwingungssystem 'unsichtbar' ist, noch entwickelt werden.

**[0012]** Ein Problem im Zusammenhang mit den Merkmalen herkömmlicher Resonatoren, die früher in diesen magnetomechanischen Systemen verwendet worden sind, besteht darin, dass sie so ausgelegt wurden, dass

sie, unmittelbar nachdem sie durch den übertragenen Impuls angetrieben worden sind, eine relativ hohe Signalamplitude erzeugen, um eine Integration in das erste Meldefenster zu erleichtern. Das führt dazu, dass das Resonatorsignal eine relativ lange Signalabfallzeit hat, und deshalb hat das Resonatorsignal zu dem Zeitpunkt, an dem das zweite Meldefenster erscheint, immer noch eine relativ hohe Amplitude. Die Erkennungsempfindlichkeit (Zuverlässigkeit) des gesamten Überwachungssystems ist direkt abhängig von der Amplitudendifferenz (Integrationsergebnis) des Resonatorsignals in diesen beiden aufeinanderfolgenden Meldefenstern. Wenn die Signalabfallzeit relativ langsam ist, kann es sein, dass die Amplitudendifferenz (Integrationsergebnis) des Resonatorsignals in den beiden Meldefenstern klein genug wird, so dass es in eine normale Variationsbreite für innere Störsignale fällt. Wenn das Meldesystem so eingestellt ist, dass diese kleinen Unterschiede als alarmauslösendes Kriterium ignoriert werden, dann würde ein Signal, das tatsächlich von einem Marker kommt, und somit einen Alarm auslösen sollte, dies nicht tun. Alternativ – wenn das System so eingestellt ist, dass diese relativ kleine Differenz als Bedingung zum Auslösen eines Alarms behandelt wird, erhöht dies die Frequenz für Falschalarme.

**[0013]** Da sowohl Oberschwingungssysteme als auch magnetomechanische Systeme in kommerzieller Umgebung vorhanden sind, ist ein weiteres Problem unter der Bezeichnung "Verschmutzung" bekannt. Es handelt sich dabei um einen Marker, der in einem System arbeiten soll und dabei in dem anderen System einen falschen Alarm erzeugt. Dies tritt am häufigsten bei einem herkömmlichen Marker auf, der in einem magnetomechanischen System eingesetzt werden soll, und in einem Oberschwingungssystem einen falschen Alarm auslöst. Wie oben beschrieben, geschieht dies, da der Marker in einem Oberschwingungssystem die feststellbaren Oberschwingungen erzeugt, weil er eine nichtlineare B-H Schleife aufweist. Ein Marker mit einer linearen B-H Schleife wäre für ein Oberschwingungs-Überwachungssystem "unsichtbar". Doch eine nichtlineare Schleife ist die "normale" Art von B-H Schleife, die magnetisches Material besitzt; es müssen besondere Maßnahmen ergriffen werden, um Material herzustellen, das eine lineare B-H Schleife aufweist.

**[0014]** Ein weiteres wünschenswertes Merkmal eines Resonators, der in einem Marker eines magnetomechanischen Überwachungssystems eingesetzt wird, ist es, besteht darin, dass die Resonanzfrequenz des Resonators nur geringfügig von der Vormagnetisierungsfeldstärke abhängt, die von dem Vorspannelement erzeugt wird. Mit dem Vorspannelement wird der Marker aktiviert und deaktiviert und er kann somit leicht magnetisiert und entmagnetisiert werden. Wenn das Vorspannelement magnetisiert wird, um den Marker zu aktivieren, kann die exakte Feldstärke des Magnetfeldes, das von dem Vorspannelement erzeugt wird, nicht garantiert werden. Deshalb ist es wünschenswert, dass sich die Resonanzfrequenz des Resonators zumindest innerhalb eines angegebenen Feldstärkenbereichs bei verschiedenen Magnetisierungsfeldstärken nicht wesentlich ändert. Das heißt, dass  $df_r/dH_0$  klein sollte, wobei  $f_r$  die Resonanzfrequenz und  $H_0$  die Stärke des Magnetisierungsfeldes ist, das von dem Vorspannelement erzeugt wird.

**[0015]** Bei der Deaktivierung des Markers ist es jedoch wünschenswert, dass es bei Entfernung des Magnetisierungsfeldes zu einer sehr großen Veränderung in der Resonanzfrequenz kommt. Damit wird sichergestellt, dass ein deaktivierter Marker, der an einem Gegenstand verbleibt, wenn überhaupt, bei einer Resonanzfrequenz mitschwingt, die weit entfernt ist von der Resonanzfrequenz, welche von der Detektoranordnung erkannt werden soll.

**[0016]** Schließlich muss der Werkstoff, der zur Herstellung des Resonators verwendet wird, mechanische Eigenschaften aufweisen, die es ermöglichen, dass der Resonatorwerkstoff als Massengut verarbeitet werden kann, normalerweise mit einer Wärmebehandlung (Glühen), um die magnetischen Eigenschaften einzustellen. Da amorphes Metall normalerweise als kontinuierliches Band vergossen wird, bedeutet dies, dass das Band ausreichend verformbar sein muss, um in einem Glühofen verarbeitet werden zu können, was heißt, dass das Band von einer Spule abgerollt, durch den Glühofen laufen und nach dem Glühen möglicherweise wieder aufgewickelt werden muss. Außerdem wird das wärmebehandelte Band normalerweise in kleine Streifen geschnitten, damit die Streifen in Marker integriert werden können; der Werkstoff darf also nicht zu spröde sein und seine magnetischen Eigenschaften dürfen sich, sobald sie durch die Wärmebehandlung eingestellt worden sind, durch das Schneiden nicht verändern oder verschlechtern.

#### Zusammenfassung der Erfindung

**[0017]** Eine Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine magnetostriktive, amorphe Metalllegierung zur Integration in einen Marker eines magnetomechanischen Überwachungssystems zu liefern, die in einen länglichen, verformbaren, magnetostriktiven Streifen geschnitten werden kann, welcher durch Anwenden oder Entfernen eines Vormagnetisierungsfeldes  $H_0$  aktiviert und deaktiviert werden kann, und der im aktivierten Zustand durch ein magnetisches Wechselfeld erregt werden kann, um bei einer Frequenz  $f_r$  längsverlaufende, mechanische

Resonanzschwingungen zu erzeugen, welche anfangs, nach der Erregung, eine relativ hohe Signalamplitude besitzen, doch die danach relativ schnell abfallen.

**[0018]** Es ist insbesondere eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine magnetostriktive, amorphe Legierung zu liefern, welche bei Erregung Schwingungen einer Resonanzfrequenz erzeugt, welche eine ausreichend große Amplitude aufweisen, so dass sie zuverlässig in einem ersten Meldefenster in dem magnetomechanischen Überwachungssystem erkannt werden, und die zu dem Zeitpunkt, wenn das zweite Meldefenster erscheint, in der Amplitude ausreichend genug abgefallen sind, so dass die von dem Marker ausgehenden Schwingungen zuverlässig von inneren Störsignalen unterschieden werden können.

**[0019]** Es ist weiterhin eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Legierung zu liefern, bei der es angesichts einer Veränderung in der Magnetisierungsfeldstärke nur zu einer geringfügigen Änderung in der Resonanzfrequenz  $f_r$  kommt.

**[0020]** Eine weitere Aufgabe besteht darin, eine Legierung zu liefern, bei der sich die Resonanzfrequenz  $f_r$  erheblich verändert, wenn der Resonator des Markers von einem aktiviertem Zustand in einen deaktivierten Zustand gebracht wird.

**[0021]** Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Legierung zu liefern, die bei Integration in einen Marker für ein magnetomechanisches Überwachungssystem in einem Oberschwingungsüberwachungssystem keinen Alarm auslöst.

**[0022]** Die obige Aufgabe wird gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung durch die Gegenstände der Patentansprüche 1, 14, 15 und 16 erreicht.

**[0023]** Bevorzugte Ausführungsarten der Legierung zur Herstellung des Bandes einer Breite von 12,7 mm (1/2 Zoll) sind  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{16}\text{Ni}_{42}\text{Si}_2\text{B}_{16}$  und  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{16}\text{Ni}_{42,7}\text{Si}_{1,5}\text{B}_{15,5}\text{C}_{0,3}$  und  $\text{Fe}_{25}\text{Co}_{15}\text{Ni}_{43,5}\text{Si}_1\text{B}_{15,5}$  und bevorzugte Ausführungsarten für die Herstellung des Bandes mit einer Breite von 6 mm sind  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{16}$  und  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40,7}\text{Si}_{1,5}\text{B}_{15,5}$  und  $\text{C}_{0,3}$  und  $\text{Fe}_{25}\text{Co}_{17}\text{Ni}_{40,5}\text{Si}_{1,5}\text{B}_{16}$ . (Kohlenstoff ist in der ursprünglich genannten Formel der Erfindung nicht aufgeführt, doch er kann in sehr kleinen Mengen vorhanden sein. Da er sich wie Bor verhält, kann er als innerhalb der angegebenen Bormenge subsumiert angesehen werden.)

**[0024]** Der obige Resonator erzeugt ein Signal, das bei 1 ms nach Erregung des Resonators im Vergleich zu der Amplitude des Signals unmittelbar nach der Erregung zusätzlich zu den obigen Merkmalen um höchstens 15 dB und vorzugsweise um höchstens 10 dB abgeschwächt wird (abfällt).

**[0025]** Die Legierung wird durch rasches Abkühlen aus der Schmelze vorbereitet, um ein amorphes Band daraus herzustellen. Anschließend wird das Band einer Wärmebehandlung unterzogen, indem es in einem Temperaturbereich zwischen 300°C und 400°C weniger als 60 Sekunden lang geglüht und gleichzeitig einem quer verlaufenden Magnetfeld ausgesetzt wird, d.h. einem Magnetfeld einer Richtung, die im wesentlichen senkrecht zur Längsausdehnung (längsten Ausdehnung) des Bandes und in der Ebene des Bandes verläuft.

**[0026]** Wie oben erwähnt, besitzt die wärmebehandelte Legierung, welche einen Resonator bildet, der die oben genannte Zusammensetzung hat, eine lineare B-H Schleife bis zum Sättigungsbereich, und die Anisotropiefeldstärke  $H_k$  beträgt ungefähr 80 A/m, was ungefähr 10 Oe entspricht. Dies ergibt einen Marker aus einem von einem Band abgeschnittenem Streifen, der in einem Oberschwingungs-Überwachungssystem keinen Alarm auslöst, weil die magnetische Anisotropie quer zu dem Streifen eingestellt ist.

**[0027]** Das mechanische Schwingungssignal  $A(t)$ , das von einem Streifen, der von einem solchen Band abgeschnitten wurde, erzeugt wird, wenn es von einem übertragenen Impuls in einem magnetomechanischen Überwachungssystem angetrieben wird, hat die folgende Form:

$$A(t) = A(0) \cdot \exp(-t \cdot \pi \cdot f_r / Q)$$

wobei  $A(0)$  die Anfangsamplitude und  $Q$  die Qualität des Resonators ist. Die Legierung gemäß der Erfindung wurde aufgrund der Erkenntnis hergestellt, dass  $Q$  unter ca. 500–600, aber mindestens 100 und vorzugsweise 200 betragen sollte, damit das von dem Resonator erzeugte Signal anfangs die gewünschte hohe Signalamplitude, gefolgt von einem relativ raschen Abfall, besitzt. Die Obergrenze für  $Q$  bestimmt die maximale Signalabfallzeit, die für eine ausreichende Signalabschwächung in dem zweiten Meldefenster zulässig ist, und die Untergrenze garantiert eine ausreichende Signalamplitude in dem ersten Meldefenster (wenn  $t$  sehr gering ist).

Eine Legierung mit der oben genannten Zusammensetzung besitzt ein  $Q$  innerhalb dieses Bereichs und führt zu einem Abfall in der Signalamplitude von ungefähr 15 dB zwischen der Amplitude in dem oben genannten ersten Meldefenster und der Amplitude in dem oben genannten zweiten Meldefenster.

**[0028]** Resonatoren, die mit einer Legierung gemäß der oben genannten Formel hergestellt werden, zeigen angesichts von Veränderungen in der Vormagnetisierungsfeldstärke nur eine geringfügige Veränderung in der Resonanzfrequenz  $f_r$ . Bei einer Feldstärke von  $H_b$  in einem Bereich zwischen 6 und 7 Oe, lautet die Veränderung der Resonanzfrequenz  $f_r$  (ausgedrückt in einem absoluten Wert) für Legierungen mit der oben genannten Formel wie folgt:

$$|df_r/dH_b| < 700 \text{ Hz/Oe.}$$

**[0029]** Die Resonanzfrequenz  $f_r$  von Legierungen, die nach der oben genannten Formel hergestellt worden sind, verändert sich um mindestens 1,2 kHz, wenn der Marker von dem aktivierten Zustand in den deaktivierten Zustand gebracht wird. Diese ist groß genug, um zuverlässig auszuschließen, dass der Marker in dem deaktivierten Zustand ein feststellbares Signal erzeugt.

**[0030]** Band, das aus einer Legierung gemäß der oben genannten Formel hergestellt worden ist, ist außerdem hinreichend verformbar, so dass das Band aufgewickelt und abgewickelt werden und in Streifen geschnitten werden kann, ohne dass sich die vorgenannten Eigenschaften dadurch verändern.

**[0031]** Ein Marker für den Einsatz in einem magnetomechanischen Überwachungssystem besitzt einen Resonator, der aus einer Legierung hergestellt, welche aus der oben genannten Formel besteht, und die obigen Eigenschaften besitzt, und der neben einem Vorspannelement, das aus einem ferromagnetischen Werkstoff besteht, in einem Gehäuse enthalten ist.

**[0032]** Dieser Marker ist für den Einsatz in einem magnetomechanischen Überwachungssystem geeignet, das einen Sender besitzt, der in einer festgelegten Frequenz aufeinanderfolgende HF-Stöße mit Pausen zwischen den Stößen aussendet, einen Detektor, der darauf abgestimmt ist, Signale in einer festgelegten Frequenz zu melden, einen Synchronisationsschaltkreis, welcher die Funktion des Senderschaltkreises und des Empfängerschaltkreises synchronisiert, so dass der Empfängerschaltkreis aktiviert ist und in den Pausen zwischen den Stößen nach einem Signal der festgelegten Frequenz Ausschau hält, und eine Alarmvorrichtung, welche ausgelöst wird, wenn der Detektorschaltkreis innerhalb mindestens einer der Pausen zwischen aufeinanderfolgenden Impulsen ein Signal meldet, das als von einem Marker kommend identifiziert wird. Der Alarm wird vorzugsweise dann ausgelöst, wenn ein Signal festgestellt wird, das in mehr als einer Pause als von einem Marker kommend identifiziert wird. Wegen der oben genannten Eigenschaften des Markers, die von der Legierung herrühren, welche die oben beschriebene Formel aufweist, hat die Signalabfallzeit des Markers die entsprechenden Eigenschaften, so dass das System so eingestellt werden kann, dass der Alarm immer zur geeigneten Zeit ausgelöst wird, während gleichzeitig das Auslösen falscher Alarme wesentlich verringert wird.

#### Beschreibung der Zeichnungen

**[0033]** [Fig. 1](#) zeigt einen Marker im Kontext eines schematisch dargestellten magnetomechanischen Warenüberwachungssystems, bei dem der obere Gehäuseteil teilweise weggelassen wurde, um die internen Bauteile zu zeigen, mit einem Resonator, der gemäß den Grundsätzen der Erfindung hergestellt wurde.

**[0034]** [Fig. 2](#) veranschaulicht die Signale, die von verschiedenen Markern erzeugt werden, wobei verschiedene  $Q$ -Werte in einem magnetomechanischen, elektronischen Überwachungssystem angezeigt werden.

**[0035]** [Fig. 3](#) zeigt die Beziehung des Verhältnisses zwischen der Signalamplitude in dem ersten Fenster und der Signalamplitude in dem zweiten Fenster in Abhängigkeit von der Resonator-Qualität  $Q$ .

**[0036]** [Fig. 4](#) zeigt die Beziehung der Signalamplitude in dem ersten Meldefenster zu der Resonator-Qualität  $Q$ , wobei eine gestrichelte Linie die Beziehung zeigt, wenn  $Q$  durch künstliche Messungen reduziert wird, und mit Werten für verschiedene Legierungszusammensetzungen, die mit unterschiedlichen Symbolen gezeigt werden.

**[0037]** [Fig. 5](#) veranschaulicht eine typische B-H Schleife, die durch ein amorphes, magnetostriktives Band dargestellt wird, das gemäß den Grundsätzen der Erfindung hergestellt wurde, nach der Wärmebehandlung in einem querverlaufenden Magnetfeld, wobei eine ideale Kurve in gestrichelten Linien gezeigt wird, sowie zur

Erläuterung der Definition der Anisotropie-Feldstärke  $H_k$ . [Fig. 6](#) zeigt die Beziehung zwischen der Resonanzfrequenz und der Signalamplitude in Abhängigkeit von dem magnetischen Vorspannfeld für einen Resonator, der nach den Grundsätzen der Erfindung hergestellt wurde.

[0038] [Fig. 7](#) veranschaulicht die Beziehung zwischen der Resonator-Qualität  $Q$  und angewendeten magnetischen Vorspannfeld in einem Resonator, der nach den Grundsätzen der vorliegenden Erfindung hergestellt wurde.

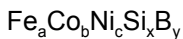
[0039] [Fig. 8](#) zeigt für Resonatoren, die nach den Grundsätzen der vorliegenden Erfindung hergestellt wurden, die Beziehung zwischen der Signalamplitude und der Frequenz in einem magnetischen Vorspannfeld von 6,5 Oe und magnetischen Vorspannfeldern von 0,5 Oe oberhalb und unterhalb dieses Wertes.

[0040] [Fig. 9](#) veranschaulicht die Überlappung der Resonanzkurven bei unterschiedlichen magnetischen Vorspannfeldern, um die Bedeutung der 1,2 kHz Trennung in dem aktivierten und deaktivierten Zustand eines Resonators zu veranschaulichen, der gemäß den Grundsätzen dieser Erfindung hergestellt worden ist.

[0041] [Fig. 10](#) veranschaulicht die Beziehung zwischen dem Verhältnis der Signalamplitude in einem Stoßmodus und in einem kontinuierlichen Modus und der Resonator-Qualität  $Q$ , um zu veranschaulichen, warum  $Q$ -Werte zwischen 200 und 550 für einen Resonator besonders geeignet sind.

#### BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSARTEN

[0042] [Fig. 1](#) veranschaulicht ein magnetomechanisches, elektronisches Überwachungssystem mit einem Marker **1**, der ein Gehäuse **2** besitzt, das einen Resonator **3** und ein magnetisches Vorspannelement **4** enthält. Der Resonator **3** wird von einem Band aus wärmebehandeltem, amorphem, magnetostriktiven Metall abgeschnitten, das eine Zusammensetzung gemäß der folgenden Formel besitzt:



wobei  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $x$  und  $y$  in Atomprozenten angegeben werden und in einer bevorzugten Legierung folgendes gilt:

$$15 < a < 30$$

$$79 < a + b + c < 85$$

$$b > 12$$

$$30 < c < 50$$

wobei  $x$  und  $y$  den Rest umfassen, so dass  $a + b + c + x + y = 100$  sind, und wobei der aktivierte Resonator eine Resonator-Qualität von  $100 < Q < 600$  besitzt und ein Signal erzeugt, das bei 1 ms nach Erregung des Resonators einen Abfall von höchstens 15 dB aufweist, und das im Vergleich zu der Amplitude bei ca. 1 ms nach Erregung bei ungefähr 7 ms nach Erregung einen Abfall von mindestens 15 dB aufweist. Der Resonator **3** besitzt eine Qualität  $Q$  in einem Bereich zwischen 100 und 600, vorzugsweise unter 500 und vorzugsweise über 200. Das Vorspannelement **4** erzeugt ein Vormagnetisierungsfeld  $H_b$  mit einer Feldstärke, die meistens in einem Bereich zwischen 1 und 10 Oe liegt. Bei einer Feldstärke  $H_b$  zwischen ungefähr 6 und 7 Oe, die von dem Vorspannelement **4** erzeugt wird, zeigt der Resonator **3** eine Veränderung in seiner Resonanzfrequenz  $|df_r/dH_b| < 700 \text{ Hz/Oe}$ . Wenn das Vorspannelement **4** entmagnetisiert ist und dadurch den Marker **1** deaktiviert, verändert sich die Resonanzfrequenz des Resonators **3** um mindestens 1,2 kHz. Der Resonator **3** besitzt ein Anisotropiefeld  $H_k$  von mindestens 10 Oe.

[0043] Außerdem besitzt der Resonator **3** eine magnetische Anisotropie, die quer zur längsten Abmessung des Resonators **3** eingestellt ist, indem das Band, von dem der Resonator **3** abgeschnitten wird, in einem quer-verlaufenden Magnetfeld wärmebehandelt wird, das im wesentlichen senkrecht zur längsten Ausdehnung des Bandes und in der Ebene des Bandes verläuft. Dies führt dazu, dass der Resonator **3** in dem erwarteten Funktionsbereich zwischen 1 und 8 Oe eine lineare B-H Schleife aufweist.

[0044] Außerdem erzeugt der Resonator **3** ein Signal, das in dem in [Fig. 1](#) gezeigten Überwachungssystem im wesentlichen eindeutig als von dem Marker **1** kommend identifiziert werden kann.

[0045] Das in [Fig. 1](#) gezeigte magnetomechanische Überwachungssystem arbeitet in einer bekannten Art und Weise. Das System besitzt neben dem Marker **1** einen Senderschaltkreis **5** mit einer Spule oder einer Antenne **6**, die in einer festgelegten Frequenz, wie beispielsweise 58 kHz, und in einer Grundfrequenz von beispielsweise 60 Hz HF-Stöße aussendet (überträgt), und zwar mit Pausen zwischen jedem Stoß. Der Senderschaltkreis **5** wird bei der Aussendung der oben genannten HF-Stöße durch einen Synchronisationsschaltkreis

**9** gesteuert, der ebenfalls einen Empfängerschaltkreis **7** steuert, welcher eine Empfangsspule oder Empfangsantenne **8** besitzt. Wenn ein aktivierter Marker **1** (d.h. ein Marker **1** mit einem magnetisierten Vorspannelement **4**) zwischen den Spulen **6** und **8** vorhanden ist, wenn der Senderschaltkreis **5** aktiviert wird, bringt der HF-Stoß, der von der Spule **6** ausgesendet wird, den Resonator **3** bei einer Resonanzfrequenz von 58 kHz (in diesem Beispiel) zum Schwingen, wobei ein Signal der in [Fig. 2](#) gezeigten Art erzeugt wird. [Fig. 2](#) zeigt verschiedene Signale für unterschiedliche Werte der Resonator-Qualität  $Q$ .

**[0046]** Der Synchronisationsschaltkreis **9** in [Fig. 1](#) steuert den Empfängerschaltkreis **7**, um den Empfängerschaltkreis **7** dahingehend zu aktivieren, dass er in einem ersten Meldefenster **1** nach einem Signal mit der festgelegten Frequenz 58 kHz (in diesem Beispiel) Ausschau hält. Eine Bezugszeit von  $t = 0$  wird willkürlich in [Fig. 2](#) gezeigt, wobei der Senderschaltkreis **5** von dem Synchronisationsschaltkreis **9** aktiviert wurde und einen HF-Stoß mit einer Dauer von ungefähr 1,6 ms aussendet. Die Zeit  $t = 0$  in [Fig. 2](#) wurde ausgewählt, so dass sie mit dem Ende des Stoßes zusammenfällt. Bei ungefähr 0,4 ms nach  $t = 0$  wird der Empfängerschaltkreis **7** in Fenster **1** aktiviert. In Fenster **1** (das ungefähr 1,7 ms geöffnet ist) integriert der Empfängerschaltkreis **7** ein beliebiges Signal der festgelegten Frequenz, wie beispielsweise 58 kHz, das vorhanden ist. Damit das Signal in diesem Fenster **1** ein signifikantes Integrationsergebnis erzeugt, sollte das Signal, das von dem Marker **1** ausgesendet wird, bei Erregung eine relativ hohe Anfangsamplitude – vorzugsweise über ungefähr 100 mV – besitzen, und sollte bei ungefähr 1 ms nach der Erregung im Vergleich zu seiner Anfangsamplitude um nicht mehr als ungefähr 15 dB, vorzugsweise um nicht mehr als ungefähr 10 dB, abfallen. Das bedeutet, dass das Signal ungefähr in der Mitte von Fenster **1** eine Mindestamplitude von ungefähr 40 mV haben sollte. Der Resonator der Erfindung erzeugt ein Signal, das alle diese Kriterien erfüllt. Signale, die jeweils durch Resonatoren mit  $Q = 50$ ,  $Q = 400$  und  $Q = 800$  erzeugt werden, sind in [Fig. 2](#) eingetragen. Zu Testzwecken wurde ein für das Fenster **1** repräsentatives Signal (A1) 1 ms nach der Erregung gemessen und ein für Fenster **2** repräsentatives Signal (A2) wurde 7 ms nach der Erregung gemessen. Dies sind Zeiten, die in die Zentren der jeweiligen Fenster fallen.

**[0047]** Anschließend wird der Empfängerschaltkreis **7** von dem Synchronisationsschaltkreis **9** deaktiviert, der den Empfängerschaltkreis **7** während der Dauer eines zweiten Meldefensters, das ebenfalls 1,7 ms geöffnet und in [Fig. 2](#) mit Fenster **2** bezeichnet ist, wieder aktiviert. Während das Fenster **2** geöffnet ist, integriert der Empfängerschaltkreis **7** wieder jedes beliebige Signal mit der festgelegten Frequenz (58 kHz). Wenn das Signal mit dieser Frequenz in Fenster **2** integriert wird, so dass (zu diesem Zeitpunkt) ein Integrationsergebnis erzeugt wird, das ein nicht abfallendes Signal anzeigt, wird die in dem Empfängerschaltkreis **7** enthaltene elektronische Schaltung annehmen, dass das Signal aus einer anderen Quelle als von einem aktivierten Marker **1** stammt.

**[0048]** Es ist deshalb wichtig, dass die Amplitude des Signals in dem zweiten Meldefenster eine optimale Größe hat, d.h. sie darf nicht zu groß sein, damit sie nicht irrtümlich als von einer anderen Quelle als dem Marker **1** kommend gehalten wird, aber sie muss auch ausreichend gering sein, damit sie von dem Signal in dem ersten Fenster leicht unterschieden werden kann. Wie in [Fig. 2](#) zu sehen ist, hat das Signal, das von einem Resonator mit  $Q = 50$  erzeugt wird, eine derart rasche Abfallzeit, dass es bereits im ersten Meldefenster eine äußerst niedrige Amplitude zeigt. Doch ein Resonator mit  $Q = 800$ , wie in [Fig. 2](#) gezeigt, weist im zweiten Meldefenster immer noch eine relativ große Amplitude auf. Ein Signal, das von dem Resonator **3** mit  $Q = 400$  gemäß der Erfindung erzeugt wird, besitzt eine Signalamplitude in jedem Fenster **1** und **2**, die ausreicht, um eine zuverlässige Erkennung zu gewährleisten, doch die Signalamplitudendifferenz zwischen Fenster **1** und Fenster **2** ist groß genug, um eine zuverlässige Identifizierung des Signals als von einem aktivierten Marker **1** kommend zu ermöglichen.

**[0049]** In [Fig. 2](#) wird die Beziehung zwischen der Resonator-Qualität  $Q$  und dem Verhältnis der Signale veranschaulicht, die jeweils im Fenster **1** und im Fenster **2** erkannt werden. Während diese Beziehung abnimmt, erhöht sich die Sicherheit, dass eine optimal hohe Erkennungsrate und ein Minimum an falschen Alarmen die Folge ist. In der Praxis wird eine Mindestabschwächung des Signalverhältnisses zwischen den Signalen, die in Fenster **1** und Fenster **2** entstehen, von ungefähr 15 dB bevorzugt. Das bedeutet, dass die Resonator-Qualität  $Q$  unter 600 und vorzugsweise unter 550 liegen sollte. Eine Resonator-Qualität  $Q$  von mindestens 100 und vorzugsweise 200 wird jedoch benötigt, um eine angemessene Signalamplitude in dem ersten Meldefenster zu erhalten.

**[0050]** Wenn der Empfängerschaltkreis **7** ein Signal jeweils im Fenster **1** und im Fenster **2** feststellt, welches das oben genannte Kriterium erfüllt, wird ein Alarm **10** ausgelöst. Als ein weiterer Schutz gegen falsche Alarme kann der Empfängerschaltkreis **7** so eingestellt werden, dass er nur die Signale feststellt, welche die oben genannten Kriterien in einer festgelegten Anzahl aufeinanderfolgender Pausen zwischen den Stößen, die von

dem Senderschaltkreis **5** ausgesendet werden, wie beispielsweise vier aufeinanderfolgende Pausen, erfüllen.

**[0051]** Falsche Alarme können auch aufgrund eines Markers **1** erzeugt werden, der auf wirkungslose Art und Weise deaktiviert worden ist. Der Grund dafür liegt darin, dass die Resonator-Qualität  $Q$  in Gegenwart von sehr geringen Vormagnetisierungsfeldstärken, wie sie auftreten, wenn der Marker **1** deaktiviert wird, d.h. wenn das Vorspannelement **4** entmagnetisiert ist, sehr hoch wird. Unter diesen Umständen besitzt die Resonator-Qualität  $Q$  Werte über 1.000, was bedeutet, dass die Schwingung nach den Stößen sehr lang ist. Das bedeutet, dass die Signalamplituden in Fenster **1** und in Fenster **2** eines wirkungslos deaktivierten Markers die vorgenannten Meldekriterien nicht erfüllen, und somit kein Alarm ausgelöst wird.

**[0052]** Die Resonator-Qualität  $Q$  kann durch eine Anzahl verschiedener Maßnahmen, einschließlich "künstlicher" Maßnahmen, wie der Einführung einer mechanischen Reibung mit einer schlechten Bandqualität für den Resonator **3** (wie beispielsweise Löcher in dem Band) reduziert werden, oder die Resonator-Stärke kann sehr stark vergrößert werden, beispielsweise auf 30–60  $\mu\text{m}$ , was dazu führt, dass Wirbelströme induziert werden.

**[0053]** Diese künstlichen Maßnahmen haben jedoch nachteilige Nebeneffekte wie beispielsweise die Tatsache, dass sie die Signalamplitude höchst negativ beeinflussen. Die gestrichelte Linie in [Fig. 4](#) gibt einen typischen Abfall in der Signalamplitude wieder, der dann auftritt, wenn die Resonator-Qualität  $Q$  durch diese Maßnahmen künstlich oder gezwungenermaßen gesenkt wurde. Durch dieses Absenken der Signalamplitude reduziert sich jedoch gleichzeitig die Erkennungsempfindlichkeit des Überwachungssystems.

**[0054]** Amorphe Bänder mit einer Breite von 6 mm und einer typischen Bandstärke von 25  $\mu\text{m}$  aus unterschiedlicher Zusammensetzung wurden vergossen, in einem querverlaufenden Magnetfeld wärmebehandelt und ihr Resonanzverhalten wurde in einem konstanten Vormagnetisierungsfeld von 6,5 Oe untersucht. Für diesen Zweck wurden 38 mm lange Streifen mit Impulsen eines magnetischen Wechselfeldes einer Dauer von 1,6 ms – mit 16 ms Pausen zwischen den Impulsen – erregt. Dies veranlasste die Streifen zu Resonanzschwingungen in einem Bereich zwischen 55 und 60 kHz, was durch eine leichte Veränderung der Streifenlänge an den Wert von 58 kHz angepasst werden konnte. Die Qualität  $Q$  wurde ausgehend von dem Abfallverhalten des Schwingungssignals sowie der Signalamplitude (angegebene Signalamplitude **1** in [Fig. 4](#)) bei 1 ms nach Entfernen des erregenden magnetischen Wechselfelds gemessen. Das Signal wurde mit einer Suchspule mit 100 Windungen festgestellt.

**[0055]** Exemplarische Ausführungsarten 1.A bis 1.J in Tabelle I zeigen eine Anzahl von Legierungen, die von Anfang an eine niedrige Resonator-Qualität  $Q$  besitzen. Doch diese Proben erfüllen die übrigen Anforderungen, die an den Resonatorwerkstoff gestellt werden, nicht.

**[0056]** Die Beispiele 1.A und 1.B zeigen kommerziell erhältliche Legierungen, die keine messbare Signalamplitude erzeugt haben. Dies ist wahrscheinlich auf eine Qualität  $Q$  zurückzuführen, die zu niedrig ist, d.h.  $Q < 100$ , und auf ein niedriges Anisotropiefeld  $H_k$ , obwohl dies mit  $H_k = 5,5$  bis 6 A/cm (ungefähr 7–8 Oe) gerade über der Testfeldstärke  $H_b = 5,2$  A/cm (= 6,5 Oe) liegt.

**[0057]** Die Beispiele 1C bis 1J weisen eine höhere Anisotropiefeldstärke  $H_k$  und eine hohe Signalamplitude in Kombination mit einer niedrigen Qualität auf. Ein Nachteil dieser Proben ist jedoch eine hohe Abhängigkeit der Resonanzfrequenz  $f_r$  von dem genauen Wert des Vormagnetisierungsfeldes  $H_b$ . Bei diesen Proben ändert sich die Resonanzfrequenz  $f_r$  um 1 kHz oder deutlich mehr als die Testfeldstärke  $H_b$  um ungefähr 1 Oe. Eine solche Änderung im magnetischen Vorspannfeld  $H_b$  kann beispielsweise einfach durch einen Marker auftreten, der in dem Magnetfeld der Erde anders ausgerichtet ist. Die entsprechende Verstimmung oder Wanderung der Resonanzfrequenz verschlechtert eine genaue Erkennung eines Markers mit einem solchen Streifen erheblich.

**[0058]** Der Wert von  $|\text{d}f_r/\text{d}H_b|$  kann im allgemeinen durch Anpassung der Wärmebehandlungstemperatur und der Wärmebehandlungszeit verändert werden. Für die gleiche Wärmebehandlungstemperatur ergibt eine längere Wärmebehandlungszeit im allgemeinen niedrigere Werte von  $|\text{d}f_r/\text{d}H_b|$ . Doch dies trifft nur innerhalb bestimmter Grenzen zu. Die Legierungsproben in Tabelle I sind beispielsweise bereits 15 Minuten lang bei 350°C wärmebehandelt worden, was zu einem  $|\text{d}f_r/\text{d}H_b|$ -Wert sehr nahe an dem erreichbaren Mindestwert führte.

**[0059]** Für eine wirtschaftliche und praktische Durchführung des Wärmebehandlungsverfahrens, beispielsweise ein Durchlauf-Wärmebehandlungsverfahren, sind Wärmebehandlungszeiten von wesentlich weniger als 1 Minute und vorzugsweise im Bereich von Sekunden wünschenswert. Solche kurzen Wärmebehandlungszeiten gewährleisten auch, dass der wärmebehandelte Werkstoff nach der Wärmebehandlung immer noch hin-

reichend verformbar ist, so dass er in Stücke geschnitten werden kann.

**[0060]** Die Tabellen II und III zeigen Legierungsproben, für die die gewünschte Niederfrequenzänderung  $Idf/dh_b$  erreicht werden konnte. Bei allen diesen Proben wurden die Wärmebehandlungsparameter so ausgewählt, dass  $Idf/dh_b$  einen angemessen niedrigen Wert von 550–650 Hz/Oe bei 6,5 Oe aufwies.

**[0061]** Wie aus den in den Tabellen II und III gezeigten Proben ersichtlich ist, ergeben sich niedrigere Werte für die Qualität Q, wenn der Eisengehalt der Legierung niedriger und der Kobalt- und/oder Nickelgehalt der Legierung höher werden. Doch ein bestimmter Mindesteisengehalt von ungefähr 15 Atomprozent (at %) ist erforderlich, damit der Werkstoff immer noch erregt werden und magnetoelastische Schwingungen mit einer ausreichend hohen Amplitude erzeugen kann. Legierungen mit einem Eisengehalt von weniger als ungefähr 15 at % weisen keine oder praktisch keine magneto-resistive Resonanz auf, wie mit den Proben 1.K bis 1.N in Tabelle I beispielhaft gezeigt wird.

**[0062]** Keine der Legierungen in Tabelle I ist für den Einsatz als Resonator **3** geeignet, weil ihnen eine oder mehrere der oben besprochenen, gewünschten Eigenschaften fehlen.

**[0063]** Aus den in den Tabellen II und III gezeigten Proben repräsentieren die folgenden Legierungsproben vorteilhafte, exemplarische Ausführungsarten, die für den Einsatz als Resonator **3** geeignet sind, weil sie gleichzeitig eine Qualität Q unter 500–600 erreichen und einen  $Idf/dh_b$ -Wert unter 700 Hz/Oe sowie eine hohe Signalamplitude aufweisen.

**[0064]** Bei den Proben II.1–II.12 aus Tabelle II handelt es sich um kobaltreiche Proben, die sich durch eine sehr hohe Signalamplitude unterscheiden. Die Proben II.1–II.7 werden dabei bevorzugt.

**[0065]** Die Beispiele III.1–III.31 aus Tabelle III weisen allesamt die oben genannten erwünschten Eigenschaften auf, wobei die Beispiele III.1–III.22 bevorzugt werden.

**[0066]** Die Beispiele II.A–II.C aus Tabelle III und die Proben III.A–III.M aus Tabelle III sind nicht geeignet, da sie eine Qualität aufweisen, die größer ist als 600.

**[0067]** Zum Vergleich mit der oben genannten Kurve in gestrichelter Linie, die eine "künstliche" Verringerung von Q repräsentiert, zeigt [Fig. 4](#), dass ein reduziertes Q ohne signifikanten Verlust an Signalamplitude gleichzeitig unter Verwendung der Legierungszusammensetzungen der Erfindung erreicht werden kann. Sämtliche, in [Fig. 4](#) dargestellten, Beispiele weisen eine höhere Signalamplitude auf als die oben genannten, ungeeigneten Proben, wenn ihre Qualität Q durch mechanische Dämpfung oder durch andere Maßnahmen, die nicht mit der Legierungszusammensetzung in Zusammenhang stehen, "künstlich" verringert wurde.

TABELLE I

Probe-	Bestandteile (at%)					H <sub>k</sub>	Idf/ $\frac{dH}{dt}$	Q	A1
	Fe	Co	Ni	Si	B	(Oe)	(Hz/Oe)		(mV)
LA	40		38	Mo 4	18	7.0	300	85	7
I.B	76			12	12	7.4	190	169	9
I.C	41.		41.	1	16	11.	1376	197	68
l. D	47.	31.		2	19	15.	1011	325	71
l. E	52		30	2	16	13.	1246	236	80
I.F	57		25	2	16	13.	1493	229	84
LG	58		25	1	16	14.	1331	223	86
l. H	61,	21.		1	16	19.1	981	337	73
l. 1	62		20	2	16	13.	1718	137	60
I.J	66	18		1	15	18.	1084	236	74
l. K	4.7	72.		5.5	17	keine magnetoelasti-			
l. L	7.5	57	17	2	16.	keine magnetoelasti-			
I.M	6.8	38.	40	13	2	keine magnetoelasti-			
L N	9	10	64	1	16	keine magnetoelasti-			

TABELLE II

Probe-	Bestandteile (at%)					H <sub>k</sub>	Q	A1
	Fe	Co	Ni	Si	B	(Oe)		(mV)
11.1	18	65		1	16	11.1	281	71
II.2	24	55		6	15	11.	385	79
II. 3	26	57		1	16	14.	438	83
II.4	34	49		1	16	16.	509	84
II.5	37	45		3	15	16.	550	84
II. 6	37	45		5	13	16.	550	84
II. 7	38	45		1	16	18.	555	82
II. 8	41	41		2	16	19.	586	82
II. 9	41.	41.		1	16	17.	554	85
11.10	43.	39.		1	16	18.	560	83
11.11	45	38		1	16	21.	598	80
11.12	45	35	3	1	16	20.	595	81
II.A	46.	31.	5	1	16	20.	612	81
II. B	49	31.	2.5	1	16	21.	627	81
II. C	51.	31.		1	16	21.	636	81

TABELLE III

Probe-N	Fe	Co	Ni	Si	B	H <sub>k</sub> (Oe)	Q	A1
111.1	19	22	42	1	16	10.1	365	65
III.2	21	20	42	1	16	10.7	418	68
III.3	21	20	41	2	16	10.4	435	67
III.4	21.	41.	20	1	16	11.3	321	72
IH.5	23	20	40	1	16	11.7	403	73
III.6	24	16	43	1	16	11.6	456	71
III.7	24	16	42	2	16	11.3	462	71
III.8	24	18	40	2	16	11.4	459	72
III.9	24	22	35	3	16	11.6	471	74
111.10	25	20	38	1	16	12.2	485	73
111.11	25	20	37	2	16	12.0	505	73
111.12	26.	41.	15	1	16	13.9	433	80
111.13	27	27	27	3	16	13.2	502	78
111.14	28	20	34	2	16	13.2	528	76
111.15	28	16	38	2	16	12.8	546	75
111.16	28.	31.	20	4	16	13.6	540	81
111.17	29	27	27	1	16	13.9	479	78
111.18	29.	39.	10	6	15	13.0	476	80
111.19	30.	31.	20	2	16	14.7	526	81
III.20	31.	41.	10	1	16	16.4	498	81
111.21	31.	31.	20	1	16	15.4	513	80
HI.22	31.	31.	20	1	16	15.2	521	80
III.23	32.	20	30	1	16.	15.2	570	77
III.24	35	17.	30	1	16.	15.9	597	77
III.25	36	13	34	1	16	16.3	590	76
III.26	36.	36.	10	1	16	18.2	544	80

Probe-	Fe	Co	Ni	Si	B	H <sub>k</sub>	Q	A1
HI.27	37.	15.	30	1.3	15.	16.5	595	75
IH.28	40	15	30	1	14	17.7	591	75
III.29	41	31	10	1	17	18.2	588	82
ili.30	41	Q	10	2	16	18.5	595	81
111.31	41.	31.	10	1	16	18.7	587	81

III.A	41	16	25	2	16	17.0	662	81
III.B	42	13	27.	1	16.	17.7	646	77
III.C	43	21	18	2	16	18.0	635	80
III.D	43	25	14	2	16	18.6	646	82
III.E	44	16	22	2	16	18.3	657	79
ULF	44.	13	25	1.5	16	17.8	660	79
IM.G	45	25	12	2	16	19.0	657	83
III.H	46	21	15	2	16	18.6	636	81
III.I	46	26	10	2	16	19.1	647	83
III.J	47	10	25	2	16	18.6	674	78
lil.K	47	10	25	2	16	18.0	678	79
III.L	49.	13	20	1.5	16	19.4	669	79
III.M	51	21	10	2	16	19.9	675	83

[0068] Weitere Proben mit den Zusammensetzungen Fe<sub>24</sub>Co<sub>16</sub>Ni<sub>42</sub>Si<sub>2</sub>B<sub>16</sub> (Beispiel III.7) und

$\text{Fe}_{24}\text{Co}_{16}\text{Ni}_{42,7}\text{Si}_{1,5}\text{B}_{15,5}\text{C}_{0,3}$  und  $\text{Fe}_{25}\text{Co}_{15}\text{Ni}_{43,5}\text{Si}_{1,5}\text{B}_{15,5}$  sind für ungefähr 12,7 mm (1/2 Zoll) breites Band geeignet, und  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40}\text{Si}_2\text{B}_{16}$  (Beispiel III.8) und  $\text{Fe}_{24}\text{Co}_{18}\text{Ni}_{40,7}\text{Si}_{1,5}\text{B}_{15,5}\text{C}_{0,3}$  und  $\text{Fe}_{25}\text{Co}_{17}\text{Ni}_{40,5}\text{Si}_{1,5}\text{B}_{16}$  sind für 6 mm breites Band geeignet. Jede dieser Zusammensetzungen ergibt einen Resonator, der die gewünschten Eigenschaften besitzt, wie sie zu Anfang beschrieben worden sind.

**[0069]** Aus den obigen Tabellen lassen sich die folgenden, verallgemeinerten Formeleigenschaften bestimmen. Legierungen, die gemäß diesen Verallgemeinerungen hergestellt werden, weisen alle die vorgenannten, gewünschten Eigenschaften auf.

**[0070]** Außerdem basieren alle der folgenden Allgemeinerungen auf der vorgenannten, allgemeinen Formel  $\text{Fe}_a\text{Co}_b\text{Ni}_c\text{Si}_x\text{B}_y$ .

**[0071]** Der Kobaltgehalt kann mindestens 32 at % und der Eisengehalt kann mindestens 15 at % betragen. Eine bevorzugte Ausführungsart innerhalb der verallgemeinerten Beschreibung besitzt einen Kobaltgehalt von mindestens 43 at % und höchstens 55 at %. Eine weitere, verallgemeinerte Gruppe von Legierungen, welche die oben genannten Eigenschaften aufweisen, hat einen Eisengehalt zwischen 15 at % und 40 at %. Eine bevorzugte Ausführungsart innerhalb dieser verallgemeinerten Gruppe besitzt einen Eisengehalt von höchstens 30 at %, einen Kobaltgehalt von mindestens 15 at % und einen Nickelgehalt von mindestens 10 at %. Eine weitere bevorzugte Ausführungsart innerhalb dieser verallgemeinerten Gruppe besitzt einen Kobaltgehalt zwischen 12 und 20 at % und einen Nickelgehalt zwischen 30 und 45 at %.

**[0072]** Eine dritte verallgemeinerte Gruppe von Legierungen hat einen Nickelgehalt zwischen 30 at % und 53 at %, wobei der Eisengehalt mindestens 15 at % und der Kobaltgehalt mindestens 12 at % beträgt. Die bevorzugten Ausführungsarten innerhalb dieser verallgemeinerten Gruppe von Legierungen haben einen Eisengehalt von höchstens 40 at %.

**[0073]** Schließlich hat eine weitere verallgemeinerte Gruppe von Legierungen einen Nickelgehalt von mindestens 10 at %, einen Eisengehalt von mindestens 15 at %, aber höchstens 42 at % und einen Kobaltgehalt zwischen 18 und 32 at %.

**[0074]** Auch die hierin beschriebenen Resonatoren sind unter Verwendung von Legierungen hergestellt worden, die lediglich aus Eisen, Kobalt, Nickel, Silikon und Bor zusammengesetzt sind. Den Fachleuten auf dem Gebiet von amorphen Metallen ist bekannt, dass auch andere Elemente wie Molybdän, Niobium, Chrom und Mangan in geringfügigen Atomprozenten ebenfalls vorhanden sein können, ohne dass sich die oben genannten, magnetischen Eigenschaften dadurch erheblich verändern. Deshalb können auch Legierungen gemäß den Grundsätzen der vorliegenden Erfindung vergossen werden, die sehr geringfügige Prozentgehalte dieser weiteren Elemente enthalten. Außerdem ist den Fachleuten auf dem Gebiet von amorphen Metallen auch bekannt, dass auch andere Elemente als Silikon wie beispielsweise Kohlenstoff und Phosphor zur Förderung der Glasbildung eingesetzt werden können, und deshalb schließen die in dieser Erfindung beschriebenen Resonatoren und Legierungen das Vorhandensein dieser weiteren Elemente zur Förderung der Glasbildung nicht aus.

**[0075]** Auch wenn in den oben bezeichneten Zusammensetzungen nicht angegeben, können die Legierungen, die gemäß dieser Erfindung hergestellt werden, insbesondere auch Kohlenstoff in einer Menge zwischen 0,2 und 0,6 at % enthalten. Diese kleine Menge Kohlenstoff wird aufgrund von Ferrobor hinzugefügt, das Kohlenstoff als Verunreinigung enthält, sowie aufgrund der chemischen Reaktion der Schmelze mit dem Schmelztiegelwerkstoff, der Kohlenstoff enthält. Da sich Kohlenstoff in Bezug auf die Glasbildung und die magnetischen Eigenschaften ähnlich verhält wie Bor, können diese sehr kleinen Mengen Kohlenstoff als in dem Wert  $y$  für Bor subsumiert angesehen werden.

**[0076]** Sämtliche Bänder, aus denen die obigen Proben abgeschnitten wurden, wurden in herkömmlicher Art und Weise unter Verwendung eines sich drehenden Kühlrades gegossen, wobei Schmelzgut der vorgenannten Zusammensetzungen der Peripherie des sich drehenden Rades über eine Düse zugeführt wird. Die vergossenen Bänder wurden bei einer typischen Glühgeschwindigkeit von ungefähr 0,2 m/Min.–4 m/Min. bei Temperaturen in einem Bereich zwischen ungefähr 300°C und ungefähr 400°C in einem 40 cm langen Gasgebläseofen mit einem homogenen Temperaturbereich von ungefähr 20 cm in der Länge einem Durchlaufglühen unterzogen. Dies entspricht typischen Glühzeiten zwischen ca. 3 Sekunden und ca. 60 Sekunden bei Glühtemperatur. In einem Fertigungssofen mit einem homogenen Temperaturbereich von ungefähr 1 Meter in der Länge kann die Glühtemperatur entsprechend höher sein (ungefähr 1 m/Min. bis 20 m/Min.).

**[0077]** Die Glühparameter für die Proben in den Tabellen II und III wurden angepasst, so dass die Steigung zwischen 6 und 7 Oe zwischen 550 Hz/Oe und 650 Hz/Oe gefallen ist. Die typischen Glühbedingungen für die Proben in den Tabellen II und III lagen zwischen ungefähr 340°C bis ungefähr 380°C, mit einer Glühgeschwindigkeit von ungefähr 1 bis 3 m/Min. in dem kurzen Gasgebläseofen oder 5 m/Min. bis 15 m/Min. in einem Fertigungssofen mit einer 1 m langen Temperaturzone.

**[0078]** Nur die Proben in Tabelle I wurden eine erheblich längere Zeit, d.h. 15 Minuten bei 350°C, satzweise bzw. diskontinuierlich geglüht, da das Durchlaufglühen zu einer zu großen Steigung führte. Doch selbst mit diesem längeren Glühen konnte die gewünschte Steigung nicht erreicht werden.

**[0079]** Das Magnetfeld, das während des Glühens eingesetzt wurde, verlief quer zur Längsrichtung des Bandes und in der Ebene des Bandes. Das Magnetfeld hatte eine Stärke von ungefähr 2 kOe in dem Gasgebläseofen und 1 kOe in dem Fertigungssofen. Die primäre Bedingung für die Feldstärke ist, dass sie ausreichen muss, um das Band quer zu seiner Bandachse (Längsachse) zu sättigen. Nach dem typischen Entmagnetisierungsfaktor über die Bandbreite zu urteilen, sollte eine Feldstärke von mindestens mehreren hundert Oe ausreichend sein.

**[0080]** Wie oben angegeben, wurden sämtliche Tests an Proben durchgeführt, die 38 mm lang, 6 mm breit und ungefähr 25 µm stark waren. Sämtliche Bänder in den Tabellen II und III waren ausreichend verformbar, so dass sie problemlos auf die gewünschte Länge zugeschnitten werden konnten.

**[0081]** Die Stärke des Anisotropiefeldes  $H_k$  wurde von der B-H Schleife bestimmt, die von einem B-H Schleifentaster aufgezeichnet wurde, wie in [Fig. 5](#) gezeigt. Das Prüfspulensystem hat die Luftströmung ausgeglichen, so dass  $B = J$  angenommen werden kann.

**[0082]** Um die magnetoakustischen Eigenschaften zu bestimmen, wurden die Proben erregt, um bei verschiedenen magnetischen Vorspannfeldern durch ac-Feldstöße von ungefähr 18 mOe Spitzenamplitude mitzuschwingen. Die Einschaltdauer der Stöße betrug ungefähr ein Zehntel der 60 Hz der Grundfrequenz, d.h. ungefähr 1,6 ms. Die Resonanzamplituden wurden bei 1 ms und 2 ms nach Beendigung eines einzelnen Stoßes gemessen, wobei eine aufgesetzte Empfängerspule mit 100 Windungen verwendet wurde. Die Werte A 1 zeigen die Signalamplitude bei 1 ms nach Beendigung des Stoßes. Im allgemeinen gilt  $A1 \propto N \cdot W \cdot H_{ac}$ , wobei N die Anzahl Windungen der Empfängerspule, W die Breite des Resonators und  $H_{ac}$  die Feldstärke des Erregungsfeldes ist. Die spezielle Kombination dieser Faktoren, welche A1 ergibt, ist nicht signifikant.

**[0083]** Die Resonator-Qualität wurde unter Annahme eines exponentiellen Signalabfalles (der überprüft wurde) von der Amplitude A1 bzw. A2, der bei 1 ms und 2 ms nach Beendigung jedes Stoßes auftrat, nach der folgenden Relation berechnet:

$$Q = \pi f_r / \ln(A1/A2).$$

**[0084]** Die Frequenz gegenüber der Vorspannsteigung wurde zwischen 6 und 7 Oe bestimmt und die Frequenzverschiebung bei Deaktivierung wurde durch Beobachtung der Resonanzfrequenz bei 6,5 Oe (aktivierter Zustand) und 2 Oe (obere Feldgrenze für den deaktivierten Zustand) bestimmt, und wurde als Differenz zwischen den Resonanzfrequenzen bei diesen Feldstärken berechnet.

**[0085]** Die [Fig. 5](#) bis [Fig. 8](#) veranschaulichen die typischen Merkmale der magnetischen und magnetoelastischen Eigenschaften eines Resonators, der gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt wurde. Diese Kurven gelten für eine  $Fe_{24}Co_{18}Ni_{40}Si_2B_{16}$  – Legierung, die in einem querverlaufenden Feld ungefähr 6 s bei 360°C wärmebehandelt wurde. Die Probe ist 6 mm breit und 24 µm stark. Die Länge wurde auf 37,1 mm eingestellt, um bei genau 58 kHz und 6,5 Oe eine Resonanzfrequenz zu erzeugen. Zur Veranschaulichung wurden die Bedingungen der Wärmebehandlung absichtlich so gewählt, dass die Steigung zwischen 6 und 7 Oe Vorspannfeld an der oberen Grenze von ungefähr 700 Hz/Oe und das Anisotropiefeld  $H_k$  ungefähr bei der unteren Grenze von ungefähr 10 Oe herum liegt. Durch eine Veränderung der Wärmebehandlungstemperatur auf ungefähr 340°C würde sich leicht eine wünschenswertere Steigung von ungefähr 600 Hz/Oe bei gleicher Wärmebehandlungsgeschwindigkeit ergeben.

**[0086]** [Fig. 5](#) zeigt die bei 50 Hz aufgezeichnete B-H Schleife. Bei der gestrichelten Linie in [Fig. 5](#) handelt es sich um die Idealschleife für eine querverlaufende Anisotropie, um das Anisotropiefeld  $H_k$  zu definieren und die Linearität der Schleife bis zu Annäherung an die magnetische Sättigung zu zeigen, die bei ungefähr 10 Oe eintritt.

**[0087]** [Fig. 6](#) zeigt die Resonanzfrequenz und die Resonanzamplitude A1 dieser Probe in Abhängigkeit von dem magnetischen Vorspannfeld. [Fig. 7](#) zeigt die Beziehung zwischen dem Q-Wert dieser Probe gegenüber dem magnetischen Vorspannfeld.

**[0088]** Im aktivierten Zustand wird der Resonator mit einem Magnetfeld vorgespannt, das meistens zwischen 6 und 7 Oe liegt. Bei dieser Stärke des magnetischen Vorspannfeldes weist der Resonator eine hohe Amplitude auf und ein Q, das niedriger ist als 500. Die Amplitude wird unter den oben beschriebenen Testbedingungen meistens mindestens ungefähr 40 mV betragen, um in einem Abfragesystem, wie oben beschrieben, eine gute Erkennung zu liefern.

**[0089]** Der Marker wird durch Senken oder Eliminieren des Vorspannfeldes deaktiviert, wodurch sich die Resonanzfrequenz erhöht, die Amplitude abfällt und Q erhöht wird. Dies wird durch Entmagnetisieren des Vorspannelementes **4** erreicht.

**[0090]** Wie man aus [Fig. 6](#) sehen kann, hängt die Resonanzfrequenz von der Stärke des Vorspannfeldes ab. In der Praxis können typische Abweichungen des Vorspannfeldes von einem Zielwert (der hier mit 6,5 Oe angenommen wird) ungefähr  $\pm 0,5$  Oe betragen. Diese Abweichungen können sich aus verschiedenen Positionen des Markers in Bezug auf das Magnetfeld der Erde oder aus der Streuung der Eigenschaften des Vorspannelementes **4** ergeben. Der Werkstoff des Resonators selbst unterliegt ebenfalls einer Streuung und es kann sein, dass er nicht genau die Zielfrequenz an dem Zielvorspannfeld aufweist. Aus diesen Gründen muss der Resonator **3** so ausgelegt sein, dass seine Frequenz/Vorspannungs-Steigung nicht zu steil ist.

**[0091]** [Fig. 8](#) zeigt die Resonanzamplitude A1 gegenüber der Frequenz bei einem Vorspannfeld von 6,5 Oe sowie Vorspannfelder 0,5 Oe über und unter diesem Zielwert. Aufgrund der finiten Bandbreite der Resonanzkurve (die weitgehend durch die Einschaltdauer der ac-Stöße und auch durch die Resonator-Qualität Q bestimmt wird), zeigt der Resonator **3** immer noch ein ausreichendes Signal bei der Senderfrequenz von 58 kHz, selbst wenn die Resonanzfrequenz nicht genau getroffen wurde. Wie in [Fig. 8](#) veranschaulicht, liegt das Resonanzsignal A 1 immer noch über ungefähr 40 mV, wenn die Frequenzabweichung ungefähr 700 Hz je 1 Oe Abweichung im Vorspannfeld beträgt. Größere Frequenzabweichungen sind von Nachteil, kleinere Frequenzabweichungen sind günstig. Dementsprechend sollten die Resonanzkurven der aktivierten Marker um nicht mehr als ungefähr  $\frac{1}{2}$  von ihrer Amplitudenbandbreite getrennt werden. Somit liegt die Steigung der Kurve Frequenz gegenüber Vorspannfeld  $df/dH_p$  vorzugsweise unter ungefähr 700 Hz/Oe.

**[0092]** Die Abweichung der Frequenz an dem Vorspannfeld ist allein einer der Gründe dafür, warum das Vorspannfeld zur Aktivierung des Resonators **3** zwischen 6 und 7 Oe liegt. Das Vorspannfeld sollte so gewählt werden, dass das Magnetfeld der Erde zumindest weniger als ungefähr 10% der Feldstärke des Vorspannelementes **4** beträgt. Es gibt auch eine Obergrenze für  $H_p$ . Es wird für das Vorspannelement **4** mehr magnetisches Vorspannmaterial benötigt, um ein größeres  $H_p$  zu erzeugen, was den Marker teurer macht. Zweitens führt ein größeres  $H_p$  zu einer größeren magnetischen Anziehungskraft zwischen dem Vorspannelement **4** und dem Resonator **3**, was zu einer wesentlichen Dämpfung je nach der Position des Markers führen könnte (magnetische Anziehungskraft gegenüber Schwerkraft). Die optimalen Vorspannfelder befinden sich also ungefähr im Bereich 6–7 Oe.

**[0093]** Wie oben angegeben, sollte sich die Resonanzfrequenz des Resonators **3** erheblich ändern, wenn der Marker durch Entfernen des Vorspannfeldes  $H_p$  deaktiviert wird. Wie in [Fig. 8](#) veranschaulicht, wird die Überlappung der Resonanzkurven bei verschiedenen Vorspannfeldern ausreichend voneinander getrennt, wenn sich die Resonanzfrequenz bei Verringern des Vorspannfeldes um mindestens ungefähr 1,2 kHz verändert. Die beiden Kurven sind im deaktivierten Zustand angegeben und entsprechen den beiden unterschiedlichen Stufen des Feldes des ac-Stoßes. Bei der gestrichelten Kurve handelt es sich um die ac-Feldstärke bei 18 mOe, die bei dem oben genannten Standardtest meistens verwendet wird, während die andere Kurve (für den deaktivierten Zustand) einer erhöhten Erregungsfeldstufe entspricht, welche in der Abfragezone eines magnetomechanischen Überwachungssystems in der Nähe der Senderspule **6** auftreten kann. Die Kurve, die für den aktivierten Zustand gezeigt wird, wurde bei der Standard-Erregungsfeldstärke von 18 mOe aufgezeichnet.

**[0094]** In der Praxis wird die Deaktivierung durch Entmagnetisieren des Vorspannelementes **4** erreicht. Praktisch gesprochen kann ein "entmagnetisiertes" Vorspannelement **4** immer noch eine geringfügige Magnetisierung aufweisen und dadurch ein Vorspannfeld  $H_p$  von ungefähr 2 Oe erzeugen. Deshalb sollte als Testkriterium die Frequenzverschiebung der Resonanzfrequenz bei 2 Oe im Vergleich zur Resonanzfrequenz bei 6,5 Oe mindestens 1,2 kHz betragen, um zu garantieren, dass der Resonator **3** richtig deaktiviert werden kann.

**[0095]** Doch wenn die Steigung  $|df_r/dH_0|$  kleiner wird, wird auch die Frequenzverschiebung bei Deaktivierung kleiner, wie aus den obigen Daten hervorgeht. Durch eine zu hohe Steigung verringert sich die Aufnahmezeit, da die Resonanzfrequenz von dem festgelegten Wert zu weit entfernt ist. Doch eine Frequenzverschiebung, die bei Deaktivierung zu gering ist, führt zu falschen Alarmen. Deshalb muss ein optimaler Kompromiss erzielt werden und ein solcher Kompromiss wurde hier durch Anpassen der Legierungszusammensetzung und der Wärmebehandlung erreicht, so dass die Steigung ungefähr 550 Hz/Oe bis 650 Hz/Oe beträgt, d.h. weit unter der Grenze von 700 Hz/Oe, an der sich die Aufnahmezeit erheblich verschlechtert. Dadurch ist gewährleistet, dass eine Frequenzverschiebung erreicht wird, die größer ist als 1,6 kHz, was deutlich über dem wichtigen Wert für falsche Alarmer von 1,2 kHz liegt, was mit einer Steigung von ungefähr 400 Hz/Oe korrelieren würde.

**[0096]** [Fig. 10](#) liefert weitere Informationen darüber, warum eine Resonator-Qualität Q zwischen ungefähr 200 und 550 für den Resonator **3** besonders geeignet ist.

**[0097]** Wie bereits beschrieben wurde, bestimmt die Resonator-Qualität Q die Signalabfallzeit des Resonators **3** gemäß der folgenden Formel:

$$A(t) = A(0) \cdot \exp(-t \cdot \pi \cdot f_r / Q).$$

**[0098]** Während der Erregung benötigt das Resonatorsignal die gleiche Zeitkonstante für die Signalentstehung, d.h. das Signal  $A(0)$  unmittelbar nach Erregung ist

$$A(t) = A_{\infty} (1 - \exp(-t_{\text{EIN}} \pi f_r / Q))$$

wobei  $t_{\text{EIN}}$  die Einschaltdauer des Stoßsenders ist und  $A_{\infty}$  die Signalamplitude ist, die nach einer unendlichen Zeit der Erregung erreicht werden würde. In der Praxis bedeutet "unendlich" einen Zeitmaßstab, der viel größer ist als  $Q/nf_r$  (meistens einige Millisekunden). Die Amplitude  $A_{\infty}$  ist die Resonatoramplitude, die gemessen wird, wenn der Resonator eher in einem kontinuierlichen Modus als in einem Stoßmodus erregt wird, wie das bei einem magnetoakustischen Überwachungssystem der Fall ist.

**[0099]** Die Kombination der beiden obigen Gleichungen ergibt den Wert für die Amplitude  $A_1$ , d.h. die Amplitude, die 1 ms nach Erregung auftritt:

$$A(1 \text{ ms}) = A_{\infty} (1 - \exp(-t_{\text{EIN}} \pi f_r / Q)) \exp(-1 \text{ ms} \pi f_r / Q).$$

**[0100]** In [Fig. 10](#) ist diese Beziehung, d.h.  $A(1 \text{ ms})/A_{\infty}$  gegenüber Q (für  $t = 1,7 \text{ ms}$ ) eingezeichnet und sie zeigt, dass es zwischen den Q-Werten von 200 und 550 einen Höchstwert gibt. Das bedeutet, dass diese Q-Werte gewährleisten, dass die Signalabfallzeit (und damit auch die Signalentstehungszeit) ausreichend kurz ist, so dass der Resonator durch ac-Stöße genügend erregt wird, während gleichzeitig sichergestellt wird, dass die Signalabfallzeit lange genug ist, um ein ausreichendes Signal für die Integration in dem ersten Meldefenster zu liefern.

**[0101]** Die magnetoakustischen Eigenschaften reagieren empfindlich auf die Zusammensetzungen und die Wärmebehandlungsbedingungen. Materialstreuung, d.h. leichte Abweichungen von den Zielzusammensetzungen, kann durch eine Veränderung der Wärmebehandlungsparameter ausgeglichen werden. Es ist äußerst wünschenswert, dies automatisch durchzuführen, d.h. die Resonatoreigenschaften während der Wärmebehandlung zu messen und die Wärmebehandlungsparameter entsprechend anzupassen. Es ist jedoch nicht von Anfang an klar, wie man aus der Beobachtung der Eigenschaften eines kontinuierlichen Bandes darauf schließen oder beurteilen kann, wie die magnetoakustischen Eigenschaften eines kurzen Resonators ausfallen werden.

**[0102]** Dennoch zeigen die obigen Daten, dass das Anisotropiefeld des Resonators eng mit den Resonatoreigenschaften verbunden ist. Das Anisotropiefeld des Resonators und das an einem kontinuierlichen Band gemessene Anisotropiefeld unterscheiden sich nur durch das Entmagnetisierungsfeld. Somit können das Anisotropiefeld  $H_k$  des kontinuierlichen Bandes sowie dessen Breite und Stärke überwacht und daraus kann das Anisotropiefeld  $H_k$  des Resonators durch Hinzufügen der Entmagnetisierungswirkung berechnet werden. Dies ermöglicht die automatische Anpassung der Wärmebehandlungsparameter, beispielsweise der Wärmebehandlungsgeschwindigkeit, was zu stark reproduzierbaren Eigenschaften des wärmebehandelten Resonatorwerkstoffes führt.

### Patentansprüche

1. Ein Resonator zum Gebrauch in einem Marker in einem magnetomechanischen elektronischen Artikelüberwachungssystem, wobei der Resonator eine wärmebehandelte amorphe magnetostruktive Legierung aufweist, mit einer Zusammensetzung  $\text{Fe}_a\text{Co}_b\text{Ni}_c\text{Si}_x\text{B}_y$ , wobei a, b, c, x und y in Atomprozent gefasst sind und  $a + b + c + x + y = 100$  sind, und wobei die Legierung aus der folgenden Gruppe ausgewählt ist:

(i) a ist zwischen 15 und 30, b ist zumindest 12, c ist zwischen 30 und 50 und  $79 < a + b + c < 85$ ; oder

(ii) a ist zumindest 15 und b ist zumindest 32; oder

(iii) a ist zwischen 15 und 40; oder

(iv) a ist zwischen 15 und 42, b ist zwischen 18 und 32 und c ist zumindest 10; oder a ist zumindest 15, b ist zumindest 12 und c ist zwischen 30 und 53,

und eine lineare B-H-Schleife bis zu einer minimalen Feldstärke von 8 Oe, eine Qualität Q zwischen 100 und 600, ein Anisotropiefeld  $H_k$  von zumindest 10 Oe und, wenn die Legierung zur Resonanz in der Gegenwart eines magnetischen Vorspannfeldes  $H_b$  angeregt ist, ein Signal bei einer mechanischen Resonanzfrequenz  $f_r$  mit einer Amplitude ungefähr 1 ms nach Anregung, welche nicht mehr als 15 dB unterhalb einer Amplitude desselben Signals unmittelbar nach Anregung liegt, und mit einer Amplitude 7 ms nach Anregung, welche zumindest 15 dB unter der Amplitude bei 1 ms nach Anregung liegt, aufweist, wobei die Legierung in einem Temperaturbereich zwischen 300°C und 400°C für weniger als eine Minute in einem transversalen Magnetfeld wärmebehandelt ist.

2. Resonator nach Anspruch 1, wobei die Legierung aus der Gruppe (ii) ausgewählt ist und der Kobaltgehalt zumindest 43 Atomprozent und höchstens 55 Atomprozent ist.

3. Resonator nach Anspruch 1, wobei die Legierung aus der Gruppe (iii) ausgewählt ist, der Eisengehalt höchstens 30 Atomprozent, der Kobaltgehalt mindestens 15 Atomprozent und der Nickelgehalt zumindest 10 Atomprozent ist.

4. Resonator nach Anspruch 1, wobei die Legierung aus der Gruppe (iii) ausgewählt ist, der Kobaltgehalt zwischen 12 und 20 Atomprozent und der Nickelgehalt zwischen 30 und 45 Atomprozent ist.

5. Resonator nach Anspruch 1, bei dem die Legierung ausgewählt ist aus der Gruppe von Legierungen mit den folgenden Zusammensetzungen (in Atomprozent):

Fe	Co	Ni	Si	B
18	65		1	16
24	55		6	15
26	57		1	16
34	49		1	16
37	45		3	15
37	45		5	13
38	45		1	16
41	41		2	16

41,5	41,5		1	16
43,5	39,5		1	16
45	38		1	16
45	35	3	1	16
19	22	42	1	16
21	20	42	1	16
21	20	41	2	16
21,5	41,5	20	1	16
23	20	40	1	16
24	16	43	1	16
24	16	42	2	16
24	18	40	2	16
24	22	35	3	16
25	20	38	1	16
25	20	37	2	16
26,5	41,5	15	1	16
27	27	27	3	16
28	20	34	2	16
28	16	38	2	16
28,5	31,5	20	4	16
29	27	27	1	16
29,5	39,5	10	6	15
30,5	31,5	20	2	16
31,5	41,5	10	1	16
31,5	31,5	20	1	16
31,5	31,5	20	1	16
32,5	20	30	1	16,5
35	17,5	30	1	16,5
36	13	34	1	16
36,5	36,5	10	1	16
37,7	15,3	30	1,3	15,7
40	15	30	1	14
41	31	10	1	17
41	31	10	2	16
41,5	31,5	10	1	16

6. Resonator nach Anspruch 1, wobei die mechanische Resonanzfrequenz  $f_r$  sich in Abhängigkeit von der Feldstärke des magnetischen Vorspannfeldes  $H_b$  ändert und die Änderung  $|df_r/dH_b|$  weniger als 700 Hz/Oe mit  $H_b$  zwischen 6 und 7 Oe ist.

7. Resonator nach Anspruch 6, wobei die Änderung  $|df_r/dH_b|$  zwischen 550 und 650 Hz/Oe ist.

8. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Resonanzfrequenz  $f_r$  sich um mindestens 1,2 kHz ändert, wenn das magnetische Vorspannfeld  $H_b$  entfernt ist.

9. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit einer Qualität  $Q$ , die größer als 200 ist.

10. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit einer Qualität  $Q$ , die kleiner als 550 ist.

11. Resonator nach Anspruch 1, der eine Breite von ungefähr 6 mm (1/2 inch) aufweist und wobei die wärmebehandelte amorphe magnetostruktive Legierung eine Zusammensetzung  $Fe_{24}Co_{16}Ni_{42}Si_2B_{16}$  aufweist.

12. Resonator nach Anspruch 1, mit einer Breite von ungefähr 6 mm, wobei die wärmebehandelte amorphe magnetostruktive Legierung eine Zusammensetzung  $Fe_{24}Co_{18}Ni_{40}Si_2B_{16}$  aufweist.

13. Resonator nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Resonator ein Signal mit einer Amplitude von zumindest 40 mV bei ungefähr 1 ms nach Anregung des Resonators produziert.

14. Marker zum Gebrauch in einem magnetomechanischen elektronischen Artikelüberwachungssystem, wobei der Marker aufweist:

- ein Vorspannelement, welches ein magnetisches Vorspannfeld bis zu 10 Oe produziert;
- einen Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der in der Nähe des Vorspannelements angeordnet ist;
- ein Gehäuse, das das Vorspannelement und den Resonator umgibt.

15. Magnetomechanisches elektronisches Artikelüberwachungssystem, das folgendes umfasst:

- (i) einen Marker nach Anspruch 14;
- (ii) eine Transmittervorrichtung zum Erregen des Markers, um in dem Marker den Resonator zu einer mechanischen Resonanz anzuregen und ein Signal bei der Resonanzfrequenz zu emittieren;
- (iii) eine Empfängervorrichtung zum Empfang und zum Integrieren des vom Resonator bei der Resonanzfrequenz ausgesandten Signals;
- (iv) Synchronisationsmittel, die mit der Transmittervorrichtung und der Empfängervorrichtung verbunden sind, zum Aktivieren der Empfängervorrichtung beim Empfangen und Integrieren des Signals bei der Resonanzfrequenz von dem Resonator in einem ersten Detektionsfenster, das bei ungefähr 0,4 ms nach Anregung des Resonators durch die Transmittervorrichtung beginnt, und in einem zweiten Detektionsfenster, das bei ungefähr 7 ms nach Anregung des Resonators durch die Transmittervorrichtung beginnt;
- (v) eine Alarmvorrichtung, wobei die Empfängervorrichtung Mittel zum Auslösen des Alarms umfasst, wenn das Signal bei der Resonanzfrequenz von besagtem Resonator in dem zweiten Detektionsfenster integriert ist und hauptsächlich unter dem Signal bei der Resonanzfrequenz von dem Resonator liegt, integriert im ersten Detektionsfenster.

16. Verfahren zum Herstellen eines Resonators zum Gebrauch in einem magnetomechanischen elektronischen Artikelüberwachungssystem, das die folgenden Schritte aufweist:

- Bereitstellen einer amorphen magnetostriktiven Legierung, die eine Zusammensetzung für den Resonator nach Anspruch 1 aufweist;
- Wärmebehandeln der amorphen magnetostriktiven Legierung in einem transversalen magnetischen Feld und bei einer Temperatur in einem Bereich zwischen 300°C und 400°C für weniger als eine Minute.

17. Verfahren zum Herstellen eines Markers zum Gebrauch in einem magnetomechanischen elektronischen Artikelüberwachungssystem, welches die folgenden Schritte aufweist:

- Herstellen eines Resonators mit dem Herstellverfahren nach Anspruch 16;
- Plazieren des Resonators in die Nähe eines magnetisierten ferromagnetischen Vorspannelements;
- Verkapseln des Resonators und des Vorspannelements in einem Gehäuse.

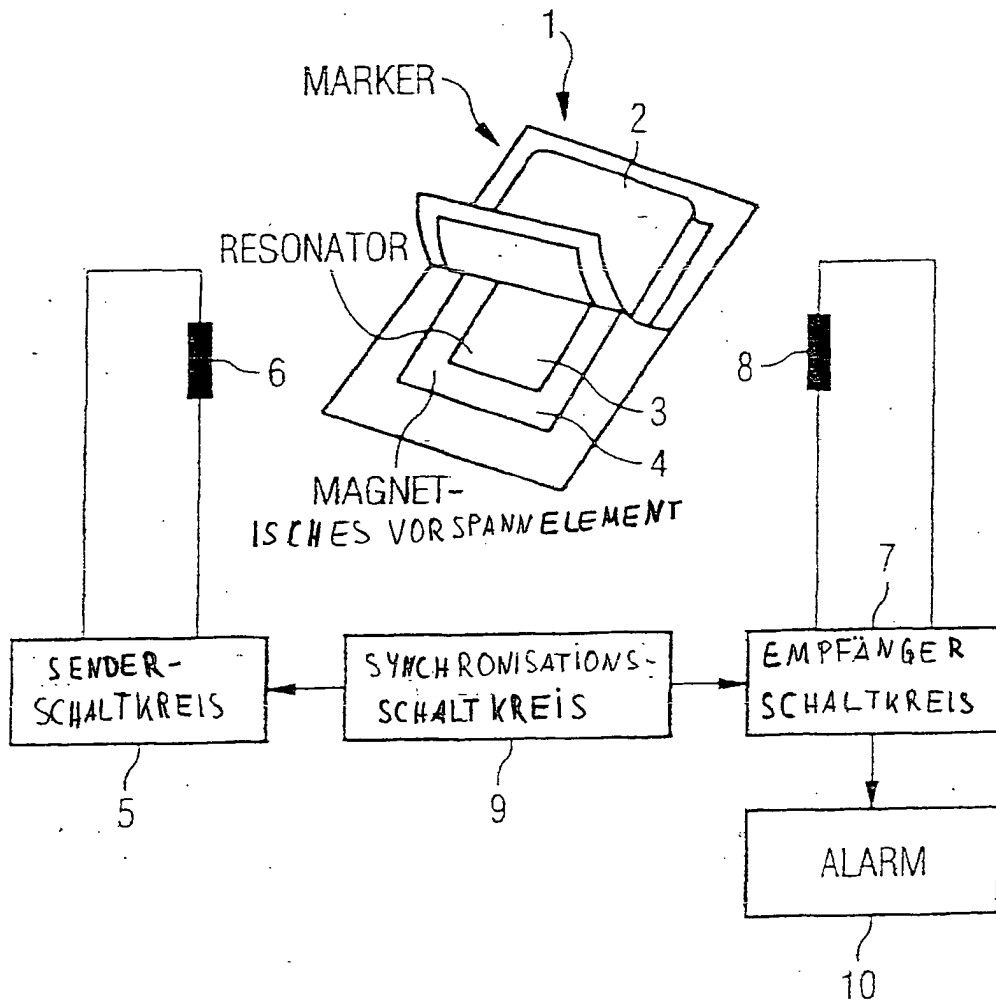
18. Verfahren zum Herstellen eines Markers nach Anspruch 17, das weiteren folgenden Verfahrensschritt aufweist:

Magnetisieren des Vorspannelements zum Produzieren eines Vorspannfeldes mit einer Stärke bis zu 10 Oe.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1



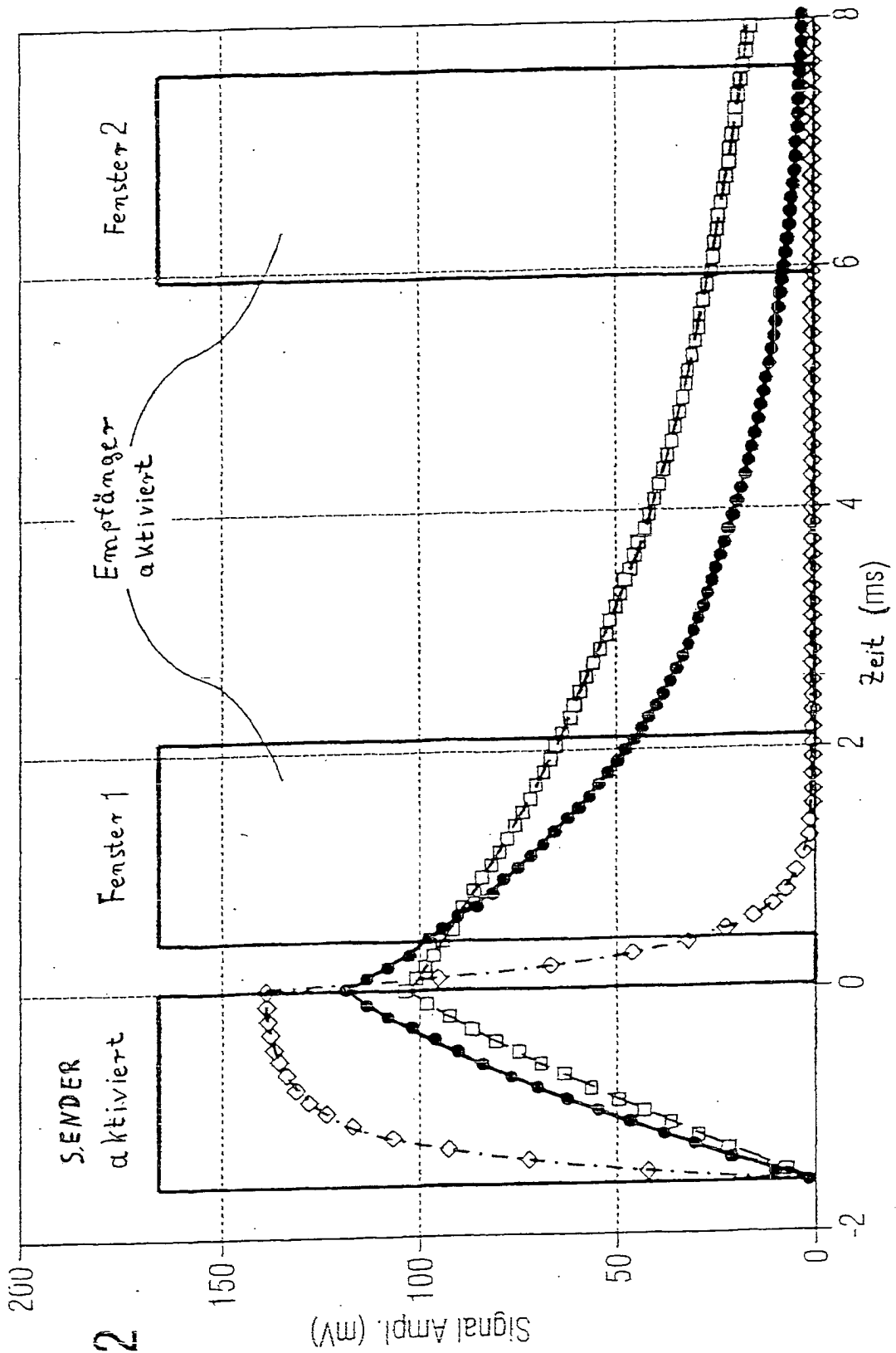


FIG 2

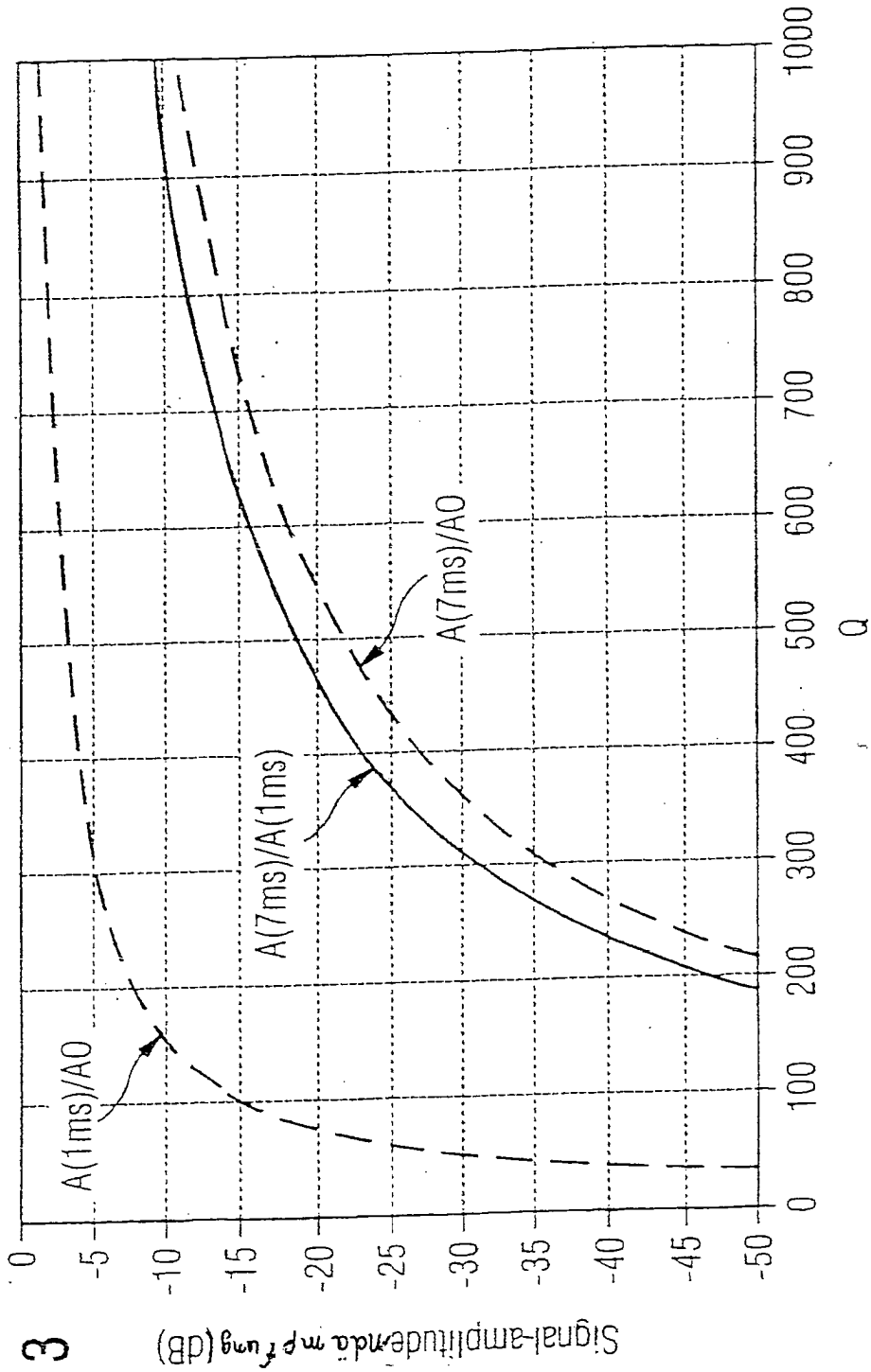


FIG 3

Signal-amplitudeänderung (dB)

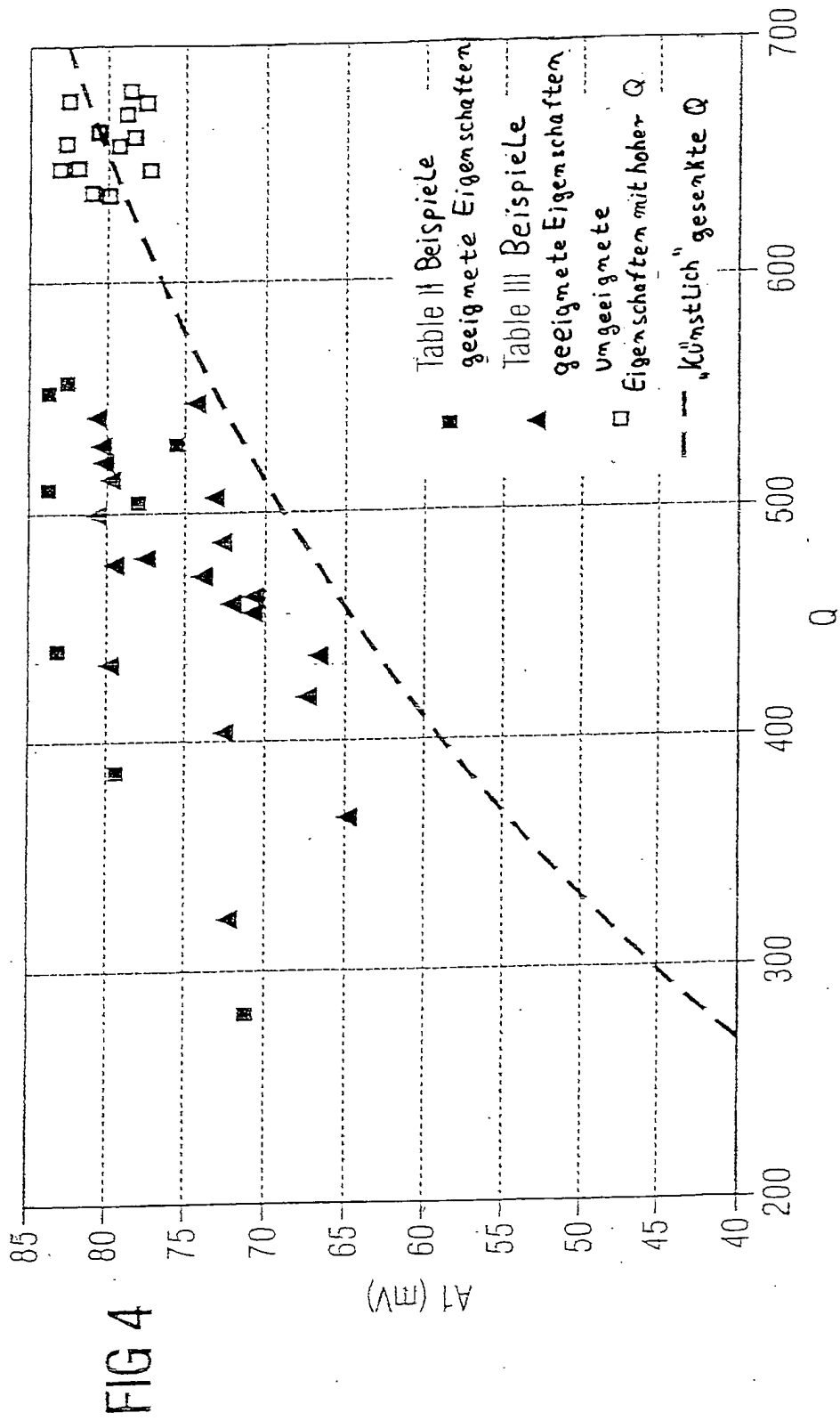


FIG 5

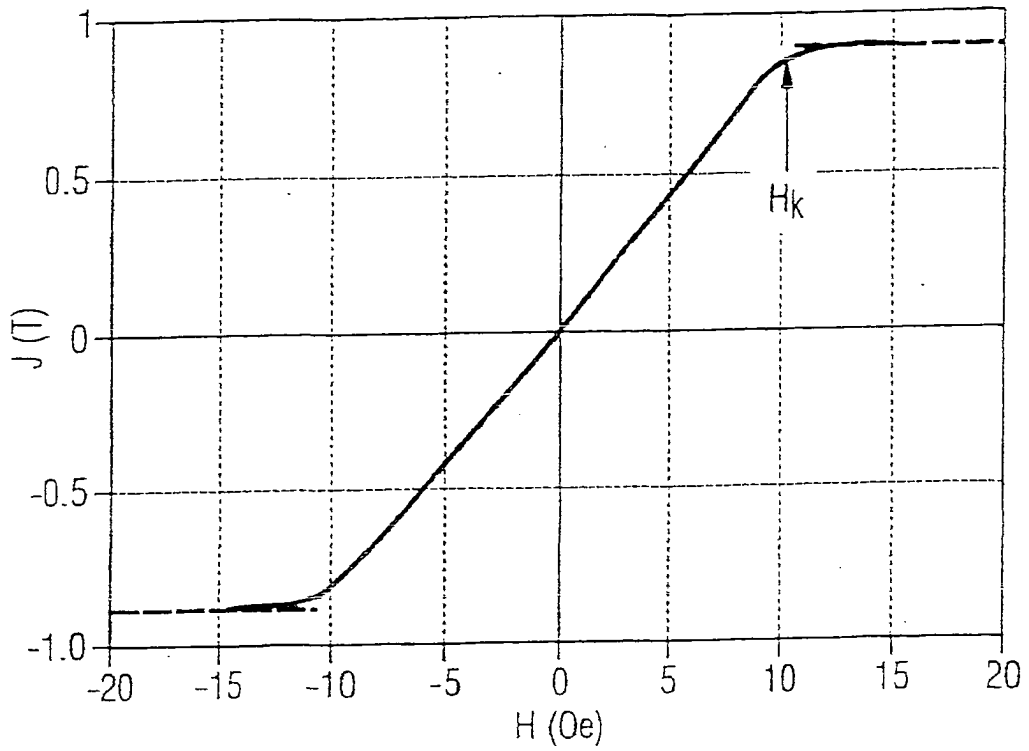
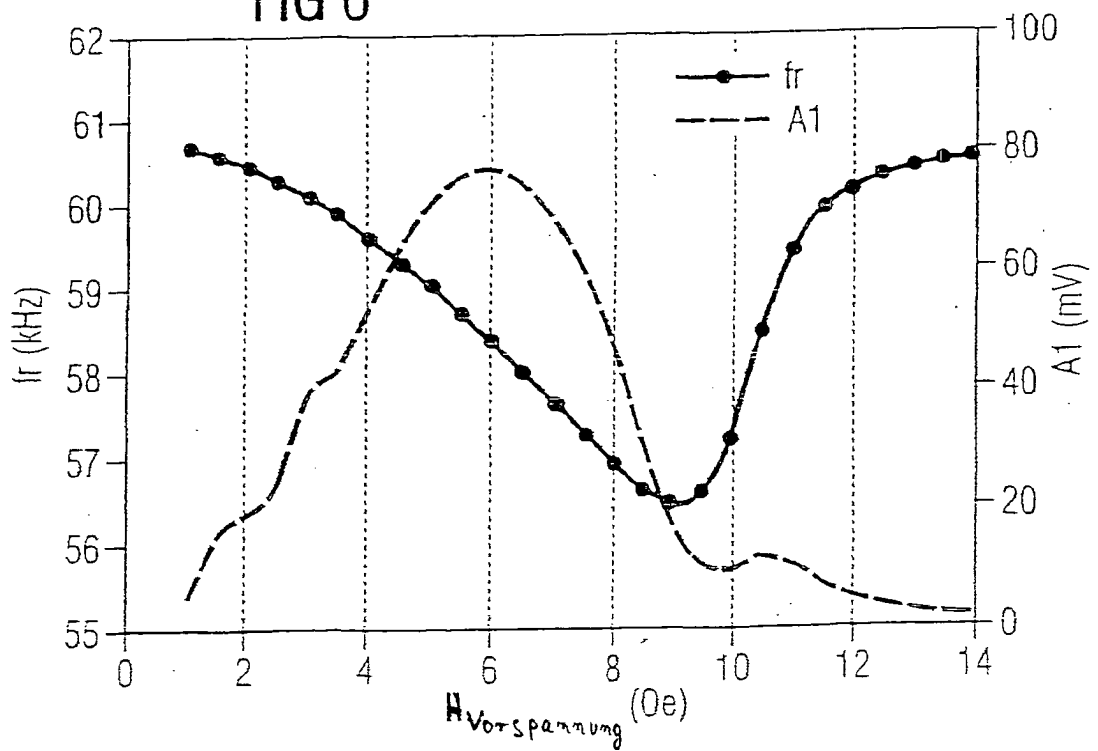


FIG 6



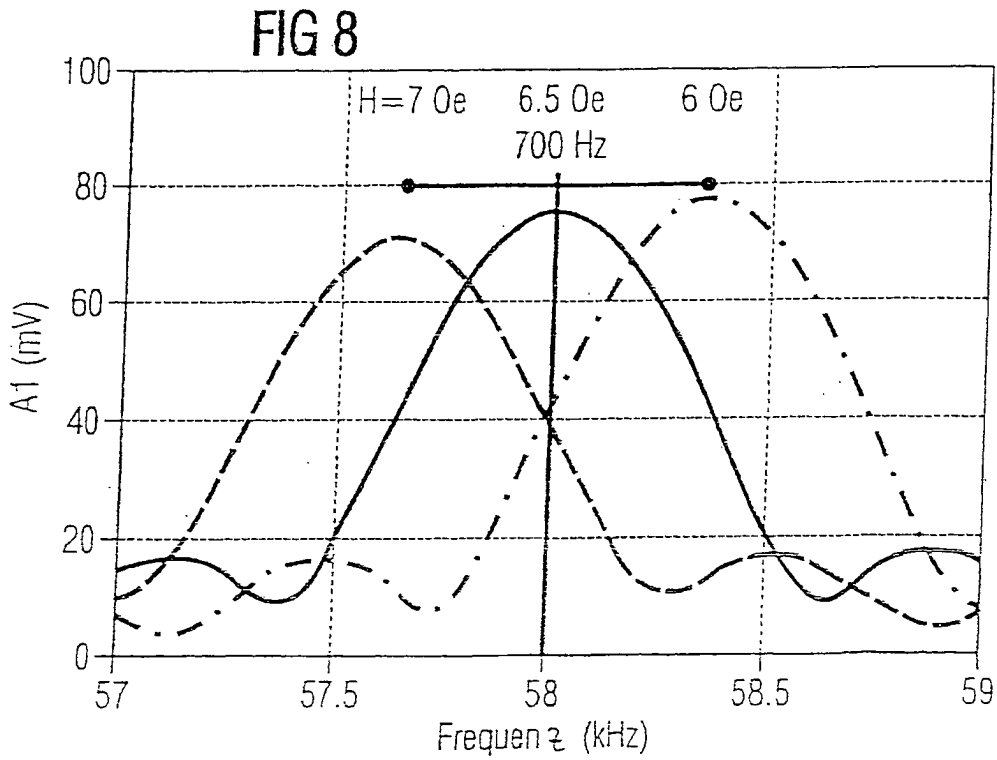
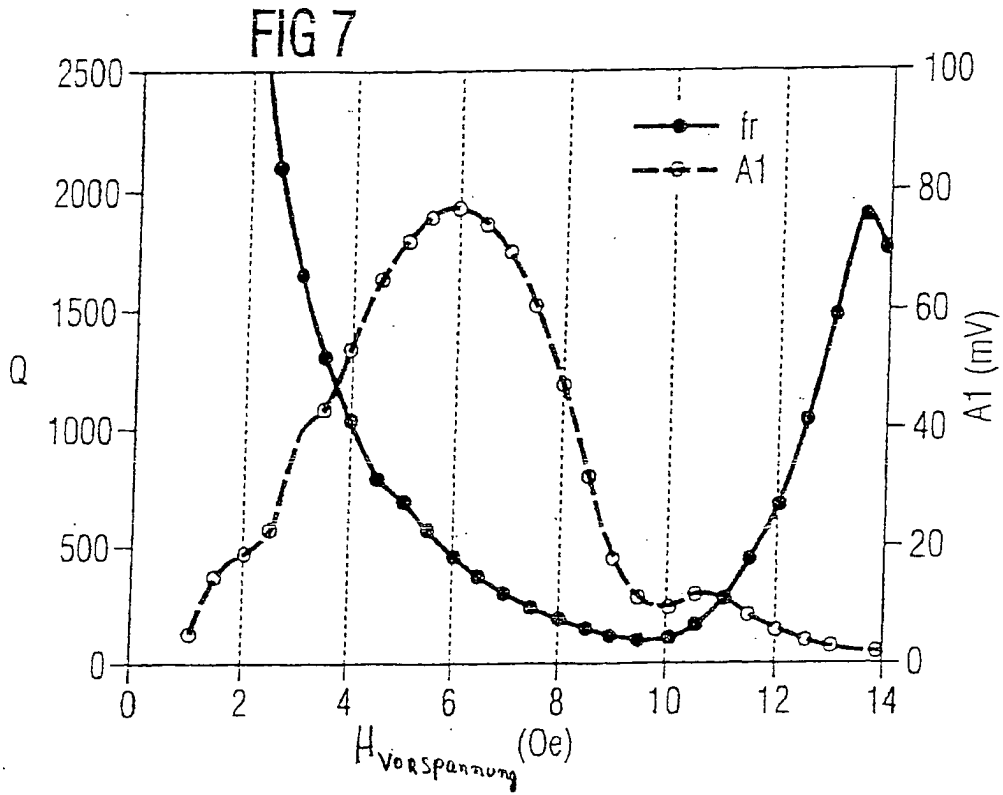


FIG 9

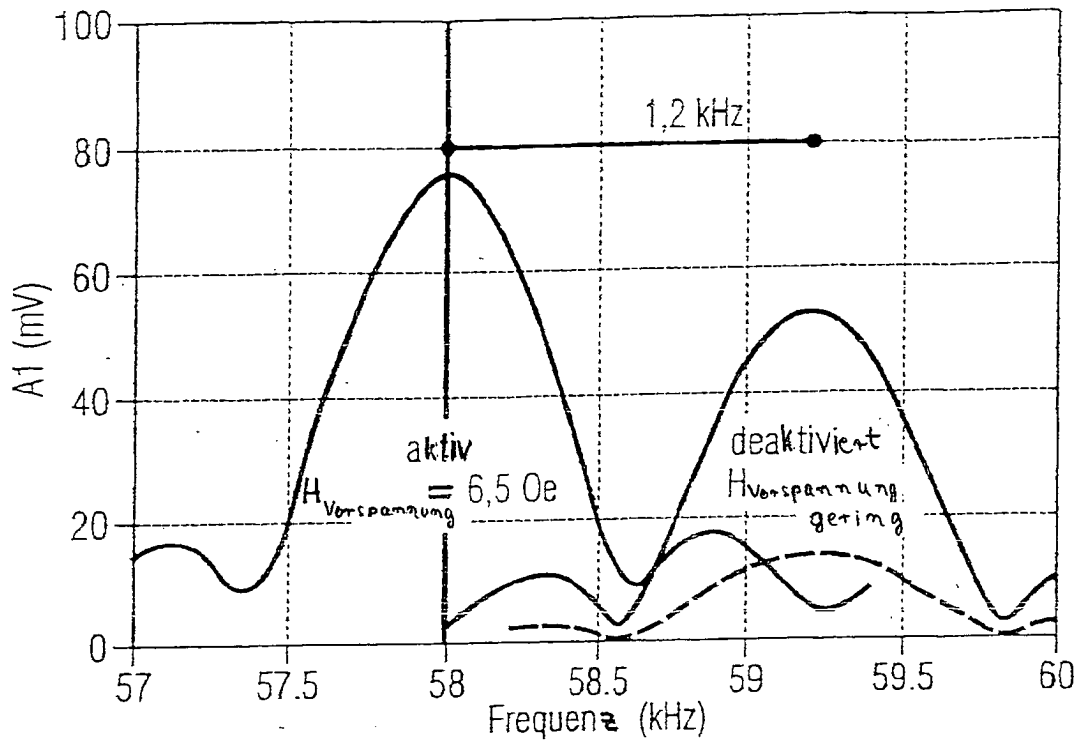


FIG 10

