



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 11 426 T2 2005.06.23**

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 183 403 B1**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **C22C 45/00**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 11 426.0**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US00/09736**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 923 260.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 00/61830**

(86) PCT-Anmeldetag: **12.04.2000**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **19.10.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **06.03.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **09.06.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **23.06.2005**

(30) Unionspriorität:

**290642 12.04.1999 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:

**Metglas, Inc., Conway, S.C., US**

(72) Erfinder:

**MARTIS, Joseph, Ronald, East Hanover, US;  
LIEBERMANN, Horst, Howard, Succasunna, US;  
HASEGAWA, Ryusuke, Morristown, US**

(74) Vertreter:

**Barz, P., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 80803  
München**

(54) Bezeichnung: **MAGNETISCHE GLASARTIGE LEGIERUNGEN FÜR HOCHFREQUENZANWENDUNGEN**

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 betrifft metallische Glaslegierungen für die Verwendung bei hohen Frequenzen und die daraus bestehenden magnetischen Bauelemente.

## Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Metallische Glaslegierungen (amorphe Metalllegierungen oder metallische Gläser) sind im US-Patent 3 856 513 („das 531 Patent“) offenbart, welches am 24.12.1974 an H.S. Chen und andere erteilt wurde. Diese Legierungen umfassen Zusammensetzungen, welche die Formel  $M_a Y_b Z_c$  aufweisen, wobei M ein Metall ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Eisen, Nickel, Cobalt, Vanadium und Chrom ist, Y ein Element ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Phosphor, Bor und Kohlenstoff ist und Z ein Element ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Aluminium, Silicium, Zinn, Germanium, Indium, Antimon und Beryllium ist, und wobei „a“ im Bereich 60 bis 90 Atomprozent, „b“ im Bereich 0 bis 30 Atomprozent und „c“ im Bereich 0,1 bis 15 Atomprozent liegen. Ebenso sind metallische Glasdrähte offenbart, welche die Formel  $T_i X_j$  haben, wobei T wenigstens ein Übergangsmetall ist und X ein Element ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Phosphor, Bor, Kohlenstoff, Aluminium, Silicium, Zinn, Germanium, Indium, Antimon und Beryllium ist, wobei „i“ im Bereich 70 bis 87 Atomprozent und „j“ im Bereich 13 bis 30 Atomprozent liegen. Solche Materialien werden praktischerweise durch rasches Abschrecken der Schmelze hergestellt, wobei aus dem Stand der Technik wohlbekannte Herstellungsverfahren verwendet werden.

**[0003]** Metallischen Glaslegierungen fehlt es im Wesentlichen an weitreichender atomarer Ordnung und sind dadurch charakterisiert, dass Röntgenbrechungsmuster ein diffuses (breites) Intensitätsmaxima aufweisen, wobei das Muster in qualitativer Hinsicht den Brechungsmustern ähnlich ist, welche bei Flüssigkeiten oder anorganischen Oxidgläsern beobachtet werden. Bei Erhitzen auf eine ausreichend hohe Temperatur beginnen sie jedoch unter Entwicklung von Kristallisationswärme auszukristallisieren; Das Röntgenbrechungsmuster beginnt sich entsprechend dadurch von einem, welches für amorphe Materialien beobachtet wird, zu einem, welches für kristalline Materialien beobachtet wird, zu verändern. Folglich befinden sich die metallischen Legierungen im Glaszustand im metastabilen Zustand. Dieser metastabile Zustand der Legierung bietet signifikante Vorteile gegenüber der kristallinen Form der Legierung, insbesondere im Hinblick auf die mechanischen und magnetischen Eigenschaften der Legierung.

**[0004]** Die Verwendung metallischer Gläser in magnetischen Anwendungen wurde im 531 Patent offenbart. Es werden jedoch bestimmte Kombinationen magnetischer Eigenschaften benötigt, um magnetische Bauelemente, welche in der modernen Elektroniktechnologie benötigt werden, zu realisieren. Zum Beispiel das US-Patent 5 284 528, welches am 8.2.1994 an Hasegawa und andere erteilt wurde, spricht solch ein Bedürfnis an. Eine der wichtigen magnetischen Eigenschaften, die das Betriebsverhalten magnetischer Bauelemente in elektrischen oder elektronischen Geräten beeinflussen, wird magnetische Anisotropie genannt. Magnetische Materialien sind im Allgemeinen anisotrop und die Entstehung der magnetischen Anisotropie ist von Material zu Material unterschiedlich. In kristallinen, magnetischen Materialien kann eine der kristallographischen Achsen mit der Richtung der magnetischen Anisotropie zusammenfallen. Diese magnetische, anisotrope Richtung kann dann die magnetische Vorzugsrichtung sein, in dem Sinne, dass die Magnetisierung sich bevorzugt entlang dieser Richtung ausrichtet. Da keine wohldefinierten kristallographischen Achsen in metallischen Glaslegierungen vorhanden sind, konnte die magnetische Anisotropie in diesen Materialien erheblich reduziert werden. Das ist einer der Gründe, dass metallische Glaslegierungen dazu tendieren, magnetisch weich zu sein, was sie wiederum für viele magnetische Anwendungen geeignet macht. Die andere wichtige magnetische Eigenschaft wird Magnetostriktion genannt, welches als relative Änderung in den physikalischen Ausmaßen eines magnetischen Materials definiert ist, wenn das magnetische Material im unmagnetisierten Zustand magnetisiert wird. Folglich ist die Magnetostriktion eines magnetischen Materials eine Funktion des angelegten magnetischen Feldes. In der Praxis wird der Begriff „Sättigungsmagnetostriktion“ ( $\lambda_s$ ) häufig verwendet. Die Größe  $\lambda_s$  ist als relative Längenänderung definiert, die auftritt, wenn ein magnetisches Material in Richtung seiner Länge vom unmagnetisierten zum gesättigt magnetisierten Zustand magnetisiert wird. Folglich ist der Magnetostriktionswert eine dimensionslose Größe und wird gewöhnlich in Einheiten der Mikrodehnung angegeben (d.h. eine relative Längenänderung, gewöhnlich Teile auf eine Millionen oder ppm).

**[0005]** Magnetische Legierungen mit geringer Magnetostriktion sind aus den folgenden Gründen wünschenswert:

1. Weichmagnetische Eigenschaften, charakterisiert durch geringe Koerzitivkraft, hohe Permeabilität usw.,

werden im Allgemeinen dann erhalten, wenn beide die Sättigungsmagnetostraktion und die magnetische Anisotropie des Materials klein werden. Solche Legierungen sind für verschiedene weichmagnetische Anwendungen, besonders für Hochfrequenzanwendungen, geeignet.

2. Ist die Magnetostraktion gering oder beträgt bevorzugt Null, so sind die magnetischen Eigenschaften solcher verschwindend gering magnetostriktiver Materialien unempfindlich gegenüber mechanischer Beanspruchung. In so einem Fall bedarf es kaum eines spannungsabbauenden Anlassens nach Wickeln, Stanzen oder anderer physikalischer Bearbeitung, welche für die Herstellung einer Vorrichtung aus diesem Material notwendig ist. Im Gegensatz dazu nehmen die magnetischen Eigenschaften von Materialien, die gegenüber Beanspruchung empfindlich sind, schon bei kleinster elastischer Beanspruchung beachtlich ab. Nach dem endgültigen formgebenden Bearbeitungsschritt, müssen die Spannungen in solchen Materialien vorsichtig abgebaut werden.

3. Ist die Magnetostraktion verschwindend gering, so zeigt ein magnetisches Material unter Wechselstromerregung einen geringen magnetischen Verlust aufgrund einer geringen Koerzitivkraft und verringerte Energieverluste aufgrund der geringen magneto-mechanischen Kopplung mittels Magnetostraktion. Kernverluste solcher verschwindend gering magnetostriktiver Materialien können sehr gering sein. Folglich sind solche verschwindend gering magnetostriktive Materialien da nützlich, wo es auf geringe magnetische Verluste und hohe Permeabilität ankommt. Solche Anwendungsgebiete umfassen verschiedenste bandgewickelte und mehrschichtige Bauelemente, wie Leistungstransformatoren, Sättigungsdrosseln, Linearspulen, Schnittstellenübertrager, Signalübertrager, magnetische Aufzeichnungsköpfe und Ähnliches. Elektromagnetische Geräte, die Material mit verschwindend geringer Magnetostraktion aufweisen, erzeugen nur wenig Geräusch unter Wechselstromerregung. Wenn dies auch der Grund für die oben beschriebenen reduzierten Kernverluste ist, so ist es auch eine wünschenswerte Charakteristik an sich, weil es das hörbare Brummen, was vielen elektromagnetischen Geräten eigen ist, beachtlich reduziert.

**[0006]** Es gibt drei wohlbekannte kristalline Legierungen mit keiner oder verschwindend geringer Magnetostraktion: Nickel-Eisen-Legierungen, welche etwa 80 Atomprozent Nickel enthalten (beipielsweise „80 Nickel-Permalloy“); Cobalt-Eisen-Legierungen, welche etwa 90 Atomprozent Cobalt enthalten; Eisen-Silicium-Legierungen, welche etwa 6,5 Gewichtsprozent Silicium enthalten. Von diesen Legierungen wurde Permalloy umfangreicher verwendet als die anderen, da diese leichter so zugeschnitten werden kann, dass sie sowohl keine Magnetostraktion als auch geringe magnetische Anisotropie aufweist. Diese Legierungen neigen jedoch dazu, empfindlich auf mechanische Erschütterung zu sein, was deren Anwendungsmöglichkeiten einschränkt. Obwohl vor kurzem einige Verbesserungen durch Herstellung Eisen basierter, kristalliner Legierungen, welche 6,5 % Silicium enthalten [J. Appl. Phys. Vol. 64 Seite 5367 (1988)], erreicht wurden, ist deren Akzeptanz als in technologischer Hinsicht konkurrierendes Material zurzeit nicht ersichtlich.

**[0007]** Wie oben bereits erwähnt, tritt magnetokristalline Anisotropie aufgrund der nicht vorhandenen Kristallstrukturen praktisch nicht in metallischen Glaslegierungen auf. Daher ist die Suche nach gläsernen Metallen mit fehlender Magnetostraktion wünschenswert. Die oben genannten chemischen Zusammensetzungen, welche zu fehlender oder verschwindend geringer Magnetostraktion in kristallinen Legierungen führten, schienen Hinweise in entsprechende Richtung zu geben. Die Ergebnisse waren jedoch enttäuschend. Zu diesem Zeitpunkt zeigten nur stark cobalthaltige und Cobalt-Nickel-basierte Legierungen mit kleinen Mengen Eisen fehlende oder verschwindend geringe Magnetostraktion im Glaszustand. Beispiele für diese Legierungen, von denen berichtet wurde, sind  $\text{Co}_{27}\text{Fe}_3\text{P}_{16}\text{B}_6\text{Al}_3$  (AIP Conference Proceedings No. 24, Seiten 745–746 (1975)) und  $\text{Co}_{31,2}\text{Fe}_{7,8}\text{Ni}_{39,0}\text{B}_{14}\text{Si}_8$  (Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Conference on Rapidly Quenched Metals, Seite 197 (1979)). Stark cobalthaltige metallische Glaslegierungen mit verschwindend geringer Magnetostraktion sind kommerziell unter den Handelsbezeichnungen METGLAS® – Legierungen 2705M und 2714A (AlliedSignal Inc.) und VITROVAC® 6025 und 6030 (Vacuumschmelze GmbH) erhältlich. Diese Legierungen wurden in einer Vielfalt magnetischer Bauelemente für den Hochfrequenzbetrieb verwendet. Nur eine Legierung (VITROVAC 6006), basierend auf Cobalt-Nickel-basierten, metallischen Glaslegierungen war kommerziell erhältlich und zwar für eine Anwendung als Anti-Diebstahl-Markierer (US-Patent 5 037 494). Neue magnetische metallische Glaslegierungen basierend auf Cobalt und Nickel, welche in magnetischer Hinsicht vielseitiger als die existierende Legierung sind, sind zweifellos wünschenswert.

#### Zusammenfassung der Erfindung

**[0008]** Erfindungsgemäß wird eine magnetische Legierung bereitgestellt, die zu mindestens 70% glasartig ist, mit der Formel  $\text{Co}_a\text{Ni}_b\text{Fe}_c\text{M}_d\text{B}_e\text{Si}_f\text{C}_g$ , worin M mindestens ein Element ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Cr, Mo, Mn und Nb ist, "a–g" in Atomprozent angegeben sind und die Summe von "a–g" gleich 100 ist, "a" im Bereich von 25 bis 60 liegt, "b" im Bereich von 5 bis 45 liegt, "c" im Bereich von 6 bis 12 liegt, "d" im Bereich von 0 bis 3 liegt, "e" im Bereich von 5 bis 25 liegt, "f" im Bereich von 2 bis 15 liegt und "g" im Bereich

von 0 bis 6 liegt, wobei die Legierung einen Wert der Sättigungsmagnetostraktion zwischen  $-3$  ppm und  $+3$  ppm aufweist, die Legierung bei einer Temperatur unter der ersten Kristallisationstemperatur der Legierung angelassen worden ist, die Legierung eine rechteckige Gleichstrom-B-H-Hystereseschleife mit einer Gleichstrom-B-H-Schleifenrechteckigkeit über 75% aufweist und die Legierung eine Sättigungsinduktion im gegossenen Zustand über etwa 0,5 Tesla aufweist.

**[0009]** Die metallische Glaslegierung wird durch rasche Aushärtung aus der Schmelze in Band-, Platten- oder Drahtform gegossen und wird zur Bildung eines magnetischen Bauteils gewunden oder gestapelt. Abhängig von den Anforderungen wird das Bauteil unterhalb seiner Kristallisationstemperatur wärmebehandelt (angelassen) mit oder ohne ein magnetisches Feld.

**[0010]** Metallische Glaslegierungen, die entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren wärmebehandelt wurden, sind besonders für die Verwendung in Geräten geeignet, die bei hohen Frequenzen betrieben werden, wie Sättigungsrosseln, Linearpulen, Leistungstransformatoren, Signalüberträger und ähnliches.

**[0011]** Metallische Glaslegierungen der vorliegenden Erfindungen sind ebenso als magnetische Markierungen in elektronischen Überwachungssystemen nützlich.

#### Kurzbeschreibung der Zeichnung

**[0012]** Durch die nachfolgende detaillierte Beschreibung der Erfindung und mit Bezugnahme auf die begleitende Zeichnung, ist die Erfindung tiefer zu verstehen und weitere Vorzüge werden verdeutlicht. Die Zeichnung ist ein Graph, der die B-H Charakteristik von Legierungen veranschaulicht, die in Abwesenheit eines angelegten Magnetfeldes angelassen wurden (A), mit einem entlang der Umfangsrichtung des Kerns angelegten Magnetfeld (B) und mit einem Magnetfeld, das in axialer Richtung bezogen auf den Kern des Bandes angelegt wurde (C).

#### Detaillierte Beschreibung der Erfindung

**[0013]** Eine metallische Glaslegierung mit geringer Sättigungsmagnetostraktion bietet eine Menge Verwendungsmöglichkeiten in Hochfrequenzanwendungen. Ist die Legierung preiswert, verbessert sich seine technologische Verwendungsfähigkeit zusätzlich. Die metallische Glaslegierung der vorliegenden Erfindung hat die folgende Zusammensetzung:  $\text{Co}_a \text{Ni}_b \text{Fe}_c \text{M}_d \text{B}_e \text{Si}_f \text{C}_g$ , worin M mindestens ein Element ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Cr, Mo, Mn und Nb ist, "a-g" in Atomprozent angegeben sind und die Summe von "a-g" gleich 100 ist, "a" im Bereich von 25 bis 60 liegt, "b" im Bereich von 5 bis 45 liegt, "c" im Bereich von 6 bis 12 liegt, "d" im Bereich von 0 bis 3 liegt, "e" im Bereich von 5 bis 25 liegt, "f" im Bereich von 2 bis 15 liegt und "g" im Bereich von 0 bis 6 liegt. Die Legierung weist einen Sättigungsmagnetostraktionswert zwischen  $-3$  ppm und  $+3$  ppm auf. Die Reinheit der obigen Zusammensetzung entspricht dem, was in normaler kommerzieller Anwendung üblich ist. Die metallische Glaslegierung wird auf herkömmliche Weise mit Techniken hergestellt, die bereits verfügbar sind; beispielsweise aus US-Patent 3 845 805, erteilt am 5.11.1974 und 3 856 513, erteilt 24.12.1974. Im Allgemeinen wird die metallische Glaslegierung in fortlaufender Band-, Drahtform usw. aus der Schmelze der gewünschten Zusammensetzung bei einer Rate von wenigstens  $10^5$  K/s abgeschreckt. Die Summe aus Bor, Silicium und Kohlenstoff von ungefähr 20 Atomprozent der gesamten Legierungszusammensetzung verträgt sich mit der Fähigkeit der Legierung zur Glasausbildung. Es wird jedoch bevorzugt, dass der Bestandteil M, das heißt der Wert „d“, nicht weit mehr als 2 Atomprozent beträgt, wenn die Summe „e+f+g“ 20 Atomprozent überschreitet. Die erfindungsgemäße metallische Glaslegierung ist besonders gläsern, was soviel bedeutet, dass sie zu 70% gläsern ist, ist bevorzugt wenigstens zu etwa 95 % gläsern und besonders bevorzugt zu 100% gläsern, was durch Röntgenbeugung, Transmissionselektronenmikroskopie und/oder Differentialschmelz-Kalorimetrie bestimmt wird.

**[0014]** Repräsentative metallische Glaslegierung, die gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt wurden, sind in der Tabelle I gelistet, wobei die folgenden Eigenschaften der Legierungen in gegossenem Zustand angegeben sind: Sättigungsinduktion ( $B_s$ ), Sättigungsmagnetostraktion ( $\lambda_s$ ) und die erste Kristallisationstemperatur ( $T_{x1}$ ).

Tabelle 1

Legierung	Zusammensetzung [Atom-%]	B <sub>s</sub> [T]	λ <sub>s</sub> [ppm]	T <sub>x1</sub> [°C]
1	Co <sub>55</sub> Ni <sub>10</sub> Fe <sub>10</sub> Mo <sub>2</sub> B <sub>20</sub> Si <sub>3</sub>	0,79	2,1	430
2	Co <sub>45</sub> Ni <sub>25</sub> Fe <sub>10</sub> B <sub>18</sub> Si <sub>2</sub>	0,87	0,3	431
3	Co <sub>43</sub> Ni <sub>27</sub> Fe <sub>10</sub> B <sub>18</sub> Si <sub>2</sub>	0,80	0,4	428
4	Co <sub>43</sub> Ni <sub>25</sub> Fe <sub>10</sub> Mo <sub>2</sub> B <sub>16</sub> Si <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	0,75	0,9	436
5	Co <sub>43</sub> Ni <sub>25</sub> Fe <sub>10</sub> Mo <sub>2</sub> B <sub>15</sub> Si <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	0,73	1,4	429
6	Co <sub>41</sub> Ni <sub>29</sub> Fe <sub>10</sub> B <sub>18</sub> Si <sub>2</sub>	0,82	0,3	425
7	Co <sub>37,5</sub> Ni <sub>32,5</sub> Fe <sub>9</sub> Mo <sub>1</sub> B <sub>18</sub> Si <sub>2</sub>	0,62	0,6	427
8	Co <sub>37,5</sub> Ni <sub>32,5</sub> Fe <sub>9</sub> Mo <sub>1</sub> B <sub>14</sub> Si <sub>6</sub>	0,64	-1,4	414
9	Co <sub>37,5</sub> Ni <sub>32,5</sub> Fe <sub>9</sub> Mo <sub>1</sub> B <sub>10</sub> Si <sub>10</sub>	0,59	-0,7	416
10	Co <sub>37,5</sub> Ni <sub>32,5</sub> Fe <sub>9</sub> Mo <sub>1</sub> B <sub>6</sub> Si <sub>14</sub>	0,64	-1,2	407
11	Co <sub>37</sub> Ni <sub>31</sub> Fe <sub>12</sub> B <sub>18</sub> Si <sub>2</sub>	0,85	2,1	430
12	Co <sub>37</sub> Ni <sub>33</sub> Fe <sub>10</sub> B <sub>18</sub> Si <sub>2</sub>	0,78	0,4	421
13	Co <sub>36</sub> Ni <sub>32</sub> Fe <sub>12</sub> B <sub>18</sub> Si <sub>2</sub>	0,81	2,3	430
14	Co <sub>36</sub> Ni <sub>35</sub> Fe <sub>8</sub> Mo <sub>1</sub> B <sub>18</sub> Si <sub>2</sub>	0,65	-1,4	402
15	Co <sub>36</sub> Ni <sub>35</sub> Fe <sub>8</sub> Mo <sub>1</sub> B <sub>10</sub> Si <sub>10</sub>	0,62	-0,2	399
16	Co <sub>36</sub> Ni <sub>35</sub> Fe <sub>8</sub> Mo <sub>1</sub> B <sub>6</sub> Si <sub>14</sub>	0,56	2,3	388
20	Co <sub>35</sub> Ni <sub>34</sub> Fe <sub>11</sub> B <sub>18</sub> Si <sub>2</sub>	0,75	1,2	423
21	Co <sub>35</sub> Ni <sub>35</sub> Fe <sub>10</sub> B <sub>18</sub> Si <sub>2</sub>	0,71	0,6	415
22	Co <sub>35</sub> Ni <sub>34</sub> Fe <sub>11</sub> B <sub>16</sub> Si <sub>4</sub>	0,73	1,8	424
23	Co <sub>34,5</sub> Ni <sub>33</sub> Fe <sub>7,5</sub> Mo <sub>1</sub> B <sub>16</sub> Si <sub>8</sub>	0,51	-1,0	484
24	Co <sub>32,5</sub> Ni <sub>37,5</sub> Fe <sub>9</sub> Mo <sub>1</sub> B <sub>18</sub> Si <sub>2</sub>	0,62	0,6	405
25	Co <sub>32,5</sub> Ni <sub>37,5</sub> Fe <sub>8</sub> Mo <sub>1</sub> B <sub>14</sub> Si <sub>6</sub>	0,62	1,4	407
26	Co <sub>32,5</sub> Ni <sub>37,5</sub> Fe <sub>9</sub> Mo <sub>1</sub> B <sub>16</sub> Si <sub>4</sub>	0,52	1,4	391
27	Co <sub>31</sub> Ni <sub>43</sub> Fe <sub>7</sub> B <sub>17</sub> Si <sub>2</sub>	0,63	-0,9	367
28	Co <sub>31</sub> Ni <sub>41</sub> Fe <sub>9</sub> B <sub>17</sub> Si <sub>2</sub>	0,70	-1,5	363
29	Co <sub>31</sub> Ni <sub>41</sub> Fe <sub>7</sub> B <sub>19</sub> Si <sub>2</sub>	0,56	-0,5	412
30	Co <sub>31</sub> Ni <sub>41</sub> Fe <sub>7</sub> B <sub>17</sub> Si <sub>4</sub>	0,50	-0,3	434
31	Co <sub>31</sub> Ni <sub>39</sub> Fe <sub>7</sub> B <sub>19</sub> Si <sub>4</sub>	0,50	0,1	477

32	Co <sub>31</sub> Ni <sub>39</sub> Fe <sub>9</sub> B <sub>19</sub> Si <sub>2</sub>	0,65	0,1	412
33	Co <sub>31</sub> Ni <sub>39</sub> Fe <sub>9</sub> B <sub>17</sub> Si <sub>4</sub>	0,60	-0,8	433
34	Co <sub>31</sub> Ni <sub>37</sub> Fe <sub>9</sub> B <sub>19</sub> Si <sub>4</sub>	0,57	0,6	478
35	Co <sub>31</sub> Ni <sub>38</sub> Fe <sub>10</sub> Mo <sub>2</sub> B <sub>17</sub> Si <sub>2</sub>	0,60	0,6	427
36	Co <sub>30</sub> Ni <sub>38</sub> Fe <sub>10</sub> Mo <sub>2</sub> B <sub>18</sub> Si <sub>2</sub>	0,54	0,8	446
37	Co <sub>30</sub> Ni <sub>38</sub> Fe <sub>10</sub> Mo <sub>2</sub> B <sub>14</sub> Si <sub>6</sub>	0,57	1,5	433
38	Co <sub>30</sub> Ni <sub>38</sub> Fe <sub>10</sub> Mo <sub>2</sub> B <sub>17</sub> Si <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	0,53	0,6	440
40	Co <sub>30</sub> Ni <sub>38</sub> Fe <sub>10</sub> Mo <sub>2</sub> B <sub>15</sub> Si <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	0,54	0,4	427
41	Co <sub>30</sub> Ni <sub>41</sub> Fe <sub>10</sub> Mo <sub>2</sub> B <sub>15</sub> Si <sub>2</sub>	0,65	0,7	398
42	Co <sub>30</sub> Ni <sub>38</sub> Fe <sub>10</sub> Mo <sub>2</sub> B <sub>13</sub> Si <sub>2</sub> C <sub>5</sub>	0,56	0,8	409
43	Co <sub>30</sub> Ni <sub>37,5</sub> Fe <sub>10</sub> Mo <sub>2,5</sub> B <sub>18</sub> Si <sub>2</sub>	0,56	-1,0	433
44	Co <sub>30</sub> Ni <sub>40</sub> Fe <sub>9</sub> Mo <sub>1</sub> B <sub>18</sub> Si <sub>2</sub>	0,65	-1,2	405
45	Co <sub>30</sub> Ni <sub>40</sub> Fe <sub>9</sub> Mo <sub>1</sub> B <sub>14</sub> Si <sub>6</sub>	0,58	0,5	411
46	Co <sub>30</sub> Ni <sub>40</sub> Fe <sub>9</sub> Mo <sub>1</sub> B <sub>16</sub> Si <sub>4</sub>	0,60	-0,3	411
47	Co <sub>30</sub> Ni <sub>40</sub> Fe <sub>8</sub> Mo <sub>1</sub> B <sub>18</sub> Si <sub>3</sub>	0,55	0,7	416
48	Co <sub>30</sub> Ni <sub>40</sub> Fe <sub>8</sub> Mo <sub>1</sub> B <sub>17</sub> Si <sub>2,3</sub> C <sub>1,7</sub>	0,58	-0,3	394
49	Co <sub>30</sub> Ni <sub>40</sub> Fe <sub>8</sub> Mo <sub>2</sub> B <sub>18</sub> Si <sub>2</sub>	0,52	0,5	504
50	Co <sub>30</sub> Ni <sub>40</sub> Fe <sub>8</sub> Mo <sub>2</sub> B <sub>13</sub> Si <sub>2</sub> C <sub>5</sub>	0,51	0,3	409
51	Co <sub>30</sub> Ni <sub>40</sub> Fe <sub>10</sub> B <sub>18</sub> Si <sub>2</sub>	0,69	0,2	416
52	Co <sub>30</sub> Ni <sub>40</sub> Fe <sub>10</sub> B <sub>16</sub> Si <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	0,66	0,5	406
53	Co <sub>30</sub> Ni <sub>40</sub> Fe <sub>10</sub> B <sub>15</sub> Si <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	0,68	0,3	401
54	Co <sub>30</sub> Ni <sub>40</sub> Fe <sub>10</sub> B <sub>14</sub> Si <sub>2</sub> C <sub>4</sub>	0,69	-0,6	393
55	Co <sub>30</sub> Ni <sub>40</sub> Fe <sub>10</sub> B <sub>13</sub> Si <sub>2</sub> C <sub>5</sub>	0,68	-1,1	389
57	Co <sub>30</sub> Ni <sub>40</sub> Fe <sub>10</sub> B <sub>14</sub> Si <sub>4</sub> C <sub>2</sub>	0,66	0,8	407
58	Co <sub>30</sub> Ni <sub>40</sub> Fe <sub>10</sub> B <sub>12</sub> Si <sub>4</sub> C <sub>4</sub>	0,64	0,7	394
59	Co <sub>30</sub> Ni <sub>38</sub> Fe <sub>10</sub> B <sub>20</sub> Si <sub>2</sub>	0,66	1,0	466
62	Co <sub>30</sub> Ni <sub>34</sub> Fe <sub>10</sub> B <sub>22</sub> Si <sub>2</sub>	0,58	1,0	490
64	Co <sub>29</sub> Ni <sub>45</sub> Fe <sub>7</sub> B <sub>17</sub> Si <sub>2</sub>	0,63	1,4	342
65	Co <sub>29</sub> Ni <sub>43</sub> Fe <sub>7</sub> B <sub>19</sub> Si <sub>2</sub>	0,55	0,5	396
66	Co <sub>29</sub> Ni <sub>43</sub> Fe <sub>7</sub> B <sub>17</sub> Si <sub>4</sub>	0,53	0,2	403
67	Co <sub>29</sub> Ni <sub>41</sub> Fe <sub>9</sub> B <sub>19</sub> Si <sub>2</sub>	0,58	-0,4	434
68	Co <sub>29</sub> Ni <sub>39</sub> Fe <sub>9</sub> B <sub>19</sub> Si <sub>4</sub>	0,51	-0,4	482

**[0015]** Alle in Tabelle I aufgelisteten Legierungen zeigen eine Sättigungsinduktion  $B_s$ , welche 0,5 Tesla übersteigt und eine Sättigungsmagnetostraktion, die im Bereich - 3ppm und +3ppm liegt. Es ist im Hinblick auf die Größe der magnetischen Bauelemente wünschenswert, eine hohe Sättigungsinduktion zu haben. Magnetisches Material mit hoher Sättigungsinduktion macht kleine Komponentengröße möglich. Für viele zurzeit verwendete elektronische Geräte wird eine Sättigungsinduktion über 0,5 Tesla (T) als ausreichend hoch angesehen.

hen. Obwohl die erfindungsgemäßen Legierungen eine Sättigungsmagnetostraktion im Bereich zwischen -3ppm und +3ppm aufweisen, ist ein bevorzugter Bereich -2ppm und +2ppm, und besonders bevorzugt ist ein Wert von nahezu Null. Folglich sind die folgenden Legierungen Beispiele für die besonders bevorzugten erfindungsgemäßen Legierungen:

Co<sub>45</sub> Ni<sub>25</sub> Fe<sub>10</sub> B<sub>18</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>43</sub> Ni<sub>27</sub> Fe<sub>10</sub> B<sub>18</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>43</sub> Ni<sub>25</sub> Fe<sub>10</sub> Mo<sub>2</sub> B<sub>16</sub> Si<sub>2</sub> C<sub>2</sub>, Co<sub>43</sub> Ni<sub>25</sub> Fe<sub>10</sub> Mo<sub>2</sub> B<sub>15</sub> Si<sub>2</sub> C<sub>3</sub>, Co<sub>41</sub> Ni<sub>29</sub> Fe<sub>10</sub> B<sub>18</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>37,5</sub> Ni<sub>32,5</sub> Fe<sub>9</sub> Mo<sub>1</sub> B<sub>18</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>37,5</sub> Ni<sub>32,5</sub> Fe<sub>9</sub> Mo<sub>1</sub> B<sub>14</sub> Si<sub>6</sub>, Co<sub>37,5</sub> Ni<sub>32,5</sub> Fe<sub>9</sub> Mo<sub>1</sub> B<sub>10</sub> Si<sub>10</sub>, Co<sub>37,5</sub> Ni<sub>32,5</sub> Fe<sub>9</sub> Mo<sub>1</sub> B<sub>6</sub> Si<sub>14</sub>, Co<sub>37</sub> Ni<sub>33</sub> Fe<sub>10</sub> B<sub>18</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>36</sub> Ni<sub>35</sub> Fe<sub>9</sub> Mo<sub>1</sub> B<sub>18</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>36</sub> Ni<sub>36</sub> Fe<sub>9</sub> Mo<sub>1</sub> B<sub>10</sub> Si<sub>10</sub>, Co<sub>35</sub> Ni<sub>34</sub> Fe<sub>11</sub> B<sub>18</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>35</sub> Ni<sub>35</sub> Fe<sub>10</sub> B<sub>18</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>35</sub> Ni<sub>34</sub> Fe<sub>11</sub> B<sub>16</sub> Si<sub>14</sub>, Co<sub>34,5</sub> Ni<sub>34</sub> Fe<sub>7,5</sub> Mo<sub>1</sub> B<sub>16</sub> Si<sub>8</sub>, Co<sub>35,2</sub> Ni<sub>37,5</sub> Fe<sub>9</sub> Mo<sub>1</sub> B<sub>18</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>32,5</sub> Ni<sub>37,5</sub> Fe<sub>9</sub> Mo<sub>1</sub> B<sub>14</sub> Si<sub>8</sub>, Co<sub>32,5</sub> Ni<sub>37,5</sub> Fe<sub>9</sub> Mo<sub>1</sub> B<sub>6</sub> Si<sub>14</sub>, Co<sub>31</sub> Ni<sub>34</sub> Fe<sub>7</sub> B<sub>17</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>31</sub> Ni<sub>41</sub> Fe<sub>9</sub> B<sub>17</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>31</sub> Ni<sub>41</sub> Fe<sub>7</sub> B<sub>19</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>31</sub> Ni<sub>41</sub> Fe<sub>7</sub> B<sub>17</sub> Si<sub>4</sub>, Co<sub>31</sub> Ni<sub>39</sub> Fe<sub>7</sub> B<sub>19</sub> Si<sub>4</sub>, Co<sub>31</sub> Ni<sub>39</sub> Fe<sub>9</sub> B<sub>19</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>31</sub> Ni<sub>39</sub> Fe<sub>9</sub> B<sub>17</sub> Si<sub>4</sub>, Co<sub>31</sub> Ni<sub>39</sub> Fe<sub>9</sub> B<sub>19</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>31</sub> Ni<sub>38</sub> Fe<sub>10</sub> Mo<sub>2</sub> B<sub>17</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>38</sub> Fe<sub>10</sub> Mo<sub>2</sub> B<sub>18</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>39</sub> Fe<sub>10</sub> Mo<sub>2</sub> B<sub>17</sub> Si<sub>2</sub> C<sub>1</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>38</sub> Fe<sub>10</sub> Mo<sub>2</sub> B<sub>15</sub> Si<sub>2</sub> C<sub>3</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>41</sub> Fe<sub>10</sub> Mo<sub>2</sub> B<sub>15</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>38</sub> Fe<sub>10</sub> Mo<sub>2</sub> B<sub>14</sub> Si<sub>6</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>38</sub> Fe<sub>10</sub> Mo<sub>2</sub> B<sub>13</sub> Si<sub>2</sub> C<sub>5</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>40</sub> Fe<sub>9</sub> Mo<sub>2</sub> B<sub>18</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>40</sub> Fe<sub>9</sub> Mo<sub>2</sub> B<sub>13</sub> Si<sub>2</sub> C<sub>5</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>40</sub> Fe<sub>10</sub> B<sub>18</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>40</sub> Fe<sub>9</sub> Mo<sub>1</sub> B<sub>18</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>40</sub> Fe<sub>10</sub> B<sub>15</sub> Si<sub>2</sub> C<sub>3</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>40</sub> Fe<sub>10</sub> B<sub>14</sub> Si<sub>2</sub> C<sub>4</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>40</sub> Fe<sub>10</sub> B<sub>13</sub> Si<sub>2</sub> C<sub>5</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>40</sub> Fe<sub>10</sub> B<sub>14</sub> Si<sub>4</sub> C<sub>2</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>40</sub> Fe<sub>10</sub> B<sub>12</sub> Si<sub>4</sub> C<sub>4</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>34</sub> Fe<sub>10</sub> B<sub>22</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>40</sub> Fe<sub>9</sub> Mo<sub>1</sub> B<sub>18</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>40</sub> Fe<sub>9</sub> Mo<sub>1</sub> B<sub>14</sub> Si<sub>6</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>40</sub> Fe<sub>9</sub> Mo<sub>1</sub> B<sub>16</sub> Si<sub>4</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>37,5</sub> Fe<sub>10</sub> Mo<sub>2,5</sub> B<sub>18</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>40</sub> Fe<sub>8</sub> Mo<sub>1</sub> B<sub>18</sub> Si<sub>3</sub>, Co<sub>30</sub> Ni<sub>40</sub> Fe<sub>8</sub> Mo<sub>1</sub> B<sub>17</sub> Si<sub>2,3</sub> C<sub>1,7</sub>, Co<sub>29</sub> Ni<sub>43</sub> Fe<sub>7</sub> B<sub>19</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>29</sub> Ni<sub>41</sub> Fe<sub>9</sub> B<sub>19</sub> Si<sub>2</sub>, Co<sub>29</sub> Ni<sub>43</sub> Fe<sub>7</sub> B<sub>17</sub> Si<sub>4</sub>, Co<sub>29</sub> Ni<sub>45</sub> Fe<sub>7</sub> B<sub>17</sub> Si<sub>2</sub> und Co<sub>29</sub> Ni<sub>39</sub> Fe<sub>9</sub> B<sub>19</sub> Si<sub>4</sub>.

**[0016]** Wärmebehandlung oder Anlassen der metallischen Glaslegierung gemäß der vorliegenden Erfindung verändert auf gewünschte Weise die magnetischen Eigenschaften der Legierung. Die Auswahl der Bedingungen beim Anlassen unterscheidet sich hinsichtlich des benötigten Verhaltens des anvisierten Bauteils. Wird beispielsweise das Bauteil als Sättigungsdrossel verwendet, ist eine rechtwinklige B-H-Schleife wünschenswert. Die Anlassbedingung kann dann ein magnetisches Feld erforderlich machen, das entlang der Richtung angelegt wird, in welcher das Betriebsfeld des Bauelement anliegt. Ist das Bauelement ein Ringkern, dann wird das magnetische Anlassfeld in Richtung Umfangsrichtung des Ringkerns angelegt. Wird das Bauelement als Schnittstellenüberträger verwendet, ist eine lineare B-H Schleife erforderlich und das Anlassfeld ist rechtwinklig zur Umfangsrichtung des Ringkerns ausgerichtet. Um diese Bedingungen und die daraus resultierenden Eigenschaften besser zu verstehen, zeigt [Fig. 1](#) typische, aus dem Stand der Technik wohlbekannte B-H-Schleifen. Die vertikale Achse gibt die magnetische Induktion B in Tesla [T] und die horizontale Achse das angelegte magnetische Feld H in Ampere/Meter [A/m]. [Fig. 1A](#) gibt den Fall wieder, dass ein band-gewundener Kern ohne ein externes magnetisches Feld einer Wärmebehandlung unterzogen oder angelassen wird. Es sei hierzu angemerkt, dass die B-H Schleife weder rechtwinklig noch linear ist. Dieses Verhalten ist nicht geeignet für eine Anwendung als gesättigter Kern, kann jedoch für Anwendungen als Hochfrequenzüberträger nützlich sein, da hierbei die Rechtwinkligkeit unbedeutend ist. Wird ein so starkes Magnetfeld angelegt, dass ein band-gewundener Kern während des Anlassens in die magnetische Sättigung gebracht wird, ergibt sich eine B-H Schleife wie es die [Fig. 1B](#) zeigt. Diese Art rechtwinkliger (oder quadratischer) B-H Schleifen ist für Anwendungen als Sättigungsspule, einschließlich als Magnetverstärker, geeignet, welche in modernen Schalt-Netzteilen für viele elektronische Geräte einschließlich für Personal Computer verwendet werden. Ist das angelegte magnetische Feld während des Anlassens rechtwinklig zum ringförmig bewickelten Kern, sieht die sich ergebende B-H Schleife, wie in [Fig. 1C](#) gezeigt ist, aus. Diese Art verschierter B-H-Charakteristik ist für magnetische Bauelemente erforderlich, deren Einsatz als Schnittstellenüberträger, Signalüberträger, Linearspulen, magnetische Drosseln und Ähnliches beabsichtigt wird.

**[0017]** Für die verschiedenen Anwendungen, die die erfindungsgemäße metallische Glaslegierung verwenden, sind spezifische Anlassbedingungen herauszufinden. Beispiele hierfür sind nachfolgend angegeben:

## Beispiele

### 1. Probenzubereitung

**[0018]** Die metallischen Glaslegierungen, aufgelistet in Tabelle 1, wurden schnell mit einer Abkühlrate von 10<sup>6</sup> K/s aus der Schmelze abgeschreckt, wobei die Techniken, welche von Chen u.a. im US-Patent 3 856 513 gelehrt wurden, angewandt wurden. Die erhaltenen Bänder, typischerweise 10 bis 30 um dick und 0,5 bis 2,5 cm weit, erwiesen sich gemäß Röntgendiffraktion (unter Verwendung Cu-K<sub>α</sub>-Strahlung) und Differentialscanning-Kalorimetrie als frei von signifikanter Kristallstruktur. Die metallischen Glaslegierungen in der Bandform waren stark, glänzend, hart und duktil.

### 2. Magnetische Messungen

**[0019]** Die Sättigungsmagnetisierung M<sub>s</sub> jeder Probe wurde mit einem kommerziell erhältlichen Schwingpro-

ben-Magnetometer (Princeton Applied Research) gemessen. Dafür wurde das Band in mehrere kleine Quadrate (etwa 2 mm × 2 mm) geschnitten, und jedes wurde in einen Probenhalter eingebracht, wobei deren Fläche parallel zum angelegten Feld ausgerichtet wurde, wobei das Feld ein Maximum von etwa 800 kA/m oder (10 kOe) aufwies. Die Sättigungsinduktion  $B_s (=4\pi M_s D)$  wurde mit Hilfe der gemessenen Massendichte  $D$  berechnet.

**[0020]** Die Sättigungsmagnetostriktion wurde anhand eines Stückes der Bandprobe (etwa 3 mm × 10 mm) gemessen, das an einem metallischen Dehnmessstreifen befestigt war. Die Probe mit dem Dehnmessstreifen wurde dann einem magnetischen Feld von etwa 40 kA/m (500 Oe) ausgesetzt. Die Längendehnung des Dehnmessstreifens wurde mit einer Widerstandsbrückenschaltung gemessen, die anderweitig beschrieben ist [Rev. Scientific Instrument, Vol. 51, Seite 382 (1980)], wobei die Felddausrichtung aus der Längsrichtung der Probe in eine Richtung entlang der Breite der Probe geändert wurde. Die Sättigungsmagnetostriktion wurde gemäß der folgenden Formel bestimmt:  $\lambda_s = 2/3$  (Differenz aus den Dehnungen in den beiden Ausrichtungen).

**[0021]** Die ferromagnetische Curie-Temperatur  $\theta_i$  wurde durch eine Induktionsmethode gemessen und überwacht mittels Differentialscanning-Kalorimetrie, welche primär zur Bestimmung der Kristallisationstemperatur herangezogen wurde. Abhängig von der Chemie, fand die Kristallisation manchmal in mehr als einem Schritt statt. Da für die vorliegende Anwendung die erste Kristallisationstemperatur relevanter ist, sind die ersten Kristallisationstemperaturen der erfindungsgemäßen metallischen Glaslegierungen in Tabelle I gelistet.

**[0022]** Fortlaufende Bänder der metallischen Glaslegierungen, welche gemäß des in Beispiel 1 beschriebenen Verfahrens hergestellt wurden, wurden auf Spulenträger gewickelt (3,8 cm Außendurchmesser), um in magnetischer Hinsicht geschlossene Ringproben auszubilden. Jeder Probenringkern wies 30 g des Bandes auf und hatte eine primäre und sekundäre Kupferwicklung, welche mit einem kommerziell erhältlichen B-H Schleifen-Tracer verdrahtet wurden, um eine B-H Hystereseschleife der in [Fig. 1](#) gezeigten Art zu erhalten. Der gleiche Kern wurde verwendet, um die Kernverluste durch die im IEEE-Standard 393–1991 beschriebene Methode zu ermitteln.

### 3. Magnetische Bauelemente aus Legierungen in gegossenem Zustand

**[0023]** Ringförmige Kerne, die gemäß Beispiel 2 unter Verwendung erfindungsgemäßer Legierungen in gegossenem Zustand hergestellt wurden, wurden getestet und zeigten rechtwinklige B-H Schleifen. Die Ergebnisse der Gleichstrom-Koerzitivkraft und Gleichstrom B-H Rechtwinkligkeitsgrad der Legierungen 2, 3, 6, 21, 41, 49, und 57 aus Tabelle I sind in Tabelle II angegeben.

Tabelle II

Legierung Nr.	Gleichstrom-Koerzitivkraft [A/m]	Gleichstrom-Rechtwinkligkeitsgrad
2	1,8	0,93
3	3,1	0,88
6	2,4	0,90
21	2,6	0,86
41	2,3	0,94
49	0,6	0,88
57	1,8	0,92

**[0024]** Geringe Koerzitivkraft und variierende B-H Rechtwinkligkeitsgrade sind Anzeichen dafür, dass die erfindungsgemäßen Legierungen für eine Vielfalt verschiedener magnetischer Anwendungen, wie Sättigungsdrosseln, Linearspulen, Leistungstransformatoren, Signalüberträger und Ähnliches geeignet sind.



## 4. Magnetische Bauelemente mit rechtwinkligen B-H Schleifen

**[0025]** Ringförmige Kerne, welche gemäß dem Verfahren aus Beispiel 2 hergestellt wurden, wurden bei einem magnetischen Feld von 800 A/m, das in Umfangsrichtung des Ringes angelegt wurde, angelassen. Die Ergebnisse der Gleichstrom B-H Hystereseschleifen einiger der Legierungen aus Tabelle I sind in Tabelle V aufgelistet.

Tabelle V

**[0026]** Koerzitivkraft  $H_c$  und B-H Rechtwinkligkeitsgrad ( $B_T/B_S$ , wobei  $B_T$  die Remanenzinduktion ist) einiger der metallischen Glaslegierungen aus Tabelle I. Die Legierungen wurden für 2 Stunden bei 320°C angelassen, wobei ein magnetisches Feld von 800 A/m in Umfangsrichtung des Kerns angelegt wurde.

Legierung Nr.	$H_c$ [A/m]	B-H Rechtwinkligkeitsgrad
1	1,3	0,93
2	2,3	0,96
5	1,1	0,93
6	3,6	0,93
11	2,0	0,98
19	1,2	0,95
35	1,2	0,93
40	0,6	0,87
41	2,4	0,95
49	0,4	0,88
51	1,0	0,93
54	1,6	0,89
57	1,0	0,93

**[0027]** Diese Ergebnisse zeigen, dass die erfindungsgemäßen metallischen Glaslegierungen einen hohen Gleichstrom B-H Rechtwinkligkeitsgrad über 85 verbunden mit einer geringen Koerzitivkraft von weniger als 4 A/m erreichen, wenn sie mit einem Gleichstrom-Magnetfeld angelassen werden, das in Richtung der magnetischen Erregung ausgerichtet ist, und sie zeigen ferner, dass diese Legierungen für Anwendungen als Sättigungsspulen geeignet sind.

**[0028]** Tabelle VI fasst die Ergebnisse von Wechselstrom B-H und Hystereseverlustmessungen, gemessen bei 5 und 50 kHz an ringförmig gewundenen, kleinen Kernen, welche aus den Legierungen 29, 30, 31, 65, 66 und 67 der Tabelle I gemäß Beispiel 2 hergestellt wurden, zusammen.

Tabelle VI

**[0029]** B-H Rechtwinkligkeitsgrad bestimmt bei 5 kHz und Kernverluste bei 50 kHz von ringförmig gewundenen, kleinen Kernen mit einem Außendurchmesser von 12,5 mm, einem Innendurchmesser von 9,5 mm und einer Höhe von 4,8 mm. Diese Kerne wurden aus den Legierungen 29, 30, 31, 65, 66 und 67 der Tabelle I hergestellt. Das Gewicht jedes Kerns war 1,5 g. Ein Gleichstrom-Magnetfeld von 80 A/m war während des Anlassens in Umfangsrichtung dieser kleiner Kerne angelegt.

Legierung	Anlassen		Wechselstrom Schleifeneigenschaft	
	Temperatur [°C]	Zeit [Stunden]	Rechtwinkligkeitsgrad	Kernverluste [W/kg]
29	360	1	0,93	330
30	350	1	0,91	170
31	360	1	0,88	85
65	350	1	0,93	220
66	350	1	0,92	170
67	370	1	0,91	140

**[0030]** B-H Rechtwinkligkeitsgrade über 85 % und geringe Kernverluste von weniger als 400 W/kg machen Anwendungen als Sättigungs-drossel möglich. Ein Magnetverstärker ist eine dieser Sättigungs-drosseln. Eine der wichtigsten Eigenschaften eines Magnetverstärkers ist ein hoher B-H Rechtwinkligkeitsgrad, der im Bereich zwischen 80 und 90 % bei den meisten kommerziellen Legierungen liegt.

**[0031]** Daher übertrifft der Magnetverstärker der vorliegenden Erfindung die meisten der kommerziell erhältlichen. Solche Magnetverstärker werden in weitreichendem Maße in Schaltnetzteilen für elektronische Geräte, einschließlich Personal Computer verwendet.

### Patentansprüche

1. Magnetische Legierung, die zu mindestens 70% glasartig ist, mit der Formel  $\text{Co}_a\text{Ni}_b\text{Fe}_c\text{M}_d\text{B}_e\text{Si}_f\text{C}_g$ , worin M mindestens ein Element ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Cr, Mo, Mn und Nb ist, "a-g" in Atomprozent sind und die Summe von "a-g" gleich 100 ist, "a" im Bereich von 25 bis 60 liegt, "b" im Bereich von 5 bis 45 liegt, "c" im Bereich von 6 bis 12 liegt, "d" im Bereich von 0 bis 3 liegt, "e" im Bereich von 5 bis 25 liegt, "f" im Bereich von 2 bis 15 liegt und "g" im Bereich von 0 bis 6 liegt, wobei die Legierung einen Wert der Sättigungsmagnetostriktion zwischen  $-3$  ppm und  $+3$  ppm aufweist, die Legierung bei einer Temperatur unter der ersten Kristallisationstemperatur der Legierung wärmebehandelt worden ist, die Legierung eine rechteckige Gleichstrom-B-H-Hystereseschleife mit einer Gleichstrom-B-H-Schleifenrechteckigkeit über 75% aufweist und die Legierung eine Sättigungsinduktion im gegossenen Zustand über etwa 0,5 Tesla aufweist.

2. Magnetische Legierung nach Anspruch 1 mit einem Bereich von Sättigungsmagnetostriktion zwischen  $-2 \times 10^{-6}$  und  $+2 \times 10^{-6}$ .

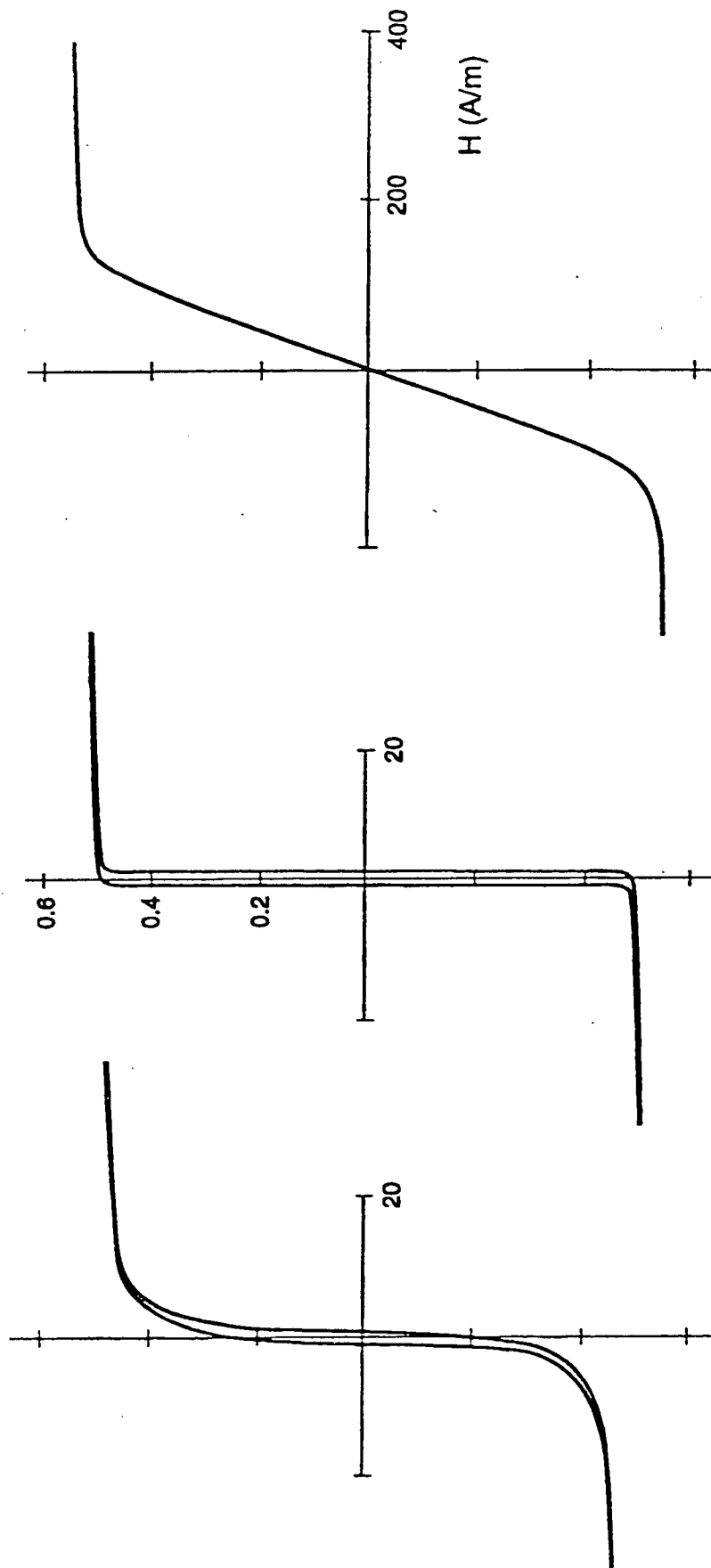
3. Magnetische Legierung nach Anspruch 1 mit einer Zusammensetzung, die ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus  $\text{Co}_{45}\text{Ni}_{25}\text{Fe}_{10}\text{B}_{18}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{43}\text{Ni}_{27}\text{Fe}_{10}\text{B}_{18}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{43}\text{Ni}_{25}\text{Fe}_{10}\text{Mo}_2\text{B}_{16}\text{Si}_2\text{C}_2$ ,  $\text{Co}_{43}\text{Ni}_{25}\text{Fe}_{10}\text{Mo}_2\text{B}_{15}\text{Si}_2\text{C}_3$ ,  $\text{Co}_{41}\text{Ni}_{29}\text{Fe}_{10}\text{B}_{18}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{37,5}\text{Ni}_{32,5}\text{Fe}_9\text{Mo}_1\text{B}_{18}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{37,5}\text{Ni}_{32,5}\text{Fe}_9\text{Mo}_1\text{B}_{14}\text{Si}_6$ ,  $\text{Co}_{37,5}\text{Ni}_{32,5}\text{Fe}_9\text{Mo}_1\text{B}_{10}\text{Si}_{10}$ ,  $\text{Co}_{37,5}\text{Ni}_{32,5}\text{Fe}_9\text{Mo}_1\text{B}_6\text{Si}_{14}$ ,  $\text{Co}_{37}\text{Ni}_{33}\text{Fe}_{10}\text{B}_{18}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{36}\text{Ni}_{35}\text{Fe}_8\text{Mo}_1\text{B}_{18}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{36}\text{Ni}_{36}\text{Fe}_8\text{Mo}_1\text{B}_{10}\text{Si}_{10}$ ,  $\text{Co}_{35}\text{Ni}_{34}\text{Fe}_{11}\text{B}_{18}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{35}\text{Ni}_{35}\text{Fe}_{10}\text{B}_{18}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{35}\text{Ni}_{34}\text{Fe}_{11}\text{B}_{16}\text{Si}_4$ ,  $\text{Co}_{34,5}\text{Ni}_{33}\text{Fe}_{7,5}\text{B}_{16}\text{Si}_8$ ,  $\text{Co}_{32,5}\text{Ni}_{33}\text{Fe}_{7,5}\text{Mo}_1\text{B}_{18}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{32,5}\text{Ni}_{37,5}\text{Fe}_9\text{Mo}_1\text{B}_{14}\text{Si}_6$ ,  $\text{Co}_{32,5}\text{Ni}_{37,5}\text{Fe}_9\text{Mo}_1\text{B}_6\text{Si}_{14}$ ,  $\text{Co}_{31}\text{Ni}_{34}\text{Fe}_7\text{B}_{17}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{31}\text{Ni}_{41}\text{Fe}_9\text{B}_{17}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{31}\text{Ni}_{41}\text{Fe}_7\text{B}_{19}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{31}\text{Ni}_{41}\text{Fe}_7\text{B}_{17}\text{Si}_4$ ,  $\text{Co}_{31}\text{Ni}_{39}\text{Fe}_7\text{B}_{19}\text{Si}_4$ ,  $\text{Co}_{31}\text{Ni}_{39}\text{Fe}_9\text{B}_{19}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{31}\text{Ni}_{39}\text{Fe}_9\text{B}_{17}\text{Si}_4$ ,  $\text{Co}_{31}\text{Ni}_{39}\text{Fe}_9\text{B}_{19}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{31}\text{Ni}_{38}\text{Fe}_{10}\text{Mo}_2\text{B}_{17}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{38}\text{Fe}_{10}\text{Mo}_2\text{B}_{18}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{38}\text{Fe}_{10}\text{Mo}_2\text{B}_{17}\text{Si}_2\text{C}_1$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{38}\text{Fe}_{10}\text{Mo}_2\text{B}_{16}\text{Si}_2\text{C}_2$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{38}\text{Fe}_{10}\text{Mo}_2\text{B}_{15}\text{Si}_2\text{C}_3$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{41}\text{Fe}_{10}\text{Mo}_2\text{B}_{15}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{38}\text{Fe}_{10}\text{Mo}_2\text{B}_{14}\text{Si}_6$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{38}\text{Fe}_{10}\text{Mo}_2\text{B}_{13}\text{Si}_5$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{40}\text{Fe}_8\text{Mo}_2\text{B}_{18}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{40}\text{Fe}_8\text{Mo}_2\text{B}_{13}\text{Si}_5$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{40}\text{Fe}_{10}\text{B}_{16}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{40}\text{Fe}_{10}\text{Mo}_1\text{B}_{18}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{38}\text{Fe}_{10}\text{B}_{15}\text{Si}_2\text{C}_3$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{40}\text{Fe}_{10}\text{B}_{14}\text{Si}_2\text{C}_4$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{40}\text{Fe}_{10}\text{B}_{13}\text{Si}_2\text{C}_5$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{40}\text{Fe}_{10}\text{B}_{16}\text{Si}_4$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{40}\text{Fe}_{10}\text{B}_{14}\text{Si}_4\text{C}_2$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{40}\text{Fe}_{10}\text{B}_{12}\text{Si}_4\text{C}_4$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{34}\text{Fe}_{10}\text{B}_{22}\text{Si}_4$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{34}\text{Fe}_{10}\text{B}_{18}\text{Si}_2\text{C}_2$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{40}\text{Fe}_9\text{Mo}_1\text{B}_{18}\text{Si}_4$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{40}\text{Fe}_9\text{Mo}_1\text{B}_{14}\text{Si}_6$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{40}\text{Fe}_9\text{Mo}_1\text{B}_{18}\text{Si}_4$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{37,5}\text{Fe}_{10}\text{Mo}_2\text{B}_{18}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{40}\text{Fe}_8\text{Mo}_1\text{B}_{18}\text{Si}_3$ ,  $\text{Co}_{30}\text{Ni}_{40}\text{Fe}_8\text{Mo}_1\text{B}_{17}\text{Si}_2\text{C}_{1,7}$ ,  $\text{Co}_{29}\text{Ni}_{43}\text{Fe}_7\text{B}_{19}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{29}\text{Ni}_{41}\text{Fe}_9\text{B}_{19}\text{Si}_2$ ,  $\text{Co}_{29}\text{Ni}_{43}\text{Fe}_7\text{B}_{17}\text{Si}_4$ ,  $\text{Co}_{29}\text{Ni}_{45}\text{Fe}_7\text{B}_{17}\text{Si}_2$  und  $\text{Co}_{29}\text{Ni}_{39}\text{Fe}_9\text{B}_{19}\text{Si}_4$ .

4. Magnetische Legierung nach Anspruch 1 mit einer rechteckigen Wechselstrom-B-H-Hystereseschleife mit einem B-H-Rechteckigkeitsverhältnis bei 5 kHz über 80%.
5. Magnetkern zur Verwendung in sättigbaren Gleichstrom-Induktoren, in dem der Kern ein magnetisches Element aufweist, das eine Legierung nach Anspruch 1 umfasst.
6. Magnetkern zur Verwendung in sättigbaren Wechselstrom-Induktoren, in dem der Kern ein magnetisches Element aufweist, das eine Legierung nach Anspruch 4 umfasst.
7. Magnetkern zur Verwendung in magnetischen Messwertgebern, in dem der Kern ein magnetisches Element aufweist, das eine Legierung nach Anspruch 4 umfasst.
8. Magnetische Legierung nach Anspruch 1 mit einer rechteckigen Gleichstrom-B-H-Hystereseschleife mit einem Gleichstrom-Rechteckigkeitsverhältnis über 85%.
9. Magnetische Legierung nach Anspruch 8 mit einer Gleichstrom-Koerzitivkraft von weniger als 4 A/m.
10. Magnetische Legierung nach Anspruch 4 mit einer rechteckigen Wechselstrom-B-H-Hystereseschleife mit einem B-H-Rechteckigkeitsverhältnis bei 5 kHz über 85%.
11. Magnetische Legierung nach Anspruch 10 mit einem Kernverlust von weniger als 400 W/kg, gemessen bei 50 kHz.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

B (T)



(A)

(B)

(C)