(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 20 011 T2** 2006.03.16

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 063 661 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 20 011.6**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 304 992.1**
(96) Europäischer Anmeldetag: **13.06.2000**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **27.12.2000**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **11.05.2005**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **16.03.2006**

(51) Int Cl.[8]: ***H01F 17/00*** (2006.01)
H01F 41/04 (2006.01)
H01L 23/64 (2006.01)
H03H 7/01 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
338143 **22.06.1999** **US**

(73) Patentinhaber:
Lucent Technologies Inc., Murray Hill, N.J., US

(74) Vertreter:
Klunker, Schmitt-Nilson, Hirsch, 80797 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(72) Erfinder:
Kossives, Dean P., Glen Gardner, New Jersey 08826, US; Lotfi, Ashraf W., Bridgewater, New Jersey 08807, US; Schneemeyer, Lynn F., Westfield, New Jersey 07090, US; Steigerwald, Michael L., Martinsville, New Jersey 08836, US; Van Dover, R. Bruce, Maplewood, New Jersey 07040, US

(54) Bezeichnung: **Integrierte Schaltung mit einer mikromagnetischer Vorrichtung und sein Herstellungsverfahren**

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

Querbezug auf verwandte Anmeldungen.

[0001] Die folgende Anmeldung steht in Bezug zu folgende US-Patentanmeldungen:

Druckschrift Nr.	*Titel*	*Erfinder*	*Einreichungs-datum*
Kossives 8-8-4-15-22	A Micromagnetic Device for Power Processing Applications and Method of Manufacture Therefor	Kossives et al.	10. Juni 1997
Kossives 13-12-9-17-30	A Micromagnetic Device for Data Transmission Applications and Method of Manufacture Therefor	Kossives et al.	2. Juli 1998
Kossives 14-15-11-19-32	A Micromagnetic Device having an Anistropic Ferromagnetic Core and Method of Manufacture Therefor	Kossives et al.	

[0002] Die oben angegebenen Anmeldungen wurden gemeinsam mit der vorliegenden Erfindung übertragen.

Technisches Gebiet der Erfindung

[0003] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein integrierte Schaltungen und insbesondere eine integrierte Schaltung mit einer Kapazität und einem ferromagnetischen Kern, außerdem betrifft sie ein Verfahren zum Herstellen der Schaltung.

Hintergrund der Erfindung

[0004] Ein magnetisches Bauelement enthält einen mit leitenden Wicklungen gekoppelten Magnetkern, so dass Induktionsfluss in einem geschlossenen Kreis um den Kern herrscht. Magnetische Bauelemente sind im Allgemeinen als EE-Struktur oder mit Torus-Geometrie ausgebildet. Bei dem magnetischen Bauelement vom EE-Typ umgeben ein erster und ein zweiter Kernabschnitt des magnetischen Kerns die Leiterwicklungen. Im torus-förmigen magnetischen Bauelement umgeben ein erster und ein zweiter Wicklungsteil der Leiterwicklungen den magnetischen Kern.

[0005] Magnetische Bauelemente (z.B. Mikroinduktivitäten oder Mikroübertrager) sind als integrierte Schaltung ausgebildete magnetische Bauelemente im Mikromaßstab, wobei die elektromagnetischen Eigenschaften des Bauelements bestimmt werden durch das Vorhandensein des magnetischen Kerns und der Leiterwicklungen. In der Vergangenheit waren mikromagnetische Bauelemente nur bei Anwendungen mit niedrigem Signalpegel einsetzbar (beispielsweise bei Aufzeichnungsköpfen). Mit der Entwicklung der Fertigungsverfahren

bei integrierten Schaltungen ist es nunmehr möglich, mikromagnetische Bauelemente für eine Großsignal-Leistungsverarbeitung, für Hochgeschwindigkeits-Datenübertragung und andere Anwendungen zu fertigen. Beispielsweise können mikromagnetische Bauelemente in Leistungssystemen für drahtlose Kommunikationseinrichtungen oder in Datenübertragungsschaltungen eingesetzt werden.

[0006] Während zahlreiche Leistungs-Halbleiterbauelemente (beispielsweise solche mit Ferrit-Kern) zu integrierten Schaltungen verkleinert wurden, bleiben induktive Elemente derzeit noch diskret und baulich voluminös. Natürlich gibt es ein starkes Bedürfnis, auch diese induktiven Bauelemente zu miniaturisieren. Durch Erweitern von Dünnschicht-Verfahren, wie sie bei Leistungs-Halbleiterbauelementen eingesetzt werden, auf ferromagnetische Werkstoffe, lässt sich die Größe der herkömmlichen diskreten induktiven Bauelemente mit induktivem ferromagnetischen Kern deutlich reduzieren. Ferromagnetische Werkstoffe wie beispielsweise Legierungen besitzen allerdings viel höhere Sättigungsflussdichten als Ferrite (z.B. 10–20 kG gegenüber 3 kG), wodurch das bauliche Volumen des Kerns für eine gegebene Induktivitäts- und Energieanforderung kleiner wird. Um die Wirbelstromverluste in ferromagnetischem Werkstoff zu begrenzen, müssen die Werkstoffe in ungewöhnlich dünnen Schichten gefertigt werden. Die Verarbeitung von ferromagnetischen Dünnschichtwerkstoffen mit traditionellen Walz- und Bandwickelverfahren erweist sich als äußerst kostspielig, wenn die angestrebte Banddicke auf weniger als 0,001 Zoll (d.h. 25 μm) sinkt. Es ist daher von Vorteil, derartige Dünnschichten mit Hilfe anderer bei integrierten Schaltungen üblichen Niederschlagverfahren zu fertigen, beispielsweise durch Aufdampfen oder Galvanisieren.

[0007] Eine weitere relevante Überlegung in Verbindung mit der Fertigung mikromagnetischer Bauelemente ist das Anbringen des ferromagnetischen Werkstoffs an einem aus Lithium oder dergleichen bestehenden Substrat. Insbesondere ist die Schaffung einer angemessenen Bindung zwischen dem ferromagnetischen Werkstoff und dem mit dem Substrat gekoppelten Isolator ein wichtiger Punkt. Zahlreiche Faktoren (so beispielsweise die Oxidbildung, die Schmelzpunkttemperatur, die Zwischenverunreinigung, die Affinität zwischen den Werkstoffen und mechanische Spannung an der Grenzfläche) können das Haften einer Dünnschicht an einem Substrat beeinflussen. Beispielsweise ist eine bei der Fertigung von Dünnschichtstrukturen übliche Methode die Ausbildung einer Oxid-Metall-Bindung an der Grenzfläche zwischen Substrat und Dünnschicht. Die Oxid-Metall-Bindung lässt sich herstellen unter Verwendung eines sauerstoffaktiven Metalls (beispielsweise Wolfram oder Chrom) auf einem oxidhaltigen Substrat (beispielsweise Glas oder Keramik) in Verbindung mit einem feuerfesten Metall (beispielsweise Tantal oder Wolfram). Was die Verunreinigungen angeht, so ist es Vorteil, mögliche Verunreinigungen zu beseitigen, die in dem Substrat eingelagert sind. Reinigungsverfahren unterscheiden sich in der Wirksamkeit und in dem ausgewählten Verfahren abhängig von der Fähigkeit des Niederschlagungsverfahrens, Verunreinigungsatome zu beseitigen. Um ein Beispiel zu geben: Man kann unterschiedliche Reinigungsverfahren beim Bedampfen und beim Galvanisieren verwenden.

[0008] Natürlich hängt die letztliche Entscheidung bezüglich der Hafteigenschaften von den verwendeten Werkstoffen ab. Während Andere versucht haben, das Haften ferromagnetischer Werkstoffe an einem mit einem Substrat gekoppelten Isolator zu klären (z.B. Measured Performance of a High-Power-Density Microfabricated Transformer in a DC-DC Converter von Charles A. Sullivan und Seth R. Sanders, IEEE Power Electronics Specialists Conference, Seiten 287–294 (Juli 1996)), bleibt allerdings das Problem bis heute ungelöst. Die Entwicklung eines Klebstoffs, der gleichzeitig eine Bindung mit dem Isolator und dem ferromagnetischen Werkstoff eingeht, so dass eine Dünnschichtverarbeitung bei induktiven Elementen angewendet werden kann, wäre die Grundlage für die Einführung mikromagnetischer Bauelemente in eine Vielzahl von Anwendungen mit integrierten Schaltungen.

[0009] Was die magnetischen Eigenschaften angeht, so sind derzeitige mikromagnetische Bauelemente typischerweise isotrop insofern, als ihre Eigenschaften auch bei Messung in verschiedenen Richtungen gleich sind. Obschon auf dem Gebiet der Magnettechnik anisotrope Eigenschaften grundsätzlich bekannt sind, wurden anisotrope Eigenschaften beim Entwurf mikromagnetischer Bauelemente noch nicht eingesetzt, was zum Teil darauf zurückzuführen ist, dass es die oben angesprochenen Beschränkungen bei der Fertigung von mikromagnetischen integrierten Schaltungen gibt. Mikromagnetische Bauelemente mit der Fähigkeit, in den Kern eine gezielte magnetische Anisotropie einzubeziehen, welche eine gewünschte Richtung und gewünschte Kennwerte besitzt, wären äußerst nützlich.

[0010] Mikromagnetische Bauelemente, die sich fertigen lassen unter Verwendung verbesserter Klebstoffe, und die eine magnetische anisotrope Eigenschaft innerhalb des Kerns besitzen, würden eine große Vielfalt von Anwendungen mit integrierten Schaltungen ermöglichen. Einige dieser mikromagnetischen Anwendungsgebiete beinhalten Schaltungen für die Leistungsverarbeitung, die Datenübertragung, Hochfrequenzschaltungen sowie integrierte Motorsteuerschaltungen. Zusammengefasst: Die Fähigkeit, mikromagnetische Bauelemente

mit anderen aktiven oder passiven Schaltungskomponenten wie z.B. Transistoren, Dioden, Kondensatoren, Widerstände und dergleichen unter Schaffung im Wesentlichen einer gesamtheitlichen integrierten Schaltung zu integrieren, wäre äußerst nützlich.

[0011] Was benötigt wird im Stand der Technik ist also eine integrierte Schaltung, die nicht nur ein mikromagnetisches Bauelement enthält, sondern weitere Mikrokomponenten wie beispielsweise Kondensatoren und Transistoren beinhaltet.

Offenbarung der Erfindung

[0012] Um die oben angesprochenen Unzulänglichkeiten im Stand der Technik zu beheben, schafft die vorliegende Erfindung eine integrierte Schaltung und ein Verfahren zu deren Fertigung. In einer Ausführungsform enthält die integrierte Schaltung ein Substrat mit einem Isolator und einem über dem Isolator gebildeten Kondensator. Außerdem enthält die integrierte Schaltung einen über dem Isolator ausgebildeten Klebstoff. Die integrierte Schaltung enthält weiterhin ein mikromagnetisches Bauelement, welches einen über dem Klebstoff gebildeten ferromagnetischen Kern aufweist. Der Klebstoff erzeugt eine Bindung zwischen dem Isolator und dem ferromagnetischen Kern, um letzteren am Substrat zu befestigen. Das mikromagnetische Bauelement enthält außerdem mindestens eine Wicklung, die nahe bei dem ferromagnetischen Kern angeordnet ist, um diesem eine gewünschte magnetische Eigenschaft zu verleihen. Das mikromagnetische Bauelement ist elektrisch mit dem Kondensator gekoppelt. Die integrierte Schaltung kann in zahlreichen Anwendungen eingesetzt werden, so z.B. in Filterschaltungen.

[0013] Zusätzlich zu dem mikromagnetischen Bauelement enthält in einer verwandten, jedoch alternativen Ausführungsform die integrierte Schaltung einen Transistor, der auf dem Substrat ausgebildet und elektrisch mit dem ferromagnetischen Kern gekoppelt ist. Der Kondensator, das mikromagnetische Bauelement und der Transistor können mit weiteren Bauelemente in HF-Schaltungen, Leistungsverarbeitungsschaltungen und anderen Schaltkreisen eingesetzt werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0014] Um ein umfassenderes Verständnis der vorliegenden Erfindung zu erlangen, wird im Folgenden auf die nachfolgende Beschreibung in Verbindung auf die begleitenden Zeichnungen Bezug genommen. Es zeigen:

[0015] Fig. 1A in schematisches Diagramm einer Ausführungsform einer Leistungsverarbeitungsschaltung, die nach den Prinzipien der Erfindung aufgebaut ist;

[0016] Fig. 1B ein schematisches Diagramm einer Ausführungsform einer Datenübertragungsschaltung, die gemäß den Prinzipien der Erfindung aufgebaut ist;

[0017] Fig. 1C ein schematisches Diagramm einer Ausführungsform einer HF-Schaltung, die gemäß den Prinzipien der Erfindung aufgebaut ist;

[0018] Fig. 1D ein schematisches Diagramm einer Ausführungsform einer Motorsteuerschaltung, die gemäß den Prinzipien der Erfindung aufgebaut ist;

[0019] Fig. 2A eine Draufsicht auf eine Ausführungsform eines mikromagnetischen Bauelements, das gemäß den Prinzipien der Erfindung aufgebaut ist;

[0020] Fig. 2B eine Draufsicht auf ein mikromagnetisches Bauelement, wobei die resultierenden B-H-Kurven für verschiedene verfügbare externe Magnetfeldorientierungen dargestellt sind;

[0021] Fig. 3 eine Draufsicht auf eine weitere Ausführungsform eines mikromagnetischen Bauelements, welches gemäß den Prinzipien der Erfindung aufgebaut ist;

[0022] Fig. 4 eine Querschnittansicht einer Ausführungsform einer integrierten Schaltung mit einem mikromagnetischen Bauelement, das gemäß den Prinzipien der Erfindung aufgebaut ist;

[0023] Fig. 5A ein schematisches Diagramm einer Ausführungsform einer Tiefpassfilterschaltung, die gemäß den Prinzipien der Erfindung aufgebaut ist;

[0024] Fig. 5B eine Querschnittansicht einer integrierten Schaltung, die eine Ausführungsform der Tiefpassfilter nach Fig. 5A mit Aufbau gemäß den Prinzipien der Erfindung darstellt;

[0025] Fig. 5C eine Draufsicht auf die in Fig. 5B im Querschnitt dargestellte integrierte Schaltung, welche eine Ausführungsform der Tiefpassfilterschaltung nach Fig. 5A repräsentiert;

[0026] Fig. 6A ein schematisches Diagramm einer Hochpassfilterschaltung, die gemäß den Prinzipien der Erfindung aufgebaut ist;

[0027] Fig. 6B eine Querschnittansicht einer integrierten Schaltung einer Ausführungsform der in Fig. 6A dargestellten Hochpassfilterschaltung, aufgebaut gemäß den Prinzipien der Erfindung;

[0028] Fig. 7A ein schematisches Diagramm eines Bandpassfilters, aufgebaut gemäß den Prinzipien der Erfindung;

[0029] Fig. 7B ein schematisches Diagramm eines Kerbfilters, aufgebaut gemäß den Prinzipien der Erfindung; und

[0030] **Fig.** 8 ein Flussdiagramm einer Ausführungsform eines Verfahrens zum Fertigen der integrierten Schaltung nach Fig. 6B.

Detaillierte Beschreibung

[0031] Zunächst auf Fig. 1A Bezug nehmend, ist dort ein schematisches Diagramm einer Ausführungsform einer Leistungsverarbeitungsschaltung **10** gemäß den Prinzipien der Erfindung dargestellt. Die Leistungsverarbeitungsschaltung **10** enthält einen Leistungsstrang mit einer Umwandlungsstufe, die eine Schaltvorrichtung **15** zum Empfangen eines elektrischen Eingangs-Leistungssignals V_{IN} enthält und am Ausgang eine geschaltete elektrische Leistung abgibt. Die Leistungsverarbeitungsschaltung **10** enthält weiterhin eine Filterschaltung (mit einer Ausgangsinduktivität **43** und einem Ausgangskondensator **48**) zum Filtern der geschalteten elektrischen Leistung, um ein elektrisches Ausgangs-Leistungssignal zu erzeugen (dargestellt als Spannung V_{OUT}). Die Leistungsverarbeitungsschaltung **10** enthält weiterhin ein mikromagnetisches Leistungsbauelement (z.B. einen Übertrager) **20** mit einer Primärwicklung **23** und einer Sekundärwicklung **26**, außerdem einen Gleichrichter (mit Gleichrichterdioden **30**, **40**), der zwischen die Leistungswandlerstufe und die Filterstufe gekoppelt ist. Gemäß den im Folgenden beschriebenen Prinzipien kann die Leistungsverarbeitungsschaltung **10**, die z.B. den Übertrager **20**, die Ausgangsinduktivität **43** und die Ausgangskapazität **48** beinhaltet, als integrierte Schaltung ausgebildet sein. Allerdings sollte sich verstehen, dass die Leistungsverarbeitungsschaltung **10** hier nur zu Anschauungszwecken dargestellt ist.

[0032] Nunmehr auf Fig. 1B Bezug nehmen, ist dort ein schematisches Diagramm einer Ausführungsform einer Datenübertragungsschaltung **50** dargestellt, die gemäß den Prinzipien der Erfindung aufgebaut ist. Die Datenübertragungsschaltung **50** enthält eine erste Kommunikationsschaltung **55** zum Empfangen eines Nachrichtensignals. Die Datenübertragungsschaltung **50** enthält weiterhin eine zweite Kommunikationsschaltung **75** zum Senden des Nachrichtensignals. Die Datenübertragungsschaltung **50** enthält ferner ein Übertragungs-Leitungskabel **65** mit einer charakteristischen Impedanz Z_0, um die erste Kommunikationsschaltung **55** mit der zweiten Kommunikationsschaltung **75** zu verbinden. Die Datenübertragungsschaltung **50** enthält weiterhin ein erstes und ein zweites mikromagnetisches, zur Datenübertragung dienendes Bauelement **60** und **70**, die zwischen das Übertragungs-Leitungskabel **65** und die erste bzw. die zweite Kommunikationsschaltung **55** bzw. **75** geschaltet ist. Das erste und das zweite mikromagnetische Datenübertragungs-Bauelement **60**, **70** sind gemäß den im Folgenden beschriebenen Prinzipien der Erfindung aufgebaut.

[0033] Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel können das erste und das zweite mikromagnetische Datenübertragungs-Bauelement **60**, **70** verschiedene Funktionen aufweisen, darunter ohne Beschränkung eine Spannungsumformung, eine Impedanzumformung von einer Senderimpedanz der zweiten Kommunikationsschaltung **75** in die charakteristische Impedanz Z_0 und von der charakteristischen Impedanz Z_0 auf eine Empfängerimpedanz der ersten Kommunikationsschaltung **75**. Weitere Funktionen beinhalten die Umwandlung von einem unsymmetrischen in ein symmetrisches Signal und die Unterdrückung der elektromagnetischen Beeinflussung. Gemäß den Prinzipien, wie sie im Folgenden beschrieben werden, kann die beispielsweise das erste und das zweite mikromagnetische Datenübertragungs-Bauelement **60** und **70** enthaltende Datenübertragungsschaltung **50** als integrierte Schaltung ausgebildet werden. Die Datenübertragungsschaltung **50** und das erste und das zweite mikromagnetische Datenübertragungsbauelement **60** und **70** dienen hier aber lediglich

als Beispiel.

[0034] Nunmehr auf Fig. 1C Bezug nehmend, ist dort ein schematisches Diagramm einer Ausführungsform einer HF-Schaltung **100** dargestellt, die nach den Prinzipien der Erfindung aufgebaut ist. Die HF-Schaltung **100** enthält einen N-Kanal-MOSFET **110**, eine mikromagnetische Induktivität **120** und eine Kapazität **130**. Die HF-Schaltung **100** ist ein HF-Verstärker, der ein Eingangssignal Vin mit einer Hochfrequenz empfängt, welche durch die Resonanzfrequenz der Parallelschaltung aus der mikromagnetischen Induktivität **120** und der Kapazität **130** bestimmt wird. Dann lässt sich in passender Weise an eine andere Schaltung ein verstärktes Ausgangssignal Vout liefern. Der N-Kanal-MOSFET **110**, die mikromagnetische Induktivität **120** und die Kapazität **130** sind nach den Prinzipien der Erfindung aufgebaut, wie es im Folgenden beschrieben wird. Natürlich ist die HF-Schaltung **100** beispielhaft für andere HF-Schaltungen, beispielsweise Filter, Modulatoren, Demodulatoren oder andere Parallel- oder Reinschaltungen, die möglicherweise eingesetzt werden.

[0035] Nach Fig. 1D ist eine schematisch dargestellte Motorsteuerschaltung **150** gemäß den Prinzipien der Erfindung aufgebaut. Die Motorsteuerschaltung **150** enthält ein Gleichrichtersystem **155**, eine mikromagnetische Induktivität **160**, eine Kapazität **165**, ein Wechselrichter-/Steuersystem **170** und einen Motor **175**. Das Gleichrichtersystem **155**, welches für Einzelphasen- oder Drehstrom-Wechselstromquellen ausgelegt sein kann, wandelt eine Wechselspannung in eine Gleichspannung um, und die Kombination aus mikromagnetischer Induktivität **160** mit dem Kondensator **165** bildet ein Tiefpassfilter, um die von der Wechselrichter-Steuerung **170** kommende Gleichspannung zusätzlich zu glätten. Die Wechselrichter-Steuerung **170** wandelt dann die Gleichspannung in ein Drehstromsignal um, welches den Motor **175** speist. Die Wechselrichter-Steuerung **170** kann mittels Pulsweitenmodulation (PWM) erzeugt werden, um eine variable Motordrehzahlsteuerung zu ermöglichen. Die Motorsteuerschaltung **150**, die z.B. das Tiefpassfilter (die mikromagnetische Induktivität **160** und die Kapazität **165**) sowie das Gleichrichtersystem **155** und die Wechselrichter/Steuerung **170** enthält, sind nach den Prinzipien der Erfindung aufgebaut, wie es im Folgenden erläutert wird.

[0036] Nunmehr auf Fig. 2A Bezug nehmend, ist dort eine Draufsicht auf eine Ausführungsform eines mikromagnetischen Bauelements **200** gemäß der Erfindung dargestellt. Das mikromagnetische Bauelement **200** ist eine Übertragereinrichtung vom EE-Typ. Das mikromagnetische Bauelement **200** enthält einen ferromagnetischen Kern mit einem ersten Kernteil oder -abschnitt **210** und einen zweiten Kernteil **215**. Während der ferromagnetische Kern sich aus einer Legierung zusammensetzen lässt (beispielsweise aus Permalloy™, bestehend aus Nickel-Eisen mit etwa 80% Nickel und 20% Eisen), umfasst der Schutzumfang der Erfindung auch andere ferromagnetische Werkstoffe. Das mikromagnetische Bauelement **200** enthält weiterhin leitende Wicklungen mit einer Primärwicklung **220** und einer Sekundärwicklung **225**. Natürlich können die Wicklungen aus einem beliebigen leitenden Werkstoff bestehen. Die Primärwicklung **220** ist mit mehreren Anschlüssen **230**, **235** abgeschlossen, die Sekundärwicklung **225** mit mehreren Anschlüssen **240**, **245**.

[0037] Er erste und der zweite Kernteil **210**, **215** umgeben die Primär- und die Sekundärwicklung **220**, **225**. Der Induktionsfluss des mikromagnetischen Bauelements **200** fließt vorherrschend entlang der Breite des ferromagnetischen Kerns. Als Folge davon ist der ferromagnetische Kern anisotrop und steuert damit Hystereseverluste bei höheren Frequenzen (z.B. oberhalb von 10 MHz). Der erste und der zweite Kernteil **210**, **215** lassen sich durch magnetische Durchführungen koppeln (wenn anisotrope Eigenschaft und Steuerung erwünscht sind), oder können getrennt sein (wenn ein Luftspalt erwünscht ist). Der Aufbau vom EE-Typ steuert in wirksamer Weise die Permeabilität des ferromagnetischen Kerns durch Regulieren der Richtung der induzierten Anisotropie in Bezug auf den magnetischen Feldvektor.

[0038] Was das ferromagnetische Material angeht, so ist dessen Gesamtdicke abhängig von den Induktivitätsanforderungen an das Bauelement ausgewählt. Für einen Betrieb bei relativ hohen Frequenzen (z.B. oberhalb von 10 MHz) können in den ferromagnetischen Werkstoffen induzierte Wirbelströme problematisch werden aufgrund des sich dann ergebenden geringen spezifischen Widerstands (z.B. $\rho \sim 20–100\ \mu\Omega cm$). Um Wirbelströme zu verringern, sollte die magnetische Schichtdicke des ferromagnetischen Werkstoffs begrenzt werden auf einen Bruchteil der Hautdicke δ (mit $\delta = (\rho/\pi f \mu)^2$ für eine gegebene Betriebsfrequenz f]. Bei 8 MHz und $\mu = 1000$ beispielsweise beträgt die Hauttiefe etwa 2,5 µm. Um die Auswirkung von Wirbelströmen zu begrenzen, sollte die Schichtdicke also unter etwa 2 µm liegen (offensichtlich sind noch dünnere Schichten notwendig, wenn die Permeabilität zunimmt). Wenn die Induktivitäts-Spezifikation eine größere Dicke erfordert, sollten isolierte mehrlagige Schichten (wobei jede Schicht nicht die erforderliche Hautdicke übersteigt) eingesetzt werden.

[0039] Zur Verwendung bei Datenübertragungsanwendungen beispielsweise kann die Leistungsfähigkeit des mikromagnetischen Bauelements **200** bei hohen Datenübertragungsraten durch parasitäre Elemente abträg-

lich beeinflusst werden. Streuinduktivitäten und Zwischenwicklungs-Kapazitäten können Ursache sein für Verzerrungen, Überschwinger und Rückschwinger, die einen gesendeten Datenimpuls aus einer akzeptierbaren Übertragungsschablone herausbringt.

[0040] Solche parasitären Elemente können beeinflusst werden durch eine bauliche Größe und Anordnung des mikromagnetischen Bautelements **20**. Allerdings lassen sich die parasitären Elemente reduzieren durch Miniaturisieren des mikromagnetischen Bauelements **200** unter Verwendung der Prinzipien der vorliegenden Erfindung.

[0041] Nunmehr auf Fig. 2B Bezug nehmend, ist eine Draufsicht auf ein mikromagnetisches Bauelement **250** dargestellt, wie die resultierenden B-H-Kurven für verschiedene mögliche Orientierungen eines externen Magnetfelds zeigt. Die B-H-Kurve ist eine Aufzeichnung der magnetischen Flussdichte (B) in Abhängigkeit der Magnetisierungskraft (H) für einen magnetischen Werkstoff. Wie anhand der Fig. 2A diskutiert ist, fließt der Induktionsfluss des mikromagnetischen Bauelements **200** vorherrschend entlang der Breite des ferromagnetischen Kerns. Dieser Effekt bewirkt, dass der ferromagnetische Kern aufgrund der baulichen Geometrie anisotrop ist. Die anisotrope Eigenschaft lässt sich auch während des Niederschlagungsprozesses erzeugen, wenn dieser in einem externen Magnetfeld durchgeführt wird unter Verwendung eines erregten Elektromagneten oder eine Dauermagneten. Normalerweise ist das externe Magnetfeld gleichförmig und kann in Stärken von 10–500 Oersted angelegt werden ["Oe"; 8000–40000 A/m]. Natürlich gibt es einige Fälle, in denen das Anlegen eines ungleichmäßigen externen Magnetfelds nützlich sein kann. Bei der vorliegenden Ausführungsform erzeugt die induzierte Anisotropie sowohl eine harte als auch eine weiche Achse in Verbindung mit einer minimalen bzw. maximalen Permeabilität. Darüber hinaus ist bei dieser Ausführungsform die harte Achse sowie die weiche Achse auch im Wesentlichen in Querrichtung verlaufend dargestellt. Natürlich können andere Ausführungsformen andere Orientierungen zwischen der harten und der weichen Achse verwenden.

[0042] Das mikromagnetische Bauelement **250** zeigt eine B-N-Kurve mit harter Achse **260** und einer B-H-Kurve **270** mit weicher Achse. Die Permeabilität ist proportional zur Steigung der B-H-Kurve, typischerweise definiert in der mittleren Zone der B-H-Kurve entsprechend der nicht gesättigten Betriebszone des Magnetkerns. In einigen Fällen lässt sich die Permeabilität gegenüber der harten Achse zu der weichen Achse hin um das Fünffache steigern als Ergebnis der Anisotropie. Außerdem ist eine Zwischen- oder Mittelachsen-B-N-Kurve **280** dargestellt, deren Kennlinienverlauf sich von demjenigen der harten Achse und der weichen Achse der B-N-Kurven **260**, **270** unterscheidet. Die mittlere B-H-Kurve **280** ist typisch für maßgeschneiderte B-N-Kurven, die sich während der Niederschlagung des mikromagnetischen Kerns erzeugen lassen, indem man das externe Magnetfeld in einer gewünschten Richtung orientiert.

[0043] Nunmehr auf Fig. 3 Bezug nehmend, ist dort eine Draufsicht auf eine weitere Ausführungsform eines mikromagnetischen Bauelements **300** gemäß der Erfindung dargestellt. Das mikromagnetische Bauelement **300** ist ein torusförmiger Übertrager. Das mikromagnetische Bauelement **300** enthält einen ferromagnetischen Kern **310** (in der Nähe eines Fensters **325**) sowie leitende Wicklungen (kollektiv mit **350** bezeichnet), die den ferromagnetischen Kern **310** über Zwischenschicht-Durchkontaktierungen (von denen eine mit **375** bezeichnet ist) umgeben und abgeschlossen sind von mehreren Anschlüssen **380**, **385**, **390** und **395**. Die Innenschicht-Durchkontaktierungen **375** liegen innerhalb des Fensters **325**.

[0044] Regeln bezüglich des Leitungsabstands und des Abstands zwischen den Durchkontaktierungen bestimmen die Größe des Fensters **325**. Natürlich ist im Hinblick auf zunehmend kleinere Bauelementgrößen eine kleine Fensterbemessung erstrebenswert. Die Abmessung des Fensters **325** ist allerdings begrenzt durch die Dicke des ferromagnetischen Werkstoffs, die notwendig ist, um die geforderten Induktivitätskennwerte zu erreichen. Beispielsweise wird die Induktivität eines torusförmigen Bauelements dann maximal, wenn der Torus im Großen und Ganzen kreisförmig ist. Die Induktivität wird kleiner, wenn der Torus die Form eines Quadrats hat (etwa 25% weniger), was sich zusätzlich verschlechtert, wenn das Quadrat zu einem Rechteck entartet. Die Induktivität L für einen quadratischen Torus mit einer Kernbreite für eine minimale Fensterbemessung beträgt:

$$L = \mu_0(N^2t]/4(1 + \pi)$$

wobei N die Anzahl von Windungen der leitenden Wicklungen **250** und t die Schichtdicke ist. Die Größe des Fensters **325** bestimmt sich durch die kleinste Durchkontaktierungsgröße, den Zwischenabstand der Durchkontaktierungen und deren Anzahl (bezogen auf die Anzahl von Primär- und Sekundärwindungen). Um also die Formgröße des Bauelements zu verringern, ist eine größere Kerndicke notwendig, um eine äquivalente Induktivität für einen ferromagnetischen EE-Kern gleicher Windungszahl und Kernbreite zu erreichen.

[0045] Es sei daran erinnert, dass bei einer EE-Struktur weniger Durchkontaktierungen zum Verbinden der Wicklungen erforderlich sind, was den Tipp-Raum verringert, der benötigt wird, um die Wicklungen mit dem Kern zu koppeln. Torusförmige Übertrager bieten allerdings eine relativ flache und glatte Oberfläche zum Niederschlagen des ferromagnetischen Materials und reduzieren dadurch die Ausbildung von Spannungen, die möglicherweise die magnetischen Eigenschaften des darauf niedergeschlagenen Films verschlechtern. Dies ist besonders dann wichtig, wenn das ferromagnetische Material eine hohe Magnetostriktionskonstante besitzt. Der Aufbau vom EE-Typ erfordert außerdem spezielle Maßnahmen zur Schaffung eines durchgängigen magnetischen Pfads von dem ersten Kernteil zu dem zweiten Kernteil. Erreicht wird dies durch Einbringen von Durchkontaktierungen in die zentrale Kernzone und an den beiden äußeren Kernrändern. Die Durchkontaktierungen schaffen eine Verbindung für das ferromagnetische Material in der Weise, dass der erste und der zweite Kernteil durchgängig miteinander verbunden sind. Allerdings sind die Durchkontaktierungen eine Quelle für Spannungskonzentration, die eine zusätzliche Steigungsverminderung erfordern, um akkumulierte Spannungen zu verringern.

[0046] Während der **Fig.** 2 und Fig. 3 beide das Bauelement vom EE-Typ und einen torusförmigen Übertrager zeigen (in Verbindung mit deren Vorteilen und Nachteilen), sind in dem breiten Schutzumfang der Erfindung auch andere mikromagnetische Bauelemente und deren Anwendungen enthalten (einschließlich Abwandlungen der obigen Bauelemente).

[0047] Nunmehr auf Fig. 4 Bezug nehmend, ist dort eine Querschnittansicht einer Ausführungsform einer integrierten Schaltung **400** mit einem mikromagnetischen Bauelement dargestellt, welches erfindungsgemäß ausgebildet ist. Die integrierte Schaltung **400** kann in einer Leistungsverarbeitungs-, einer Datenübertragungs- oder irgendeiner anderen Schaltung verwendet werden. Die integrierte Schaltung **400** enthält ein Substrat, beispielsweise aus Silicium, Glas, Keramik oder dergleichen) **410** mit einer Passivierungsschicht (z.B. aus Siliciumdioxid) **420**, die auf dem Substrat mittels herkömmlicher Fertigungsprozesse, beispielsweise durch thermisches Wachstum, ausgebildet ist. Die integrierte Schaltung **400** enthält weiterhin eine erste und eine zweite leitende Wicklungsschicht (bestehend beispielsweise aus Aluminium oder irgendeinem anderen leitenden Werkstoff) **440**, **460**, umgeben von einer ersten, einer zweiten und einer dritten Isolierschicht oder von Isolatoren **430**, **450** und **470**. Weiterhin enthält die integrierte Schaltung **400** einen Klebstoff (einen metallischen Klebstoff beim dargestellten Ausführungsbeispiel), der eine erste Klebstoffschicht (z.B. Chrom) **480** und eine zweite Klebstoffschicht (z.B. aus Silber) **485** enthält. Die integrierte Schaltung **400** enthält darüber hinaus einen ferromagnetischen Kern **490**. Die integrierte **400** enthält ferner mehrere Innenschicht-Durchkontaktierungen (kollektiv mit **493** bezeichnet), die mehrere Wege zwischen den Schichten der integrierten Schaltung **400** bilden, außerdem einen Anschluss **496** zur Verbindung mit einem anderen Bauelement.

[0048] Die Passivierungsschicht **420** und die erste, die zweite und die dritte Isolierschicht **430**, **450** bzw. **470** können aus einer anorganischen Verbindung, beispielsweise Siliciumdioxid, Aluminiumdioxid, Berylliumdioxid, einem organischen Polymer (z.B. einem Polyimid) oder einem anderen Isolierstoff gebildet sein. Der metallische Klebstoff ist ein Stoff auf der Basis eines anorganischen Materials, welches im Wesentlichen frei von Titan ist (etwa 70%). Während die erste Klebstoffschicht **480** im Allgemeinen Werkstoffe aus Elementen der Gruppe **4** enthält (z.B. Zirkon und Hafnium, jedoch ausschließlich etwa 70% oder mehr einer Titan-Zusammensetzung), Elementen der Gruppe **5** (z.B. Vanadium, Niob und Tantal) und Elementen der Gruppe **6** (z.B. Chrom, Molybdän und Wolfraum). Es sei angemerkt, dass die obigen Klassifizierungen von Elementen kompatibel sind mit der International Union of Pure and Applied Chemistry-Notation, die im periodischen Tabellensystem angegeben ist. Während außerdem die zweite Klebstoffschicht **485** im Allgemeinen Metalle wie Gold, Silber, Platin, Palladium und Kupfer enthält, können auch andere Werkstoffe verwendet werden, die sich zur Beschichtung eines ferromagnetischen Werkstoffs eignen; auch diese liegen im Schutzumfang der Erfindung. Der ferromagnetische Kern **490** kann aus einer Legierung (beispielsweise Permalloy® oder einer Kobalt-Eisen-Verbindung) bestehen, es sind vom Schutzumfang der Erfindung aber auch andere ferromagnetische Werkstoffe (z.B. ein amorphes Nickelphosphid) enthalten.

[0049] Wie oben erwähnt, ist es wünschenswert, mikromagnetische Bauelemente als integrierte Schaltungen auszubilden. Der Einsatz von Legierungen für den ferromagnetischen Kern **490** ist deshalb interessant, weil die relativ niedrigen Magnetostrktions-Konstanten möglicherweise die mit den Niederschlagungsverfahren einhergehenden Spannungen reduzieren. Wenn relativ hohe Spannungen mit den Niederschlagungsprozessen einhergehen, verschlechtern sich möglicherweise die magnetischen Eigenschaften der integrierten Schaltung **400**, und die Dünnschichten besitzen möglicherweise nicht die erforderlichen Klebeigenschaften, die notwendig sind, um den Niederschlag der integrierten Schaltung **400** zu erleichtern. Offensichtlich sollte ein Klebstoff verwendet werden, der dem möglichen Spannungsaufbau in den Schichten entgegenwirkt.

[0050] Es wurden zahlreiche Versuche unternommen, um einen Klebstoff zu finden, der eine sichere Grenzfläche bezüglich eines ferromagnetischen Werkstoffs und einem Isolator bildet. Wenn beispielsweise ein Metall wie Silber ausschließlich als der Klebstoff verwendet wird, ist die Grenzfläche zwischen dem ferromagnetischen Werkstoff und dem Silber stärker als die Grenzfläche zwischen Isolator und Silber. Im Ergebnis können sich dann die ferromagnetischen- und Silberschichten von dem Substrat bei einer spezifizierten Prüf-Abschälkraft abschälen (unter Verwendung einer genormten Klebefestigkeits-Auswertemethode von weniger als 1 kg/cm^2). Wenn hingegen ausschließlich Chrom als Klebstoff verwendet wird, ist die Grenzfläche zwischen Isolator und Chrom stärker als diejenige zwischen dem ferromagnetischen Werkstoff und Chrom.

[0051] Im Ergebnis können sich die Schichten aus ferromagnetischem Werkstoff und Silber bei einer spezifizierten Prüf-Abschälkraft von dem Substrat abschälen (unter Verwendung einer genormten Klebefestigkeits-Auswertemethode für weniger als 1 kg/cm^2). Darüber hinaus schafft das Chrom keine geeignete Keimschicht für den Überzug des ferromagnetischen Materials. Erfindungsgemäß wird daher ein Klebstoff (gemäß obiger Beschreibung) offenbart, der eine angemessene Bindung zwischen dem ferromagnetischen Kern **490** und den mit dem Substrat **310** gekoppelten Isolatoren **430**, **450** und **470** eingeht, um die Fertigung der integrierten Schaltung **400** zu erleichtern.

[0052] Nunmehr auf Fig. 5A Bezug nehmend, ist dort ein schematisches Diagramm einer Ausführungsform für eine Tiefpassfilterschaltung **500** dargestellt, die erfindungsgemäß ausgebildet ist. Die Tiefpassfilterschaltung **500** enthält eine erste und eine zweite mikromagnetische Induktivität **511**, **512** und einen Kondensator **513** gemäß Darstellung. Zwischen die Anschlüsse **501**, **503** kann eine Eingangsspannung Vin gelegt werden, und zwischen den Anschlüssen **502**, **503** kann man eine sich daraus ergebende Ausgangsspannung Vout feststellen. Man weiß, dass die Amplitude der Ausgangsspannung Vout frequenzabhängig ist und mit zunehmender Frequenz oberhalb einer Grenzfrequenz abnimmt, die sich durch die Werte der ersten und der zweiten mikromagnetischen Induktivität **511**, **512** und des Kondensators **513** bestimmt.

[0053] Nunmehr auf Fig. 5B Bezug nehmend, ist dort eine Querschnittansicht einer integrierten Schaltung **525** dargestellt, die eine Ausführungsform der Tiefpassfilterschaltung der Fig. 5A darstellt, aufgebaut gemäß der Lehre der vorliegenden Erfindung. Die integrierte Schaltung **525** enthält ein Substrat **538**, einen ersten, einen zweiten, einen dritten und einen vierten Isolator **539**, **540**, **541** und **542**, die über dem Substrat **538** ausgebildet sind, eine Kapazität **513** sowie ein erstes und ein zweites mikromagnetisches Bauelement **511**, **512** über dem Substrat **538**. Die Kapazität **513** enthält einen ersten und einen zweiten Kondensatorbelag **532**, **533** und eine dielektrische Schicht **534**. Das erste und das zweite mikromagnetische Bauelement **511**, **512** enthalten einen Klebstoff, bei dem es sich um einen metallischen Klebstoff aus mehreren Schichten handeln kann, ausgebildet über dem zweiten Isolator **540**, um eine Bindung zwischen dem zweiten Isolator **540** und dem ersten und dem zweiten ferromagnetischen Kern **529**, **535** gemäß den oben anhand der Fig. 4 detailliert dargelegten Prinzipien zu bilden. Der erste und der zweite ferromagnetische Kern **529**, **535** können ein Legierungsmaterial enthalten, der zweite, der dritte und der vierte Isolator **540**, **541** und **542** können ein organisches Polymer sein. Der erste Isolator **539** ist typischerweise Lithiumdioxid, und das Dielektrikum **534** ist typischerweise Siliciumnitrid. Natürlich können ggf. auch andere Kern-, Isolator- und dielektrische Werkstoffe verwendet werden.

[0054] Das erste und das zweite mikromagnetische Bauelement **511**, **512**, die elektrisch mit dem Kondensator **513** gekoppelt sind, beinhalten weiterhin eine erste und eine zweite Wicklung **530**, **536**, die in der Nähe des ersten und des zweiten ferromagnetischen Kerns **529**, **535** angeordnet sind, um diesen eine gewünschte magnetische Eigenschaft einzuprägen. Die integrierte Schaltung **525** enthält weiterhin einen ersten, einen zweiten und einen dritten Anschluss **501**, **502** und **503**, die an das erste und an das zweite mikromagnetische Bauelement **511**, **512** bzw. an den Kondensator **513** angeschlossen sind. Das erste und das zweite mikromagnetische Bauelement **511**, **512** und der Kondensator **513** sind zur Bildung einer in Fig. 5A dargestellten Tiefpassfilterschaltung **500** miteinander verbunden.

[0055] Nunmehr auf Fig. 5C Bezugnehmend, ist dort eine Draufsicht auf die integrierte Schaltung **525** gezeigt, die im Querschnitt **5B** als eine Ausführungsform der Tiefpassfilterschaltung **500** dargestellt ist. Die Draufsicht der integrierten Schaltung **525** lässt das erste und das zweite mikromagnetische Bauelement **511**, **512** und den Kondensator **513** erkennen. Die Einzelheiten der ersten und der zweiten Wicklung **35**, **536** sind deutlicher zu erkennen, da es die Verbindungen zwischen dem ersten und dem zweiten mikromagnetischen Bauelement **511**, **512** und der Kapazität **513** gibt.

[0056] Fig. 6A zeigt als schematisches Diagramm eine Hochpassfilterschaltung **600**, die nach dem Lehrer der Erfindung aufgebaut ist. Die Hochpassfilterschaltung **600** enthält einen Transistor (z.B. eine MOSFET) **610**,

eine Kapazität **611**, eine mikromagnetische Induktivität **612** und einen ersten, einen zweiten, einen dritten und einen vierten Anschluss **601**, **602**, **603** bzw. **604**. Zwischen dem ersten und dem zweiten Anschluss **601**, **602** kann eine Eingangsspannung Vin gelegt werden, und zwischen dem ersten und dem vierten Anschluss **601**, **604** kann man dann eine Frequenz empfindliche und verstärkte Ausgangsspannung Vout abgreifen. Der erste und der dritte Anschluss **601**, **603** dienen zum Verbinden einer Vorspannungsquelle mit dem MOSFET **610**. Bei einer konstanten Eingangsspannungsamplitude Vin nimmt die Ausgangsspannung Vout direkt mit der Frequenz zu, bis eine Frequenz erreicht ist, bei der die Ausgangsspannung Vout im Wesentlichen frequenzunabhängig wird. Dieser Punkt bestimmt sich durch die Werte des Kondensators **611** und der mikromagnetischen Induktivität **612**.

[0057] Fig. 6B zeigt eine Querschnittansicht einer integrierten Schaltung **625** als eine Ausführungsform der in Fig. 6A aufgebauten Hochpassfilterschaltung **600**, aufgebaut gemäß der Lehre der vorliegenden Erfindung. Die integrierte Schaltung **625** enthält ein Substrat **638**, einen ersten, einen zweiten, einen dritten und einen vierten Isolator **639**, **640**, **641**, **642** über dem Substrat **638**, einen MOSFET **610**, eine Kapazität **611** und eine mikromagnetische Induktivität **612**, ebenfalls über dem Substrat **638** ausgebildet. Der MOSFET **610** enthält eine Source-Zone **629**, eine Drain-Zone **630** und eine Gate-Zone **631**. Die Kapazität **611** enthält einen ersten und einen zweiten Kondensatorbelag **632**, **533** und eine dielektrische Schicht **634**. Die mikromagnetische Induktivität **612** enthält einen Klebstoff, bei dem es sich um einen metallischen Klebstoff aus mehreren Schichten handeln kann, ausgebildet über dem zweiten Isolator **640**, um eine Bindung zwischen dem zweiten Isolator **640** und dem ferromagnetischen Kern **635** gemäß der Lehre der Erfindung zu bilden. Der ferromagnetische Kern **635** kann ein Legierungsmaterial enthalten, und der zweite, der dritte und der vierte Isolator **640**, **641**, **642** können ein organisches Polymer aufweisen. Der erste Isolator **639** ist typischerweise Siliciumdioxid, das Dielektrikum **634** ist typischerweise Siliciumnitrid. Natürlich können bedarfsweise auch andere Werkstoffe für den Kern, den Isolator und das Dielektrikum eingesetzt werden.

[0058] Die mikromagnetische Induktivität **612**, die elektrisch mit dem MOSFET **610** und dem Kondensator **611** gekoppelt ist, enthält weiterhin eine in der Nähe des ferromagnetischen Kerns **635** gelegene Wicklung **636**, um eine gewünschte magnetische Eigenschaft zu erbringen. Die integrierte Schaltung **625** enthält außerdem einen ersten, einen zweiten, einen dritten und einen vierten Anschluss **601**, **602**, **603**, **604**, die mit dem MOSFET **610**, dem Kondensator **611** und der mikromagnetischen Induktivität **612** in der dargestellten Weise gekoppelt sind. Der MOSFET **610**, der Kondensator **611** und die mikromagnetische Induktivität **612** sind untereinander zur Bildung der in Fig. 6A dargestellten Hochpassfilterschaltung **600** verbunden.

[0059] Fig. 7A zeigt ein schematisches Diagramm einer Bandpassfilterschaltung **700** gemäß der Erfindung. Bei dieser Ausführungsform enthält die Bandpassfilterschaltung **700** eine mikromagnetische Induktivität **705** und einen Kondensator **710**, die in der dargestellten Weise eine Parallelschaltung bilden. Eine Ausgangsspannung Vout ist eine frequenzabhängige Funktion der eigenen Spannung Vin. Bei einer konstanten Eingangsspannungsamplitude von Vin besitzt die Ausgangsspannung Vout eine Spitzenamplitude bei einer Frequenz, die sich durch die Werte der mikromagnetischen Induktivität **705** und der Kapazität **710** bestimmt. Weitere Ausführungsformen können einen Transistor und andere Schaltungselemente enthalten. Diese Ausführungsform sowie weitere Ausführungsformen lassen sich in ähnlicher Weise wie die in Fig. 5B oder wie die in Fig. 6B dargestellte integrierte Schaltung aufbauen, die oben beschrieben wurden.

[0060] Fig. 7B zeigt ein schematisches Diagramm einer Sperrfilter- oder Kerbfilterschaltung **750** gemäß der Erfindung. Die Kerbfilterschaltung **750** enthält einen ersten und einen zweiten Kondensator **760**, **780** und eine mikromagnetische Induktivität **770**. Eine Ausgangsspannung Vout ist eine frequenzabhängige Funktion einer Eingangsspannung Vin. Bei konstanter Amplitude der Eingangsspannung Vin fällt die Ausgangsspannung Vout bei einer Frequenz auf einen Minimumwert, die sich durch die Werte des ersten und des zweiten Kondensators **760**, **780** und den Wert der mikromagnetischen Induktivität **770** bestimmt. Weitere Ausführungsformen können einen Transistor oder andere Schaltungselemente enthalten. Diese Ausführungsform und weitere Ausführungsformen lassen sich in ähnlicher Weise ausbilden wie die integrierte Schaltung **525** nach Fig. 5B oder die integrierte Schaltung **626** nach Fig. 6B, die oben beschrieben wurden.

[0061] **Fig.** 8 zeigt ein Flussdiagramm einer Ausführungsform eines Verfahrens (allgemein mit **800** bezeichnet) zum Fertigen der integrierten Schaltung **625** nach Fig. 6B. Teile des Fertigungsverfahrens für die integrierte Schaltung **625** sind analog den herkömmlichen Silicium-Silicium-Mehrfachchip-Modul-Prozessen [Silicon-on-Silicon MCMs with Integrated Passive Components, von R.C. Frye et al., Proc. 1992 IEEE Multi-Chip Module Conference, S. 155, Santa Cruz, Ca. (März 1992)] mit den folgenden Abwandlungen: Im Allgemeinen dient ein fotolithografischer Prozess unter Einsatz von Fotoresistmaterial dazu, die geometrischen Merkmale der integrierten Schaltung gemäß einer 10–20 μm betragenden Entwurfsregel zu definieren. Während die Re-

gel relativ grob ist, ist es angemessen für die Fertigung von Bauelementen wie die integrierte Schaltung **525**, da die Hauptabmessungen Vielfache der 10–20 µm betragenden Grundabmessung sind. Das fotolithografische Verfahren beinhaltet grundsätzlich die Schritte des Belichtens und des Entwickelns des Fotoresistmaterials. Der fotolithografische Prozess beinhaltet außerdem das Ätzen und Abstreifen unerwünschter Bereiche des Materials, bei denen der Prozess angewendet wird. Der Fachmann ist mit den herkömmlichen fotolithografischen Verfahren vertraut.

[0062] Das Verfahren beginnt beim Startschritt **801** mit einem Siliciumsubstrat. Es werden Source- und Drain-Zonen für den MOSFET **610** in einem Diffusionsschritt **805** für Source und Drain in das Siliciumsubstrat eindiffundiert. Diese Diffusionszonen sind vom n-Typ und erfordern ein p-Substrat für die in Fig. 6A dargestellte MOSFET-Polarität. Natürlich können die Polaritäten umgekehrt werden, wenn eine entgegengesetzte MOSFET-Polarität erwünscht ist. Anschließend werden in einem Kontaktbildungsschritt **810** Kontakte für Source und Drain gebildet. Das Siliciumsubstrat wird mit einer Passivierungsschicht im Oxidationsschritt **820** oxidiert. Die Passivierungsschicht wird im Allgemeinen mit Hilfe des herkömmlichen thermischen Wachstumverfahrens erzeugt oder durch chemisches Niederschlagen aus der Dampfphase. Natürlich kann das Substrat ein Rohling sein, es kann sich aber auch um einem vorgefertigten Wafer mit einer unten liegenden Schaltungsanordnung und einer abschließenden Passivierung handeln. Als Nächstes wird im Gate-Niederschlagungsschritt **822** ein Gate für das MOSFET niedergeschlagen. Dann wird für den Kondensator ein erster Kondensatorbelag in einem Schritt **824** zum Niederschlagen des ersten Kondensatorbelags gebildet. Die integrierte Schaltung **625** verwendet eine Torusstruktur für das mikromagnetische Bauelement mit mehreren Schichten. Dann wird eine erste leitende Wicklungsschicht als Decke aus dem Substrat in dem Schritt **830** zum Niederschlagen der ersten leitenden Wicklungsschicht erzeugt. Diese erste leitende Wicklungsschicht kann sich aus Aluminium zusammensetzen und eine Dicke von etwa 2–10 µm aufweisen, die aufgestäubt oder aufgedampft sind (z.B. bei einem Argon-Druck von 5 mTorr und bei Zimmertemperatur) auf der Passivierungsschicht. Bei dickeren Leitungspfaden (um einen geringeren Widerstand zu erzielen) kann galvanisiertes Kupfer verwendet werden, was zu einer Dicke von etwa 25 µm führt.

[0063] Dann wird ein Kontakt für das Gate in einem Gatekontakt-Bildungsschritt **823** erzeugt, und es wird ein Kontakt für den ersten Kondensatorbelag in einem Kontaktbildungsschritt **825** für den ersten Kondensatorbelag erzeugt. Die erste leitende Wicklungsschicht wird anschließend als Muster in die gewünschte Konfiguration gebracht (einschließlich der zu bildenden Kontaktzonen für die entwickelte Schaltung), wozu von einem konventionellen Fotolithografieverfahren im Rahmen eines Kantaktbildungsschritts für die erste leitende Wicklungsschicht **835** Gebrauch gemacht wird. Natürlich kann auch eine weitere Kontaktzone in der ersten leitenden Wicklungsschicht erzeugt werden, um die elektrische Verbindung mit anderen an das Substrat gekoppelten Schaltungen je nach Bedarf zu erleichtern.

[0064] Eine dielektrische Schicht für den Kondensator wird anschließend in einem Niederschlagungsschritt **826** zum Niederschlagen der dielektrischen Schicht gebildet. Die dielektrische Schicht setzt sich typischerweise zusammen aus Siliciumnitrid, wobei allerdings auch andere Werkstoffe geeignet sein können. Die erste Isolierschicht kann anschließend auf die Passivierungsschicht, vorhandene MOSFET- und Kondensatorstrukturen und die erste leitende Wicklungsschicht während eines Niederschlagungsschritts **840** durch Spin-Coating aufgebracht werden. Die erste Isolierschicht wird dann aufgehärtet (bei etwa 350°C während etwa 12 h). Nach dem Schrumpfen ist die Isolierschicht etwa 3–5 µm dick. Die Spin-Coating-Methoden sehen im Allgemeinen eine höhere Spannungsisolierung vor zwischen der primären und der sekundären Wicklung des mikromagnetischen Bauelements. Die Spannungs-Durchbruchwerte für die Isolierung schwanken von 500 V Wechselstrom ("VAC") bis 3000 VAC. Die erste Isolierschicht wird anschließend mit Hilfe eines herkömmlichen Fotolithografieverfahrens zur Bildung von Innenschicht-Durchkontaktierungen mit Muster versehen.

[0065] Anschließend wird in einem Niederschlagungsschritt **842** eine zweite Kondensatorplatte niedergeschlagen, und es wird der metallische Klebstoff, der die erste und die zweite Klebstoffschicht bildet, als Decke auf die erste Isolierschicht niedergeschlagen, was in einem Metallklebstoffschicht-Auftragschritt **850** geschieht. Die erste Klebstoffschicht kann sich zusammensetzen aus Chrom, welches durch Sputtern (beispielsweise bei 250°C und einem Argon-Druck von 5 mTorr) mit einer Dicke von etwa 250Å auf die erste Isolierschicht niedergeschlagen wird. Die zweite Klebstoffschicht kann sich aus Silber zusammensetzen, durch Sputtern (beispielsweise bei 5 mTorr Argon-Druck und Zimmertemperatur) mit einer Dicke von etwa 500Å auf der ersten Klebstoffschicht aufgetragen. Der metallische Klebstoff dient auch als Keimschicht für die Plattierung des ferromagnetischen Kerns.

[0066] An der zweiten Kondensatorplatte wird in eine Kontaktbildungsschicht **844** ein Kontakt gebildet, und es wird der ferromagnetische Kern (beispielsweise durch Elektroplattierung) mit einer Dicke von etwa 2–12 µm)

während eines Niederschlagungsschritts **860** auf dem metallischen Klebstoff niedergeschlagen. Der ferromagnetische Kern kann in einem gepufferten Sulfamat-Bad bei gesteuerter Temperatur (z.B. 25–35°C) bei einer Stromdichte von etwa 30 mA/cm^2 plattiert werden. Der metallische Klebstoff und der ferromagnetische Kern werden mit einem Muster in die gewünschte Konfiguration gebracht, wozu von einem Fotolithografieverfahren Gebrauch gemacht wird.

[0067] Was den Fotolithografieprozess angeht, so sollten die Ätzlösungen in der Lage sein, den unerwünschten metallischen Klebstoff (beispielsweise die Zusammensetzung aus Chrom und Silber) zu beseitigen, ohne dabei den niedergeschlagenen ferromagnetischen Film anzugreifen. Beispielsweise ätzt eine handelsübliche Ätzlösung mit einer Cer-Ammoniumnitrat-Formulierung (CAN) das Silber mit einer Geschwindigkeit von etwa 50 Å/s und ätzt das Chrom mit einer Geschwindigkeit von 250 Å/min, ohne das ferromagnetische Material nennenswert zu beeinträchtigen. Mit einem CAN-Ätzmittel, das während etwa 60–75 s angewendet wird, lässt sich der metallische Klebstoff sowie der ferromagnetische Kern angemessenerweise mit einem Muster versehen. Auch hier wird die erste Klebstoffschicht (beispielsweise Chrom) vorzugsweise in einem Bereich von 200–300 (Nennwert 250) Å niedergeschlagen, und die zweite Klebstoffschicht (z.B. Silber) wird vorzugsweise in einem Bereich von 400–600 (Nennwert 500) Å niedergeschlagen, um den Ätzvorgang leichter steuern zu können.

[0068] Um außerdem eine mögliche seitliche Ätzung und eine Unterschneidung unterhalb des ferromagnetischen Kerns zu vermeiden, kann die zweite Klebstoffschicht aus Kupfer bestehen. In diesem Fall kann Kaliumiodid mit einer Wasserlösung etwa 10 s aufgebracht werden, um die Kupferätzung durchzuführen, und man kann eine Lösung aus Kaliumferricyanid und Kaliumhydroxid 1–2 s auftragen, um eine Chromätzung vorzunehmen. Die Lösung aus Kaliumferricyanid und Kaliumhydroxid hat keinen nennenswerten abträglichen Einfluss auf die Kupferschicht unterhalb des ferromagnetischen Kerns und verhindert damit mögliche Unterschneidungen. Natürlich können auch andere Ätzprozesse (beispielsweise Ionenätzen) im Rahmen der Erfindung eingesetzt werden. Außerdem kann ein äußeres Magnetfeld, wie es in **Fig. 2B** dargestellt ist, während des Schritts **860** des Niederschlagens des ferromagnetischen Kerns angelegt werden, um eine maßgeschneiderte B-H-Kurve zu erreichen und damit beispielsweise eine spezifische Permeabilität.

[0069] Die zweite Isolierschicht wird auf dem ferromagnetischen Kern und der ersten Isolierschicht während eines Schritts **870** zum Niederschlagen der zweiten Isolierschicht aufgebracht. Die zweite Isolierschicht wird dann mittels eines Fotolithografieverfahrens zur Bildung von Innenschicht-Durchkontaktierungen mit Muster versehen. Die zweite leitende Wicklungsschicht wird anschließend als Decke auf die zweite Isolierschicht aufgebracht (beispielsweise durch Sputtern), was während eines Niederschlagungsschritts **880** für die zweite leitende Wicklungsschicht geschieht. Die zweite leitende Wicklungsschicht wird anschließend zu einer gewünschten Konfiguration mit einem Muster ausgebildet (einschließlich der gewünschten Kontaktzonen), was mit Hilfe eines Fotolithografieverfahrens geschieht. Sodann wird die dritte Isolierschicht auf der zweiten leitenden Wicklungsschicht und der zweiten Isolierschicht durch Spin-Coating während eines Schritts **890** zum Aufbringen der dritten Isolierschicht aufgebracht. Schließlich werden an der dritten Isolierschicht während eines Anschlussbildungsschritts **895** Anschlüsse gebildet. Die Anschlüsse sind entweder für ein Drahtbonden (beispielsweise Aluminium-Drahtbonden) geeignet, oder können mit einem durch Lot benetzbaren Metall (z.B. Chrom) unter Einsatz von Lotpasten für Flip-Chip-Anordnung gemäß **Fig. 6B** fertiggestellt werden. Das Verfahren schließt ab mit einem Ende-Schritt **899**. Dann wird ein vollständiger Wafer als integrierte Schaltung mit einem Gehäuse versehen oder wird als blankes Blättchen in Flip-Chip-Anordnungen eingesetzt.

[0070] Zum besseren Verständnis von integrierten Schaltungen und Fertigungsverfahren für solche Schaltungen wird verwiesen auf das Handbook of Sputter Deposition Technology von K. Wasa und S. Hayakawa, Noyes Publications (1992); Thin Film Technology von R. W. Berry, P. M. Hall und M. T. Harris, Van Nostrand (1968); Thin Film Processes von J. Vossen und W. Kern, Academic (1978); und Handbook of Thin Film Technology von L. Maissel und R. Glang, McGraw Hill (1970). Was allgemeine Elektronik einschließlich Datenübertragungssysteme angeht, wird verwiesen auf Reference Data for Engineers: Radio, Electonics, Computers and Communications, 7. Ausgabe, Howard W. Sams & Company (1988) sowie Leistungselektronik, magnetische Leistungsbauelemente sowie Leistungswandlertopologien gemäß Principles of Power Electronics von J. Kassakian, M. Schlecht, Addison-Wesley Publishing Company (**1991**).

Patentansprüche

1. Integrierte Schaltung (**525**), umfassend:
ein Substrat (**538**);
einen über dem Substrat (**538**) gebildeten Isolator (**539**);
eine über dem Substrat (**538**) gebildete Kapazität (**513**);

einen über dem Isolator (**539**) gebildeten Klebstoff; und
ein mikromagnetisches Bauelement (**511**), welches aufweist:
einen ferromagnetischen Kern (**529**), der über dem Klebstoff ausgebildet ist, welcher eine Bindung zwischen dem Isolator (**539**) und dem ferromagnetischen Kern (**529**) schafft, um den ferromagnetischen Kern (**529**) an dem Substrat (**438**) festzulegen, und
mindestens eine Wicklung (**530**), die in der Nähe des ferromagnetischen Kerns (**529**) angeordnet ist, um dem ferromagnetischen Kern eine gewünschte magnetische Eigenschaft zu verleihen, wobei das mikromagnetische Bauelement (**511**) elektrisch mit der Kapazität (**513**) gekoppelt ist.

2. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, bei der das mikromagnetische Bauelement ausgewählt ist aus folgender Gruppe:
eine Induktivität, und
ein Übertrager.

3. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, bei der die integrierte Schaltung ein Bauelement ist, welches aus folgender Gruppe ausgewählt ist:
ein Bandpassfilter,
ein Tiefpassfilter,
ein Kerbfilter, und
ein Hochpassfilter.

4. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, weiterhin umfassend einen Transistor, der auf dem Substrat ausgebildet und elektrisch mit dem mikromagnetischen Bauelement gekoppelt ist.

5. Integrierte Schaltung nach Anspruch 4, bei der die Schaltung aus folgender Gruppe ausgewählt ist:
eine HF-Schaltung,
eine Motorsteuerschaltung,
eine Datenübertragungsschaltung, und
eine Leistungsverarbeitungsschaltung.

6. Integrierte Schaltung nach Anspruch 4, bei der Transistor ein Metalloxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor (MOSFET) ist.

7. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, bei der der Klebstoff ein metallischer Klebstoff ist.

8. Integrierte Schaltung nach Anspruch 7, bei der der metallische Klebstoff mehrere Schichten umfasst.

9. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, bei der der ferromagnetische Kern ein Legierungsmaterial enthält.

10. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, bei der der Isolator ein organisches Polymer enthält.

11. Verfahren zum Herstellen einer integrierten Schaltung (**525**), umfassend:
Bereitstellen eines Substrats (**538**);
Ausbilden eines Isolators (**539**) über dem Substrat (**538**);
Ausbilden einer Kapazität (**513**) über dem Substrat (**538**);
Ausbilden eines Klebstoffs über dem Isolator (**539**); und
Ausbilden eines mikromagnetischen Bauelements (**511**) durch:
Bilden eines ferromagnetischen Kerns (**529**) über dem Klebstoff, wobei der Klebstoff eine Bindung zwischen dem Isolator (**539**) und dem ferromagnetischen Kern (**529**) schafft, um den ferromagnetischen Kern (**529**) an dem Substrat (**538**) zu fixieren,
einer Wicklung (**530**) in der Nähe des ferromagnetischen Kerns (**529**), um diesem eine gewünschte magnetische Eigenschaft zu verleihen, wobei das mikromagnetische Bauelement (**511**) elektrisch mit der Kapazität (**519**) gekoppelt ist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem das mikromagnetische Bauelement ausgewählt ist aus der Gruppe:
eine Induktivität, und
ein Übertrager.

13. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem die integrierte Schaltung ein Bauelement ist, welches aus folgender Gruppe ausgewählt ist:
ein Bandpassfilter,
ein Tiefpassfilter,
ein Kerbfilter, und
ein Hochpassfilter.

14. Verfahren nach Anspruch 11, weiterhin umfassend einen Transistor auf dem Substrat, welcher elektrisch mit dem mikromagnetischen Bauelement gekoppelt ist.

15. Verfahren nach Anspruch 14, bei der die Schaltung aus folgender Gruppe ausgewählt ist:
eine HF-Schaltung,
eine Motorsteuerschaltung,
eine Datenübertragungsschaltung, und
eine Leistungsverarbeitungsschaltung.

16. Verfahren nach Anspruch 14, bei der Transistor ein Metalloxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor (MOSFET) ist.

17. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem der Klebstoff ein metallischer Klebstoff ist.

18. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem der metallische Klebstoff mehrere Schichten umfasst.

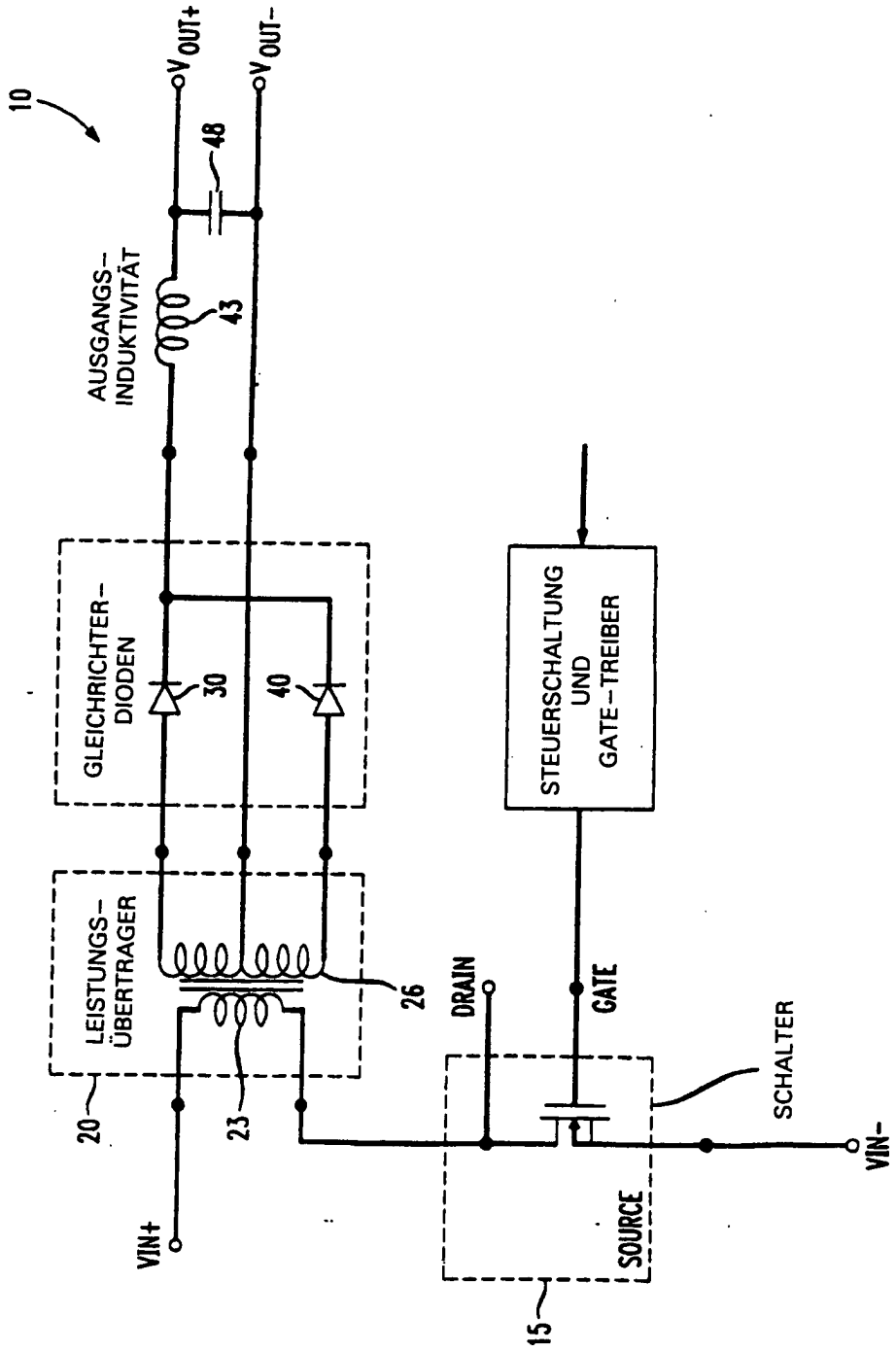
19. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem der ferromagnetische Kern ein Legierungsmaterial enthält.

20. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem der Isolator ein organisches Polymer enthält.

Es folgen 13 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1A



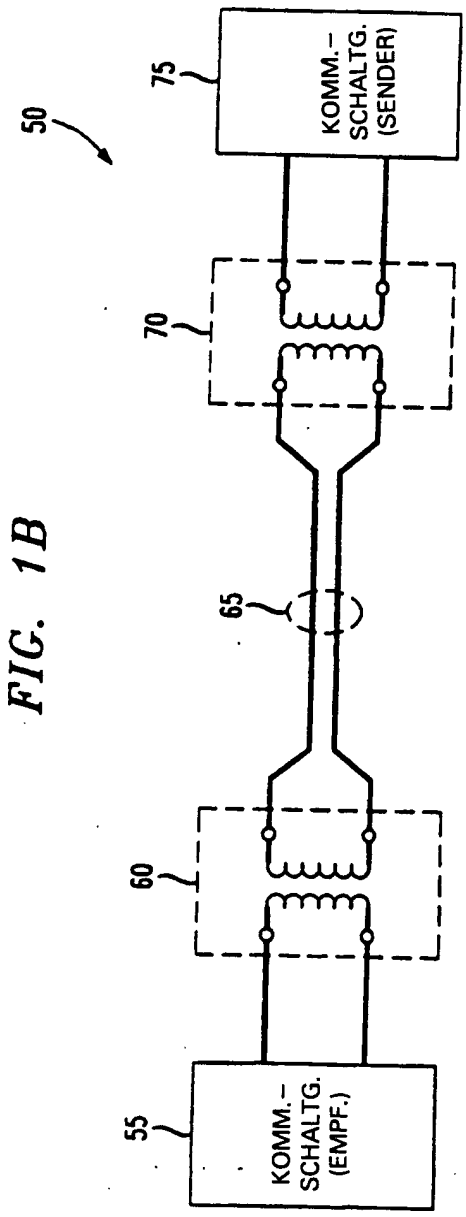


FIG. 1B

FIG. 1C

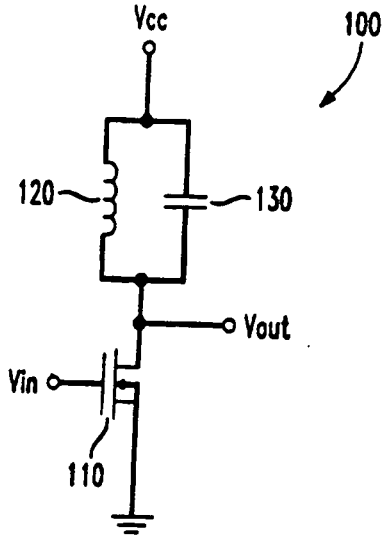

Vcc
100
120
130
Vout
Vin
110

FIG. 1D

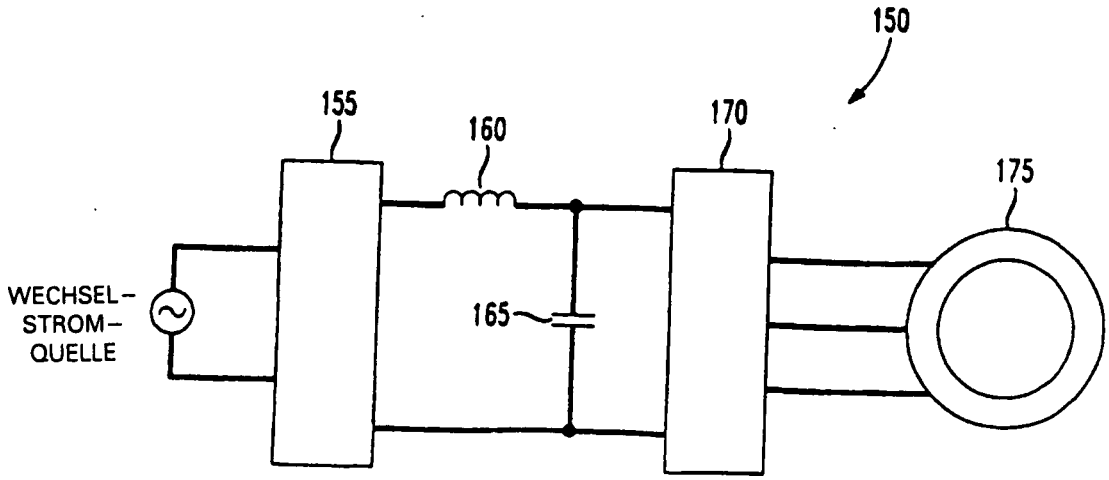

150
155
160
170
175
WECHSEL-
STROM-
QUELLE
165

FIG. 2A

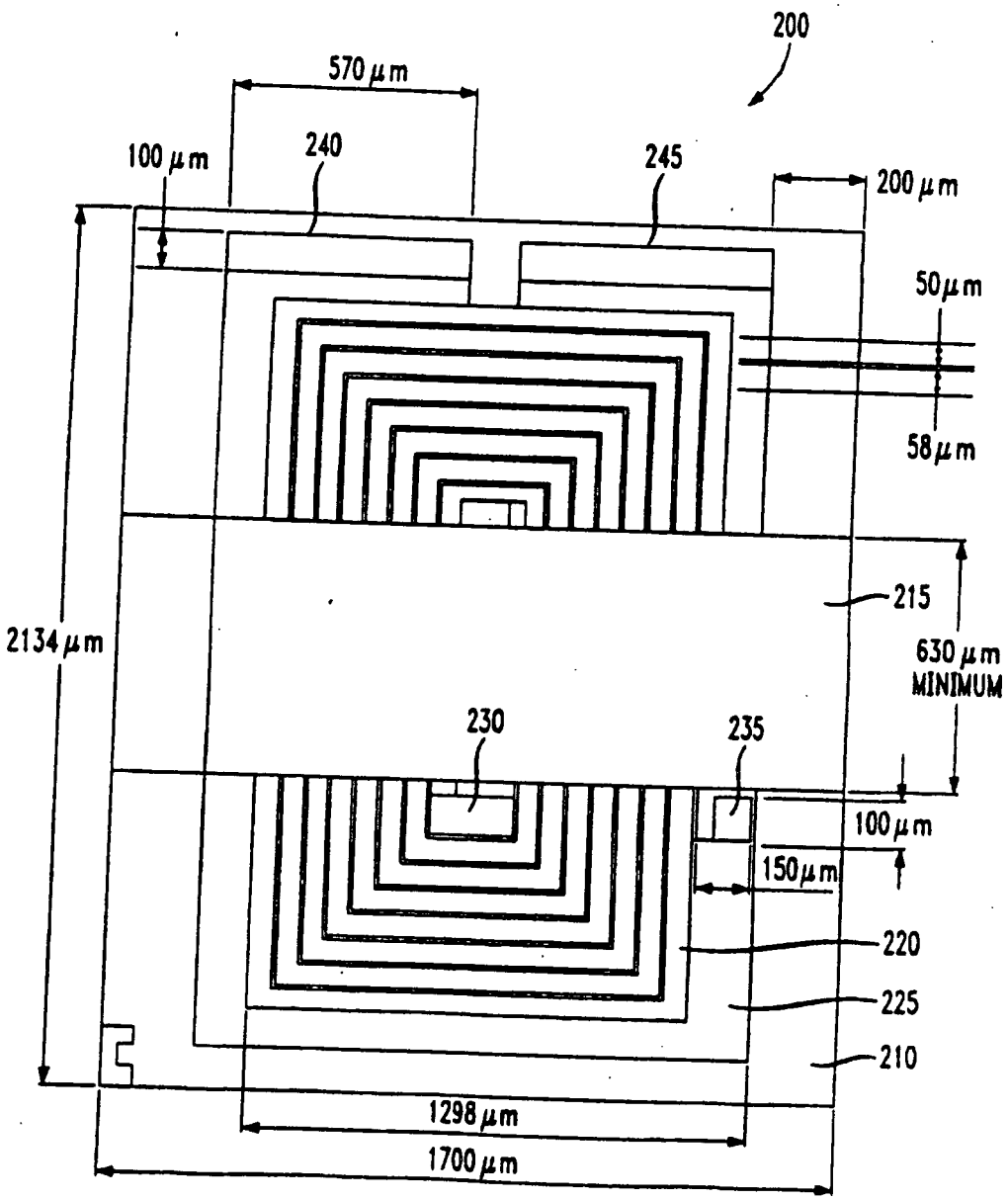

200
570 µm
100 µm
240
245
200 µm
50 µm
58 µm
215
2134 µm
630 µm
MINIMUM
230
235
100 µm
150 µm
220
225
210
1298 µm
1700 µm

FIG. 2B

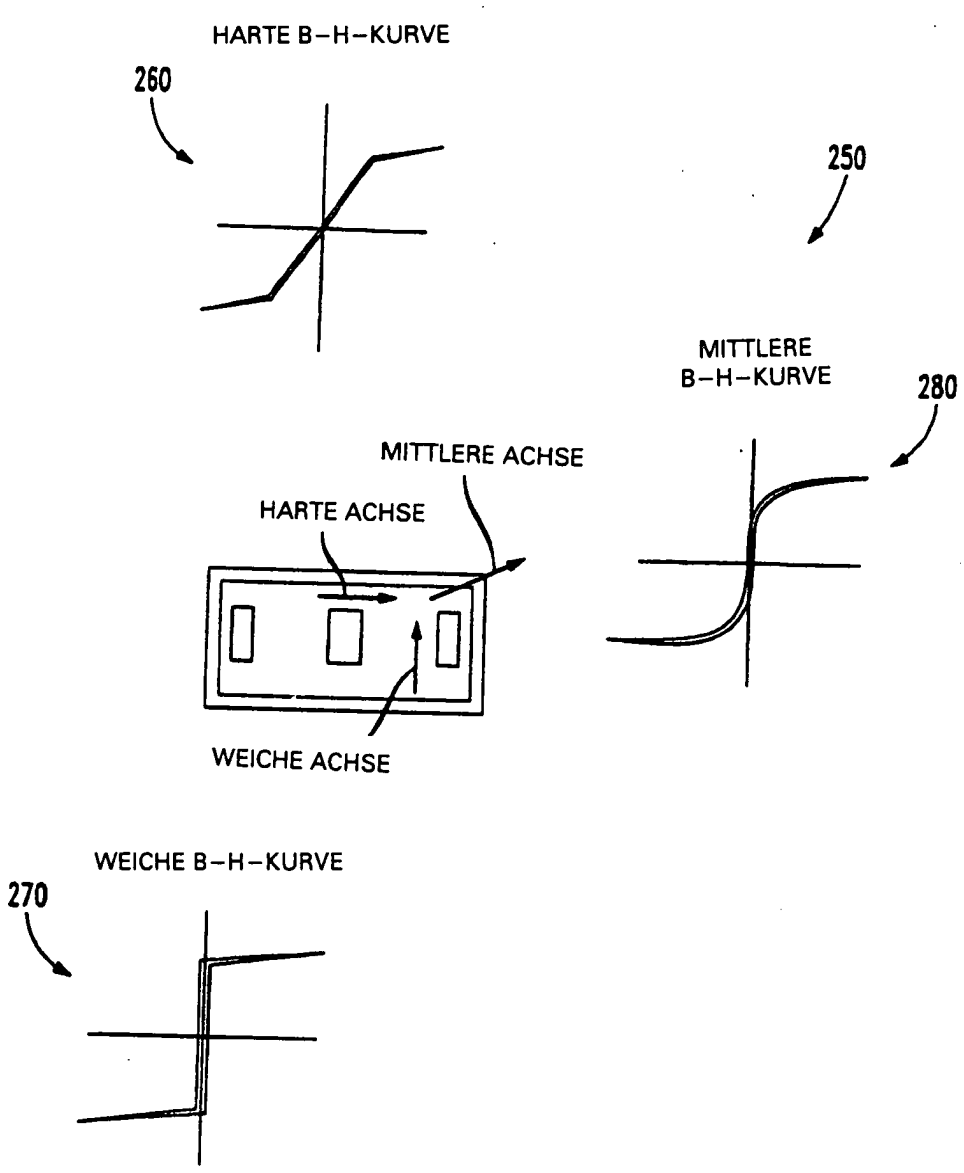

HARTE B–H–KURVE
260
250
MITTLERE
B–H–KURVE
280
MITTLERE ACHSE
HARTE ACHSE
WEICHE ACHSE
WEICHE B–H–KURVE
270

FIG. 3

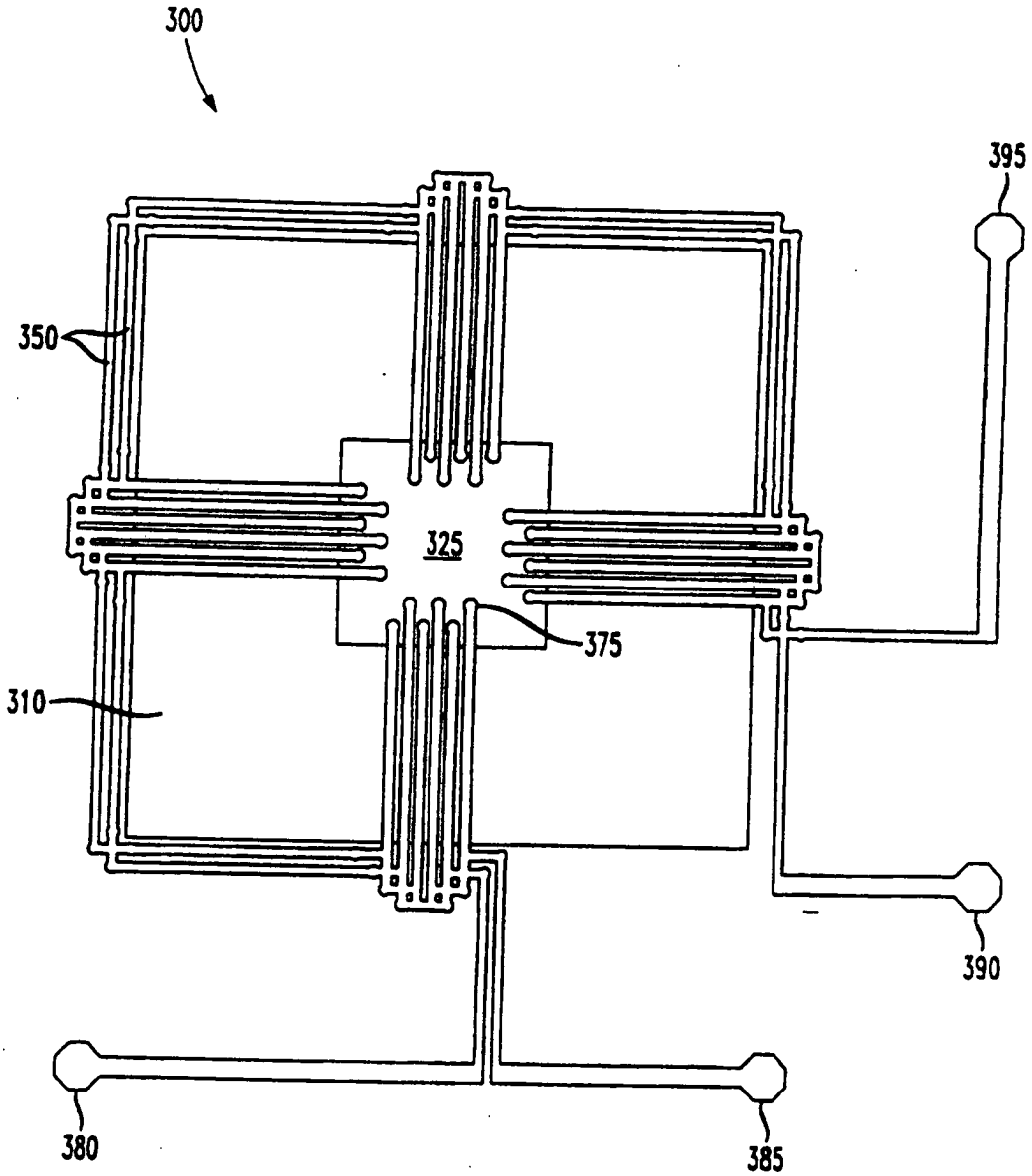


FIG. 4

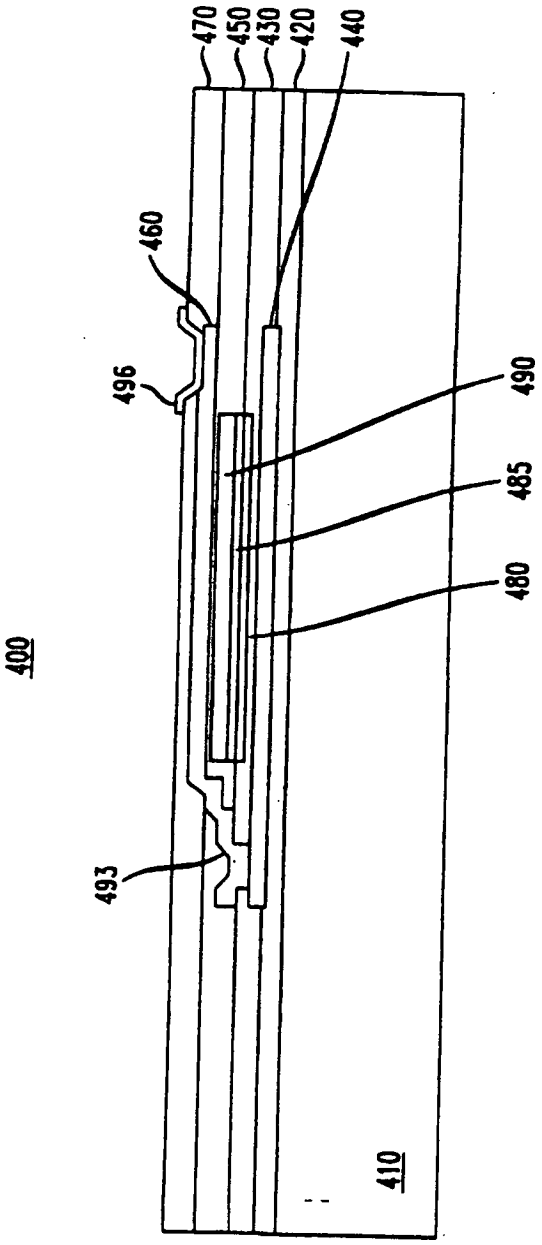


FIG. 5A

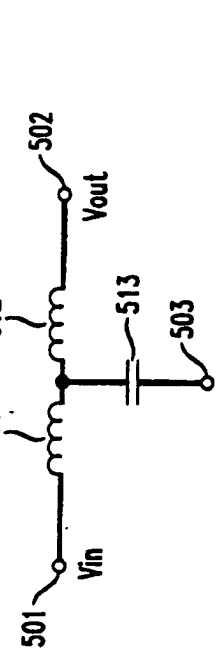

500
502
Vout
513
503
512
511
Vin
501

FIG. 5B

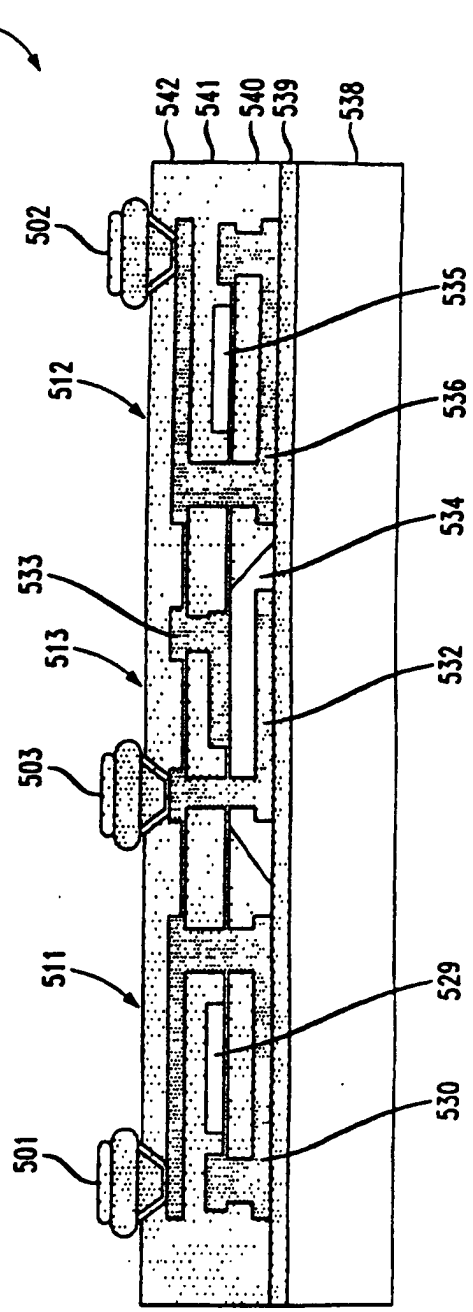

525
542
541
540
539
538
502
535
512
536
534
533
513
532
503
511
529
530
501

FIG. 5C

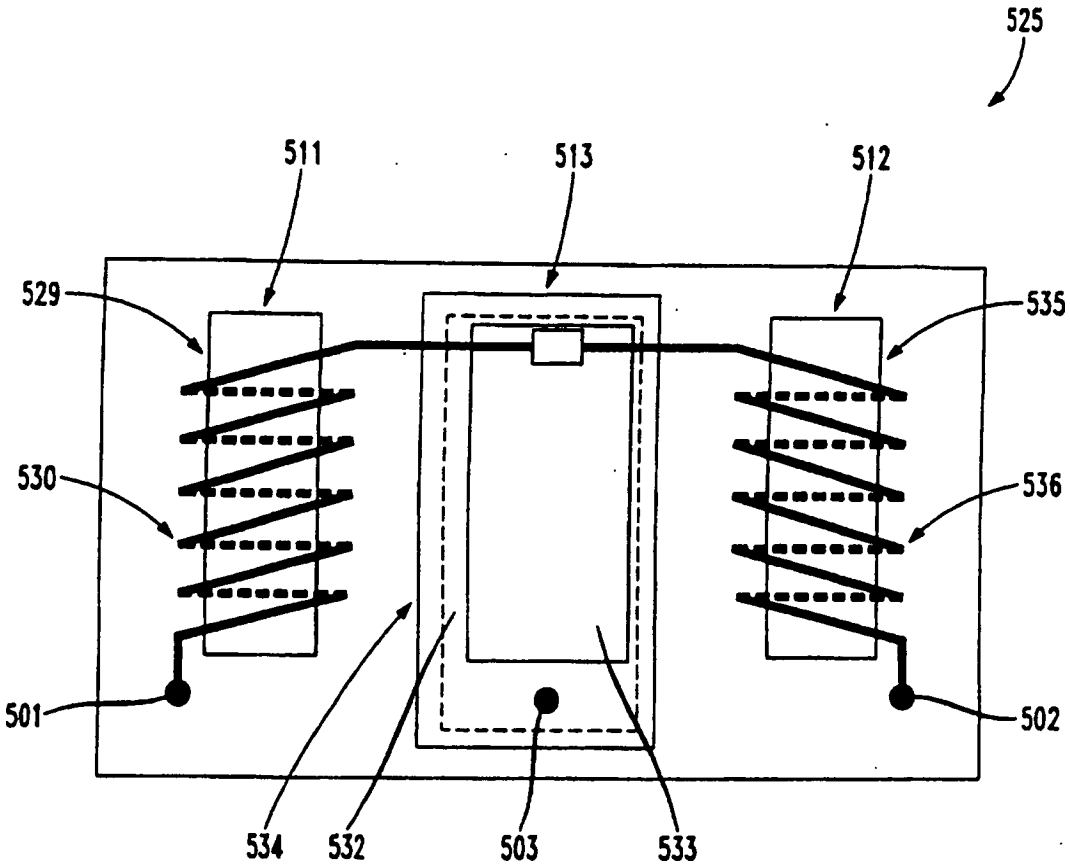


FIG. 6A

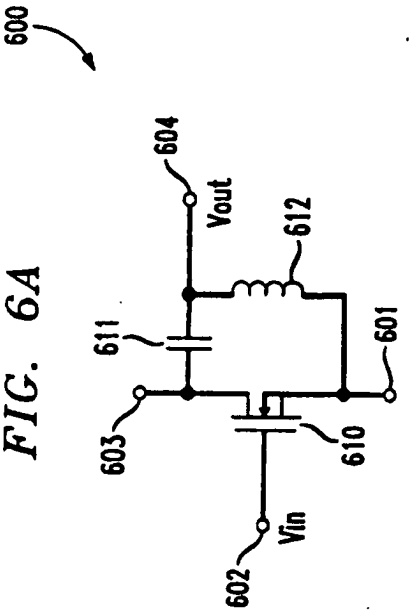

600
604
Vout
612
611
601
603
610
Vin
602

FIG. 6B

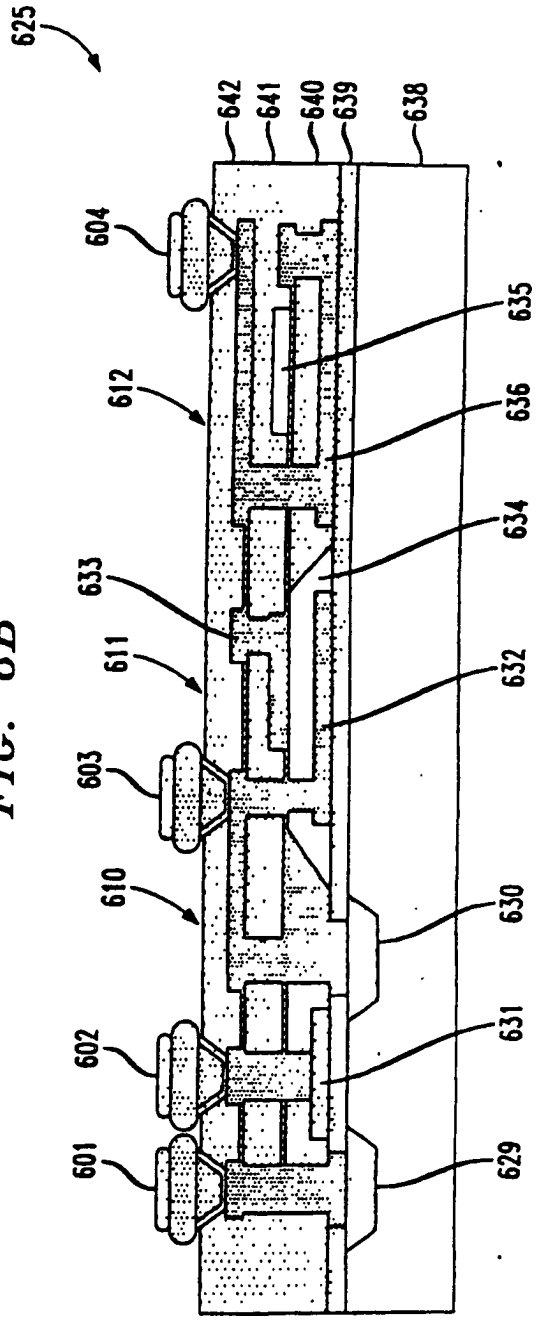

625
642
641
640
639
638
604
635
612
636
634
633
611
632
603
610
630
602
631
601
629

FIG. 7A

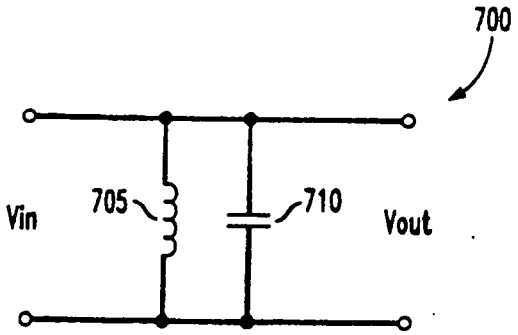


FIG. 7B

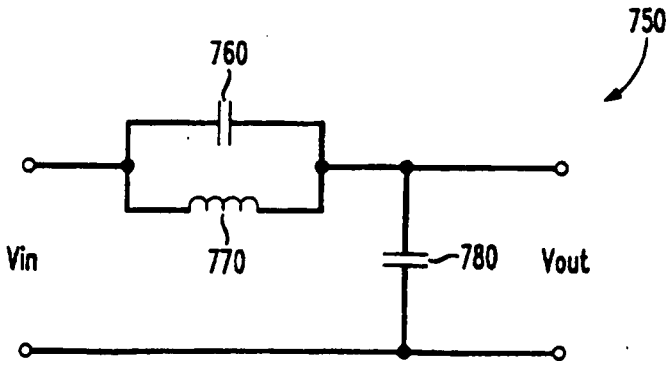


FIG. 8A

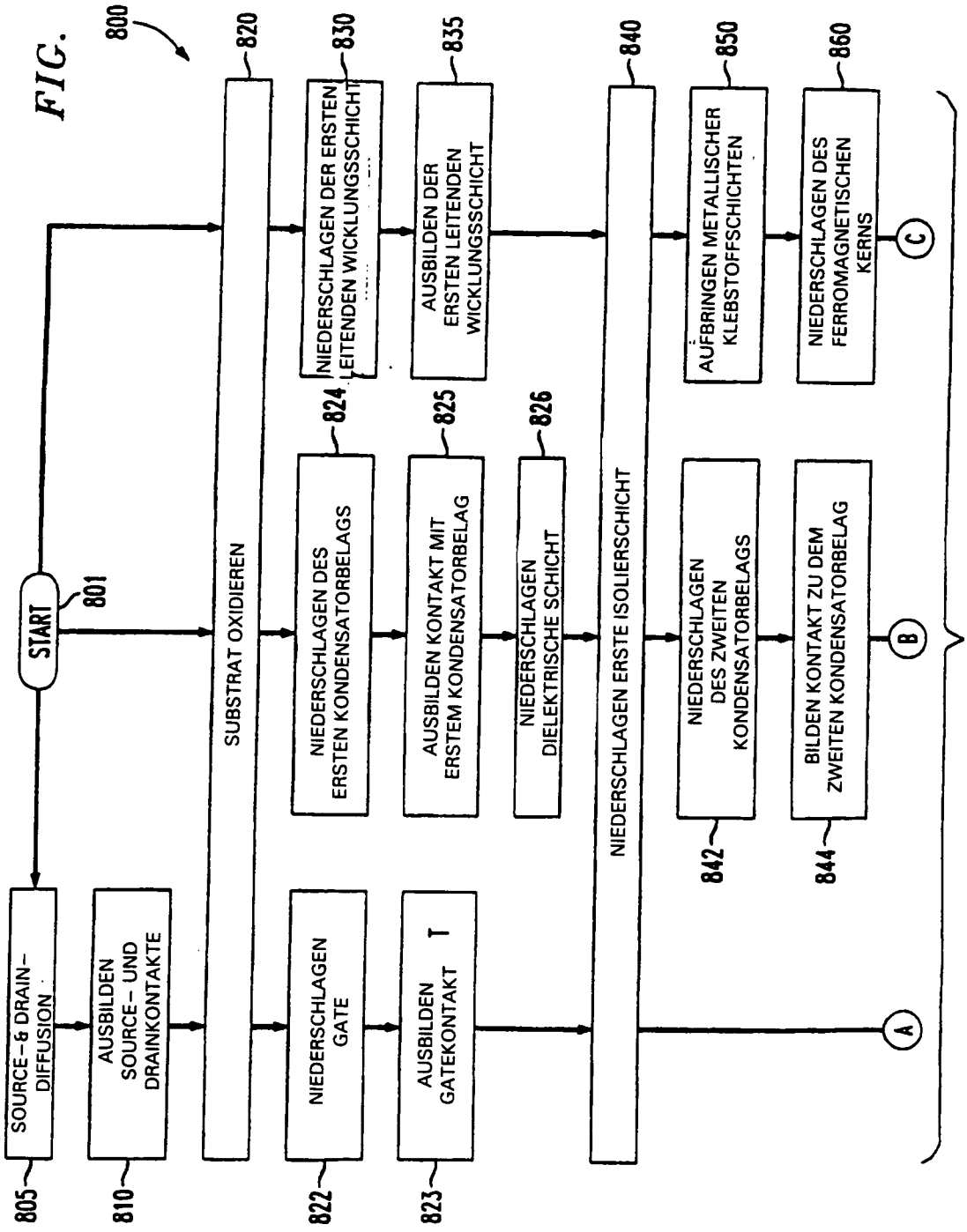
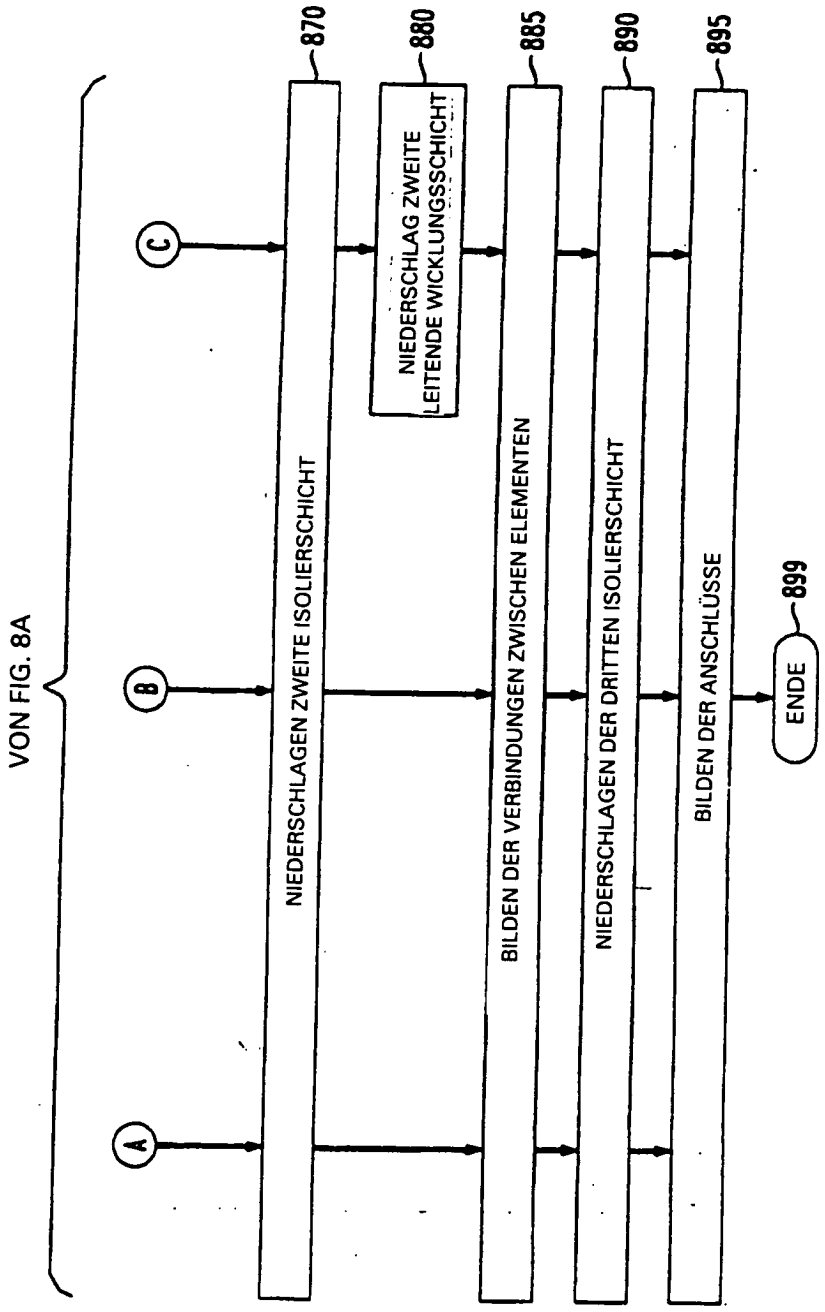

800
START
801
SOURCE- & DRAIN-DIFFUSION
805
AUSBILDEN SOURCE- UND DRAINKONTAKTE
810
SUBSTRAT OXIDIEREN
820
NIEDERSCHLAGEN GATE
822
AUSBILDEN GATEKONTAKT
823
NIEDERSCHLAGEN DES ERSTEN KONDENSATORBELAGS
824
AUSBILDEN KONTAKT MIT ERSTEM KONDENSATORBELAG
825
NIEDERSCHLAGEN DIELEKTRISCHE SCHICHT
826
NIEDERSCHLAGEN DER ERSTEN LEITENDEN WICKLUNGSSCHICHT
830
AUSBILDEN DER ERSTEN LEITENDEN WICKLUNGSSCHICHT
835
NIEDERSCHLAGEN ERSTE ISOLIERSCHICHT
840
NIEDERSCHLAGEN DES ZWEITEN KONDENSATORBELAGS
842
BILDEN KONTAKT ZU DEM ZWEITEN KONDENSATORBELAG
844
AUFBRINGEN METALLISCHER KLEBSTOFFSCHICHTEN
850
NIEDERSCHLAGEN DES FERROMAGNETISCHEN KERNS
860
A
B
C
TO FIG. 8B

FIG. 8B


VON FIG. 8A
A
B
C
NIEDERSCHLAGEN ZWEITE ISOLIERSCHICHT
870
NIEDERSCHLAG ZWEITE LEITENDE WICKLUNGSSCHICHT
880
BILDEN DER VERBINDUNGEN ZWISCHEN ELEMENTEN
885
NIEDERSCHLAGEN DER DRITTEN ISOLIERSCHICHT
890
BILDEN DER ANSCHLÜSSE
895
ENDE
899