



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

① CH 659 896 A5

⑤ Int. Cl.⁴: G 01 R 33/06
H 01 L 29/82

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑰ Gesuchsnummer: 6790/82

⑲ Inhaber:
LGZ Landis & Gyr Zug AG, Zug

⑳ Anmeldungsdatum: 22.11.1982

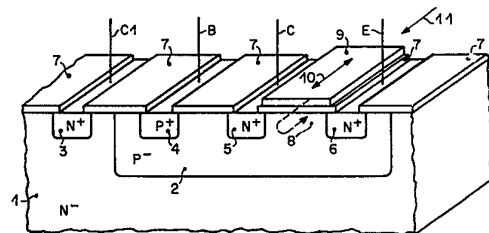
㉔ Patent erteilt: 27.02.1987

㉚ Erfinder:
Popovic, Radivoje, Steinhausen
Baltes, Heinrich Peter, Zug
Berchier, Jean-Luc, Menzingen
Solt, Katalin, Zug
Schneider, Gernot, Baar
Zajc, Tomislav, Zug
Lienhard, Heinz, Zug

㉕ Patentschrift
veröffentlicht: 27.02.1987

⑤④ Magnetfeldsensor.

⑤⑦ Der Magnetfeldsensor besteht aus einem magnetfeldempfindlichen Halbleiterelement, z.B. einem Magnetotransistor, und mindestens einem auf dessen Oberfläche angeordneten NiFe- oder NiCo-Films (9). Dieser Film arbeitet als Nullpunktschalter unter Ausnutzung seiner Magnetinduktion/Magnetfeld-Hystereseschaltkennlinie. Er ist unmittelbar oberhalb der feldempfindlichen Zone (8) des magnetfeldempfindlichen Halbleiterelementes aufgetragen, und zwar so, dass seine leichte Achse (10) räumlich senkrecht zu dessen Stromflussrichtung angeordnet ist. Das magnetfeldempfindliche Halbleiterelement detektiert die durch den Film erzeugte Magnetinduktion.



PATENTANSPRÜCHE

1. Magnetfeldsensor bestehend aus einem magnetfeldempfindlichen Halbleiterelement und mindestens einem auf dessen Oberfläche angeordneten NiFe- oder NiCo-Film, dadurch gekennzeichnet, dass der Film (9) unter Ausnutzung seiner Magnetinduktion/Magnetfeld-Hystereseschaltkennlinie ein Nullpunktschalter ist und dass er ohne elektrische Verbindung unmittelbar oberhalb der feldempfindlichen Zone (8) des magnetfeldempfindlichen Halbleiterelementes aufgetragen ist, und zwar so, dass seine leichte Achse (10) räumlich senkrecht zur Stromflussrichtung des magnetfeldempfindlichen Halbleiterelementes angeordnet ist, das selber ein Detektor der durch den Film erzeugten Magnetinduktion (\bar{B}_f) ist.

2. Magnetfeldsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das magnetfeldempfindliche Halbleiterelement ein Magnetotransistor und die feldempfindliche Zone (8) die Zone zwischen der Emitter-Schicht (6) und der dieser nächstgelegenen Kollektor-Schicht (5) ist.

3. Magnetfeldsensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Basis-Schicht (2) des Magnetotransistors schwach mit Fremdatomen dotiert ist und in einem ebenfalls schwach mit Fremdatomen dotierten Siliziumsubstrat (1) vom umgekehrten Material-Leitfähigkeitstyp an dessen Oberfläche enthalten ist und dass deren beider P/N-Übergang in Sperrichtung gepolt ist.

4. Magnetfeldsensor nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Emitter-Schicht (6) viel dünner als alle anderen Schichten und Kontakte (3, 4, 5), jedoch dicker als 0,5 μm ist.

5. Magnetfeldsensor nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Emitter-Schicht (6) so schwach mit Fremdatomen dotiert ist, dass ihre Resistivität grösser als hundert Ohm pro Quadrat ist.

6. Magnetfeldsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Film (9) aus zwei durch einen Luftspalt getrennten Filmteilen (9a, 9b) besteht, die so angeordnet sind, dass sich ein Filmteil in der Verlängerung des anderen befindet, dass ihre leichten Achsen (10a, 10b) parallel sind und dass der Luftspalt sich oberhalb der feldempfindlichen Zone (8) des magnetfeldempfindlichen Halbleiterelementes befindet.

7. Magnetfeldsensor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Filmteile (9a, 9b) rechteckförmig sind.

8. Magnetfeldsensor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden am Luftspalt angrenzenden Enden der Filmteile (9a, 9b) eine feldfokussierende Filmgeometrie bilden.

9. Magnetfeldsensor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Ende des einen Filmteils (9a) dreieckig spitz und das gegenüberliegende Ende des anderen Filmteils (9b) konkav abgerundet ausgebildet ist.

10. Magnetfeldsensor nach einem der Ansprüche 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass er einen zweiten identischen und räumlich parallel angeordneten Magnetotransistor (13) aufweist, der keinen Film besitzt, und dass beide Magnetotransistoren (12, 13) in einem Differenzverstärker angeordnet sind.

Die Erfindung bezieht sich auf einen Magnetfeldsensor gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Ein solcher als Nullpunktschalter arbeitender Magnetfeldsensor kann als Teil eines Stromeingangswandlers in mikroelektronischen Elektrizitätszählern verwendet werden. In diesem Fall wird ein durch den zu messenden Strom erzeugtes Magnetfeld mit einem z.B. sägezahnförmigen Referenzmagnetfeld verglichen und die Nulldurchgänge des resultierenden Magnetfeldes mittels des Magnetfeldsensors detektiert zwecks Realisierung einer «Mark-Space»-Modulation.

Weitere Anwendungsgebiete sind z.B. Position-Sensoren und Mikro-Schalter sowie das Lesen von magnetischen Speichern.

Aus «Modern Electronic Measuring Systems, ed by P.P.L. Regtien, Delft University Press, 1978, Chapter 1, S. Middelhoeck et al., Magnetic Energy SMT's, p. 19 - 21 and Fig. 14 i» ist das Aufdampfen von NiFe- oder NiCo-Filmen auf Halbleiter-Magnetfeldsensoren («Magnetic Energy Silicon Micro Transducers») bekannt zwecks Reduktion von deren Temperatur-Empfindlichkeit durch Ausnutzung des Magnetoresistor-Effektes dieser Filme.

Als Halbleiter-Magnetfeldsensoren gelten dabei: Magnetoresistoren, Hall Elemente, Magnetodioden, Magnistoren auch Magnetotransistoren genannt, Magfet's und Hall-MOSFET's.

Die Ausnutzung des Magnetoresistor-Effektes solcher Filme zur Nullpunktdetektion ist aus «Proc. Sensor 1982, Essen, ed. by F. Durst et al., Magnetic Field Micro-Sensor based on Magneto-Resistive Comparators, p. 176 - 186, H.P. Baltes et al.» bekannt.

Verglichen mit der Magnetinduktion/Magnetfeld-Schalthysterese von NiFe- oder NiCo-Filmen ist der Magnetoresistor-Effekt dieser Filme ein sekundärer und daher kleiner Effekt mit nur 1% bis 2% Widerstandsänderung beim Schalten. Brauchbare Signale werden erzielt mit sehr dünnen, $2 \cdot 10^{-8}$ m dicken, und nicht zu kleinen Filmen mit einer schräg zur Richtung des angelegten Magnetfeldes \bar{H}_a eingepprägten magnetischen Achse. Die technologischen Probleme so dünner Filme — Fabrikation, Zuverlässigkeit usw. — sind nicht gering. Ferner benötigen die so eingesetzten Filme eine elektrische Beschaltung mit den dadurch bedingten elektrischen Verbindungen. Die Filme werden ausserdem durch den elektrischen Strom belastet und ein erhöhtes Rauschen steht einer Miniaturisierung der Filmfläche entgegen.

Die Vermeidung magnetoresistiver Nullpunktdetektoren führt zu technologischen Vereinfachungen, die sich günstig auf die Lebensdauer der Filme und auf den Stromverbrauch auswirken; die Filme werden nicht mit hohen Stromdichten belastet, sie benötigen keine elektrische Kontaktierungen, dürfen dicker sein und ergeben stärkere Ausgangssignale, deren Formen ausserdem noch besser definiert sind als bei der Verwendung des magnetoresistiven Effektes.

Die induktive Arbeitsweise und Detektion von NiFe- und NiCo-Filmen ist bekannt aus «Magnetic properties of materials, Chapter 8, Thin films, p. 269 - 339, S. Middelhoeck, ed. by J. Smit, Mc Graw Hill, 1971».

Ausgenutzt wird in diesem Fall das sehr gute Verhalten der Magnetinduktion/Magnetfeld-Schalthysterese dieser Filme. Sie benötigen jedoch hier eine komplizierte Hardware und der Magnetfeldsensor liest leicht irgendwelche Störsignale auf. Die Anforderungen nach hoher Empfindlichkeit und nach Miniaturisierung sind miteinander im Konflikt und das Ausgangssignal des Magnetfeldsensors ist annähernd nur 1 mV.

Bei Vermeidung der induktiven Detektion des Filmsignals ist die Anordnung viel einfacher und es wird die Verwendung von Induktionsspulen oder -Drähten vermieden. Es entfällt das im Falle von Induktionsspulen typische Auflesen von Störsignalen.

Reine Halbleiter-Magnetfeldsensoren, wie z.B. Magnetotransistoren, besitzen folgende Nachteile:

— eine hohe «Offset»-Spannung und

— eine geringe Flankensteilheit, vor allem bei Verwendung von MOS-Technologien, und wegen Instabilitätsproblemen nur eine begrenzte Möglichkeit diese zu verbessern. Durch Schaltungskniffe, wie z.B. Verwendung einer Rückkopplung, kann diese Steilheit zwar vergrössert werden, jedoch ist die Qualität einer Magnetinduktion/Magnetfeld-Schaltkennlinie eines NiFe- bzw. eines NiCo-Filmes nie erreichbar.

Aus der Zeitschrift Sov. Phys. Semicond. 12(1), Januar 1978, Seiten 26 - 28, I.M. Mitnikova et al., «Investigation of the characteristics of silicon lateral magnetotransistors with two measuring collectors» ist z.B. der Aufbau und die Arbeitsweise eines Magnetotransistors bekannt.

In der Zeitschrift «Electronics», Mai 1982, Seiten 45 bis 46 ist ein bekannter Magnetotransistor beschrieben.

Aus dem «Abstract» der JP-A-5 768 092 ist ein MOSFET bekannt, der einen unverlierbaren Speicher als Hochgeschwindigkeitsspeicher betrifft, bei dem die gespeicherten Daten auch bei Ausfallen der Batterie bzw. Netzspannung nicht verloren gehen und bei dem dünne Ferrit-Filme verwendet werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Magnetfeldsensor zu finden zur Nullpunktdetektion magnetischer Felder, der die Nachteile der bekannten, im Stand der Technik erwähnten Magnetfeldsensoren vermeidet und der insbesondere folgende Bedingungen erfüllt:

- Ausnutzung der ausgezeichneten Magnetinduktion/Magnetfeld-Hystereseschaltkennlinie von NiFe- oder NiCo-Filmen,
- Erzielung eines grossen Ausgangssignals in der Grössenordnung von 10 mV,
- Minimierung des Einflusses von Störungen und des Rauschens,
- Aufbau eines möglichst grossen Anteils des Magnetfeldsensors in Standard-Silizium-IC-Technologie und
- Vermeidung der Komplikationen der Technologie sehr dünner und Strom führender NiFe- bzw. NiCo-Filme.

Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäss durch die im Kennzeichen des Patentanspruchs 1 angegebenen Merkmale gelöst.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1 einen mit einem Magnetotransistor aufgebauten Magnetfeldsensor,

Fig. 2 die feldempfindliche Zone des Magnetotransistors ohne Film,

Fig. 3 die feldempfindliche Zone des Magnetotransistors mit Film,

Fig. 4 eine rechteckförmige Magnetinduktion/Magnetfeld-Hystereseschaltkennlinie eines NiFe- bzw. eines NiCo-Films.

Fig. 5 eine Magnetinduktion/Magnetfeld-Hystereseschaltkennlinie im Zentrum der feldempfindlichen Zone mit vorhandenem Film,

Fig. 6 ein Schaltbild eines Differenzverstärkers mit zwei Magnetotransistoren,

Fig. 7 einen Magnetfeldsensor mit zwei Filmen und

Fig. 8 einen Magnetfeldsensor mit zwei Filmen in einer fokussierenden Fimanordnung.

Gleiche Bezugzahlen bezeichnen in allen Figuren der Zeichnung gleiche Teile.

Der Magnetfeldsensor besteht aus einem NiFe- oder einem NiCo-Film und einem magnetfeldempfindlichen Halbleiterelement, d.h. einem Halbleiter-Magnetfeldsensor, die zusammen auf einem Halbleitersubstrat integriert sind. Der Film dient als Nullpunktschalter unter Ausnutzung seiner Magnetinduktion/Magnetfeld-Hystereseschaltkennlinie, während sein magneto-resistiver Effekt dagegen nicht verwendet wird. Der Halbleiter-Magnetfeldsensor detektiert das Schalten des Films und zwar über die vom Film in seiner unmittelbaren Nähe erzeugte Magnetinduktion. Jeder Halbleiter-Magnetfeldsensor besitzt eine feldempfindliche Zone. Diese ist z.B. beim Magnetotransistor die Zone zwischen der Emitter-Schicht und der dieser nächstgelegenen Kollektor-Schicht.

In der Fig. 1 ist eine bevorzugte Realisierung des Magnetfeldsensors wiedergegeben unter Verwendung eines Magnetotransistors.

Als Beispiel wird ein bipolarer NPN-Magnetotransistor beschrieben. Statt mit einem NPN- kann der Magnetfeldsensor jedoch auch mit einem PNP-Magnetotransistor aufgebaut werden, unter Berücksichtigung der dann üblichen und aus der Transistortechnik her bekannten Umkehrungen der Material-Leitfähigkeitstypen.

Der Magnetfeldsensor kann mittels einer CMOS-Technologie hergestellt werden.

Gemäss der Fig. 1 besteht der Magnetotransistor aus einem gewöhnlichen monokristallinen Siliziumsubstrat 1 aus schwach mit Fremdatomen dotiertem N-Material, d.h. aus N⁻-Material, dessen Resistivität annähernd ein Ohm · cm ist. Unter Verwendung bekannter Prozessschritte aus der Technologie der integrierten Schaltungen werden folgende Schichten im Siliziumsubstrat 1 an dessen Oberfläche gebildet durch Ionenimplantation und/oder durch Diffusion von Fremdatomen in das Siliziumsubstrat 1:

- eine P⁻-Wanne aus schwach mit Fremdatomen dotiertem P-Material, also vom umgekehrten Material-Leitfähigkeitstyp als das Siliziumsubstrat 1, als Basis-Schicht 2 und
- eine in der Darstellung der Fig. 1 links von der P⁻-Wanne angeordnete stark mit Fremdatomen dotierte N⁺-Schicht aus N-Material zur Bildung eines Kollektor-Sekundärkontaktes 3.

Auf die gleiche Art werden in der P⁻-Wanne an deren Oberfläche folgende Schichten erzeugt, die in der Darstellung der Zeichnung von links nach rechts nebeneinander auf einer Linie angeordnet sind:

- eine stark mit Fremdatomen dotierte P⁺-Unterschicht als Basis-Kontakt 4,
- eine stark mit Fremdatomen dotierte erste N⁺-Unterschicht als Kollektor-Schicht 5,
- eine stark mit Fremdatomen dotierte zweite N⁺-Unterschicht als Emitter-Schicht 6,

Die Kollektor-Schicht 5 befindet sich also räumlich zwischen der Emitter-Schicht 6 und dem Basis-Kontakt 4.

Der Kollektorsekundärkontakt 3, der Basis-Kontakt 4, die Kollektor-Schicht 5 und die Emitter-Schicht 6 besitzen bei einer Standard-Ausführung des Magnetotransistors alle eine gleiche Tiefe, z.B. von 1 µm, eine gleich starke Dotierung mit Fremdatomen und eine Resistivität ≤ fünfzig Ohm pro Quadrat. Die fakultativ vorhandene Basis-Schicht 2 hat z.B. eine Resistivität von einem Kiloohm pro Quadrat und eine Tiefe von annähernd 10 µm. Der P/N-Übergang zwischen Siliziumsubstrat 1 und Basis-Schicht 2 ist in Sperrichtung zu polen mit Hilfe des Kollektor-Sekundärkontaktes 3 und des Basiskontaktes 4.

In einer verbesserten Ausführung des Magnetotransistors ist die Emitter-Schicht 6 viel dünner als die anderen Schichten bzw. Kontakte, jedoch dicker als 0,5 µm, und/oder so schwach mit Fremdatomen dotiert, dass ihre Resistivität grösser als hundert Ohm pro Quadrat beträgt. Im letzteren Fall muss in die Emitter-Schicht 6 an deren Oberfläche eine stark mit Fremdatomen dotierte Schicht vom gleichen Leitfähigkeitstyp wie die Emitter-Schicht 6 als ohmscher Emitter-Kontakt eindiffundiert werden.

Die restlichen strukturellen Details des Magnetotransistors sind bekannt, insbesondere ist seine ganze Oberfläche mit einer dünnen Schutzschicht, z.B. aus Silizium-Dioxyd, bedeckt, der sogenannten Passivierungsschicht 7. Die Schichten bzw. Kontakte 3, 4, 5 und 6 besitzen je einen metallenen Anschluss, nämlich in der angegebenen Reihenfolge einen Kollektor-Sekundäranschluss C1, einen Basis-Anschluss B, einen Kollektorananschluss C und einen Emitteranschluss E.

Unmittelbar oberhalb der feldempfindlichen Zone 8 des Magnetotransistors, d.h. unmittelbar oberhalb der zwischen Emitter-Schicht 6 und Kollektor-Schicht 5 gelegenen Zone, ist auf die Passivierungsschicht 7 ein dünner anisotroper magnetisch ordnender und schaltender NiFe- oder NiCo-Film 9 gal-

vanisch, durch Aufdampfung oder durch Kathodenzerstäubung aufgetragen, und zwar so, dass seine leichte Achse («easy axis»: EA) 10 senkrecht zum in der Fig. 1 gezeichneten Querschnitt des Magnetotransistors, d.h. senkrecht zur Stromflussrichtung des Halbleiter-Magnetfeldsensors angeordnet ist.

Ein zu detektierendes Magnetfeld 11 mit dem Wert \vec{H}_a wirkt parallel zu dieser leichten Achse 10.

Während bei einem induktiven Verfahren mit Filmen eine zeitliche Flussänderung $d\Phi/dt$ detektiert wird, wird im vorliegenden Magnetfeldsensor die lokale Magnetinduktion \vec{B}_f in der feldempfindlichen Zone 8 direkt ausgewertet und durch den Halbleiter-Magnetfeldsensor detektiert. Dies bedingt, dass der Film möglichst dicht bei dieser Zone 8 angeordnet sein muss, damit ein möglichst grosser Anteil seines Magnetflusses diese Zone 8 durchfließt. Der Film spielt die Rolle eines Minimagneten, dessen Magnetisierungsrichtung durch den Nulldurchgang des angelegten zu detektierenden Feldes plötzlich umgekehrt wird. Dementsprechend ändert sich die Richtung des von dem Minimagneten in seiner unmittelbaren Umgebung erzeugten Magnetfeldes. Die Feldstärke beträgt einige 10^{-4} Vs/m². Die abrupte Änderung der Feldrichtung wird von dem darunter liegenden Halbleiter-Magnetfeldsensoren detektiert, der seinerseits ein entsprechendes digitales elektrisches Signal produziert.

Da der Film nicht als Magnetoresistor verwendet wird, braucht es keine elektrische Anschlüsse und somit auch keine elektrische Verbindungen zum Halbleiter-Magnetfeldsensor, d.h. zum Magnetotransistor. Dieser und der Film sind elektrisch voneinander isoliert durch die Passivierungsschicht 7.

Die Fig. 2 und die Fig. 3 zeigen schematisch die grundlegende Anordnung der feldempfindlichen Zone 8 des Halbleiter-Magnetfeldsensors. Die leichte Achse (EA) 10 des Films 9 und das zu detektierende Magnetfeld 11 sind parallel zur X-Achse angeordnet. Die Feldlinien der vom Film 9 erzeugten Magnetinduktion \vec{B}_f verlaufen ungefähr wie eingezeichnet. Diese Magnetinduktion \vec{B}_f wird in der feldempfindlichen Zone 8 des Halbleiter-Magnetfeldsensors detektiert, insbesondere die Vorzeichenumkehr von \vec{B}_f , die von der Vorzeichenumkehr der Sättigungsmagnetisierung des Films 9 herrührt.

Die Hysterese des Films 9 bei Betrieb in Richtung der leichten Achse ist nahezu rechteckförmig (siehe Fig. 4). Diese Rechteckshysterese ist die wichtigste Eigenschaft der NiFe- bzw. NiCo-Filme und wird weit besser beherrscht als die Magnetoresistor-Eigenschaften. In der Fig. 4 ist die interne Magnetinduktion im Film $B_f \approx 1$ Tesla und $H_c \approx 10^{-4}$ Tesla.

Weil für $H_a \neq H_c$ der Film immer in der Sättigung ist, lässt sich die resultierende Flussdichte in der Umgebung des Films als lineare Superposition der vom zu detektierenden Magnetfeld 11 erzeugten Magnetinduktion $\mu \vec{H}_a$ und der vom Film 9 erzeugten Magnetinduktion \vec{B}_f darstellen:

$$\vec{B} = \mu \vec{H}_a \pm \vec{B}_f. \quad (1)$$

Dabei ist $\mu \approx \mu_0$ die magnetische Permeabilität des den Film 9 umgebenden Materials und $\pm \vec{B}_f$ ist die Magnetinduktion im Falle $\vec{H}_a = 0$.

Aus der Fig. 3 und der Gleichung (1) lässt sich die Magnetinduktion \vec{B} in der Umgebung des Films ermitteln. z.B. unterhalb des Films 9 in der Mitte der feldempfindlichen Zone 8 gilt angenähert

$$\vec{H}_a // \vec{B}_f // \vec{B} // \vec{EA} // x. \quad (2)$$

Daraus resultiert der in der Fig. 5 wiedergegebene Verlauf von \vec{B} in Funktion von \vec{H}_a .

Es lässt sich berechnen, dass z.B. für einen NiFe-Film von 50 μm Länge und $5 \cdot 10^{-8}$ m Dicke die im Abstand von einigen μm erregte Magnetinduktion ungefähr

$$B_f \approx 10^{-3} \text{ Tesla} \quad (3)$$

beträgt. Im Falle eines typischen Halbleiter-Magnetfeldsensors mit einer Empfindlichkeit von 10 V/Tesla ergibt sich daher ein Ausgangssignal mit Sprüngen von

$$\begin{aligned} \Delta V &\approx \pm 2 \cdot B_f \cdot 10 \text{ V/T} \\ &= \pm 20 \text{ mV}, \end{aligned} \quad (4)$$

sobald $H_a = \pm H_c$ wird. Das gesamte Ausgangssignal des Magnetfeldsensors ist dann:

$$V_o = V + \Delta V, \quad (5)$$

wobei V den von der direkten Detektion von \vec{H}_a herrührenden Anteil, der durch die Magnetinduktion \vec{B} erzeugten Ausgangsspannung bezeichnet.

Da nur ΔV interessant ist, muss V eliminiert werden, z.B. mittels eines Differenzverstärkers gemäss der Fig. 6. Dieser ist aufgebaut mittels eines ersten Magnetotransistors 12 mit Film 9 und eines zweiten Magnetotransistors 13 ohne Film, die beide je einen Lastwiderstand in Form eines MOS-Lasttransistors 14 und 15 besitzen. Die Kollektor-Sekundärkontakte beider Magnetotransistoren 12 und 13 sind miteinander verbunden und liegen am positiven Pol V_{DD} einer Speisespannung. Die beiden Emitter-Schichten der Magnetotransistoren liegen über eine gemeinsame Stromquelle 16 am negativen Pol V_{SS} der Speisespannung und die beiden Basis-Kontakte direkt an einer positiven Spannung $+V_B$, die so gewählt ist, dass die P/N-Übergänge «Silizium-Substrat 1/Basis-Schicht 2» der beiden Magnetotransistoren in Sperrrichtung gepolt sind. Die Kollektor-Schicht des ersten Magnetotransistors 12 ist über die Source/Drain-Strecke des ersten MOS-Lasttransistors 14 und diejenige des zweiten Magnetotransistors 13 über die Source/Drain-Strecke des zweiten MOS-Lasttransistors 15 mit dem positiven Pol V_{DD} der Speisespannung verbunden. Beide Gates der MOS-Lasttransistoren 14 und 15 sind auf die Kollektor-Schicht des zweiten Magnetotransistors 13 und beide Substrate dieser Lasttransistoren auf den positiven Pol V_{DD} der Speisespannung geführt. Beide Magnetotransistoren 12 und 13 sind räumlich parallel angeordnet und, abgesehen vom Film 9, identisch. Die beiden MOS-Lasttransistoren 14 und 15 arbeiten als Stromspiegel, so dass beide Magnetotransistoren 12 und 13 mit einem gleichen und konstanten Kollektorstrom belastet sind, der unabhängig ist von dem Wert des anstehenden äusseren Magnetfeldes.

Die Kollektor-Schicht des ersten Magnetotransistors bildet den einpoligen Ausgang des Differenzverstärkers, an dem zusätzlich zu einer bekannten, konstanten Spannung noch die Spannung ΔV erscheint.

Neben der in der Fig. 3 gezeichneten Anordnung mit einem rechteckförmigen Film sind andere Filmgeometrien möglich und je nach Halbleiter-Magnetfeldsensor-Typ vorteilhaft, z.B. zwei Filme, die durch einen Spalt der Länge W getrennt sind, ellipsenförmige Filme (gegen Nukleation) oder fokussierende Anordnungen zur Steigerung der Empfindlichkeit für Halbleiter-Magnetfeldsensoren mit einer besonders kleinen empfindlichen Zone.

Die Fig. 7 zeigt ein Beispiel einer Anordnung, in der der Film 9 aus zwei rechteckförmigen Filmteilen 9a und 9b mit den parallelen, leichten Achsen 10a und 10b besteht, unter deren

Trennungs-Luftspalt sich die empfindliche Zone 8 befindet, und die beide so angeordnet sind, dass sich einer in der Verlängerung des anderen befindet. Die Feldverteilung im Luftspalt zwischen zwei hinreichend langen Filmen ist annähernd gleich derjenigen eines Einzelfilms von der Länge W dieses Luftspaltes.

In der Mitte des Luftspaltes ergeben sich im Halbleiter-Magnetfeldsensor je nach Länge des Luftspaltes $W = 20 \mu\text{m}$ bis $40 \mu\text{m}$ und je nach Tiefe $z = 0$ bis $10 \mu\text{m}$ Magnetinduktionen \vec{B}_f im Bereich von $5 \cdot 10^{-4}$ bis $15 \cdot 10^{-4} \text{Vs/m}^2$. Also

hat diese Anordnung eine ähnliche Empfindlichkeit ($\Delta V = 10$ bis 30mV) wie diejenige mit einem einzigen Film. Ein technologischer Vorteil ist, dass man grössere (insbesondere längere) Filme verwenden kann.

Die Fig. 8 zeigt eine feldfokussierende Filmgeometrie, die ebenfalls aus zwei Filmteilen 9a und 9b besteht, die ähnlich wie in der Fig. 7 angeordnet sind, nur dass hier die beiden am Luftspalt angrenzenden Enden der Filmteile nicht parallel verlaufen, sondern dass das Ende des einen Filmteils 9a dreieckig spitz und das Ende des anderen Filmteils 9b konkav abgerundet ausgebildet ist.

Fig. 1

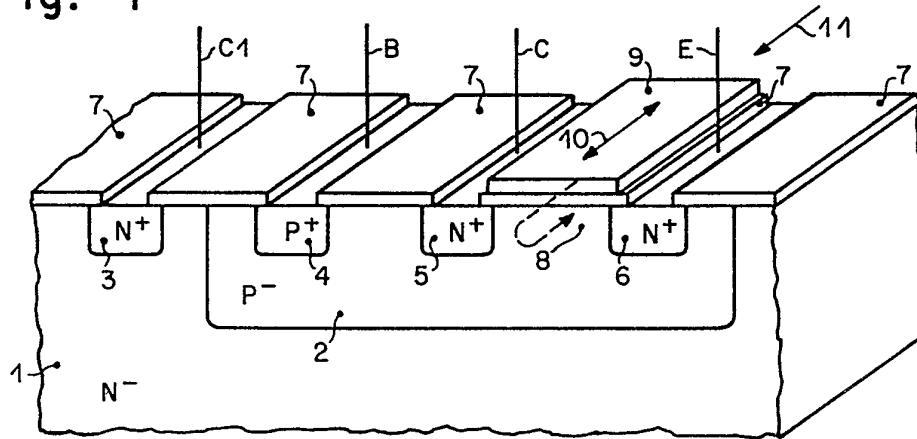


Fig. 2

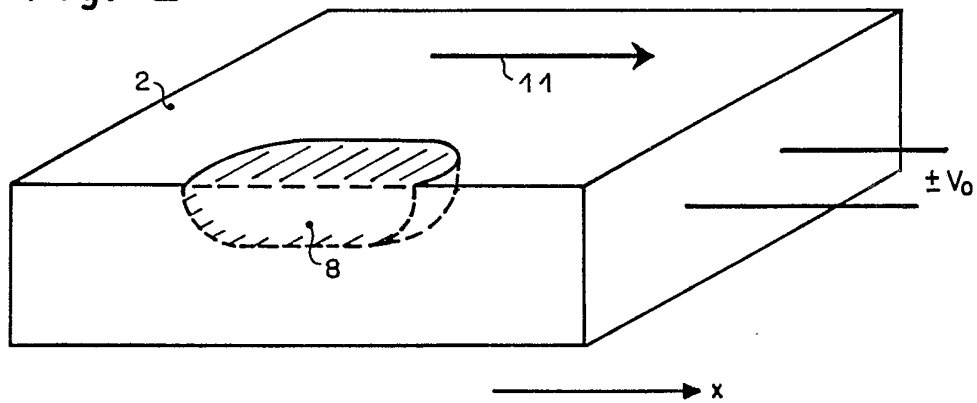


Fig. 3

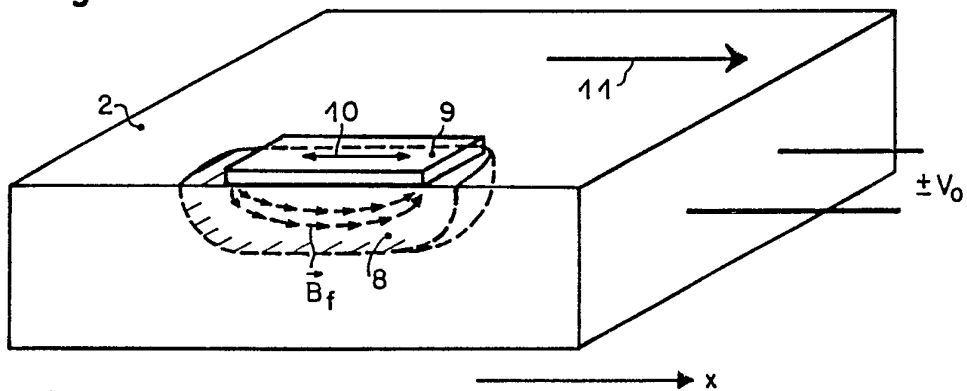


Fig. 4

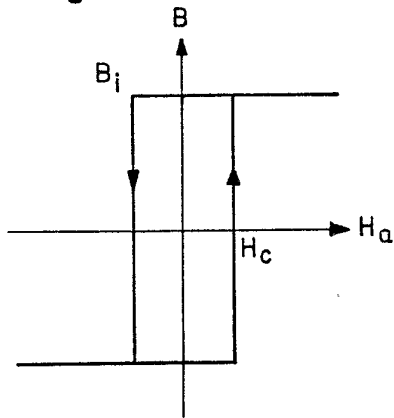


Fig. 5

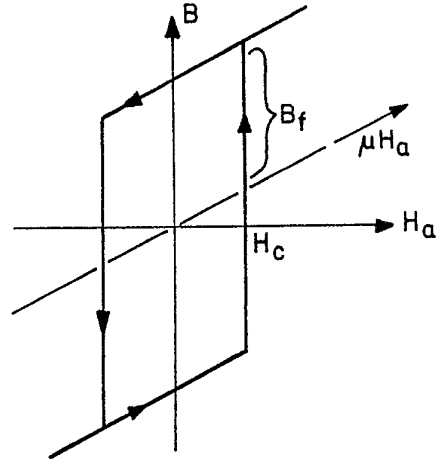


Fig. 6

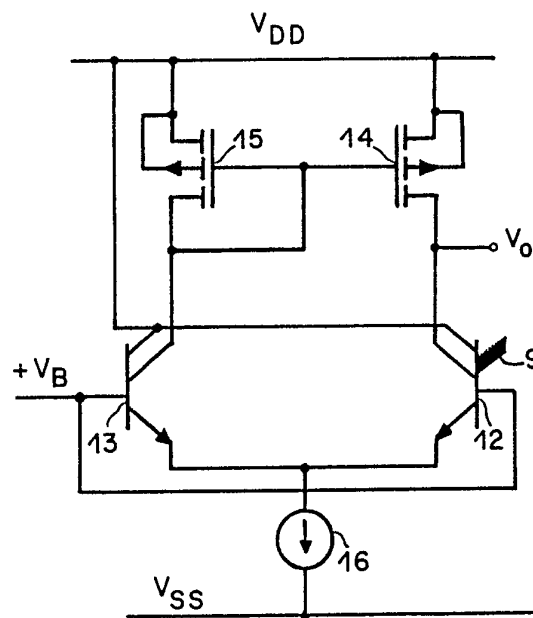


Fig. 7

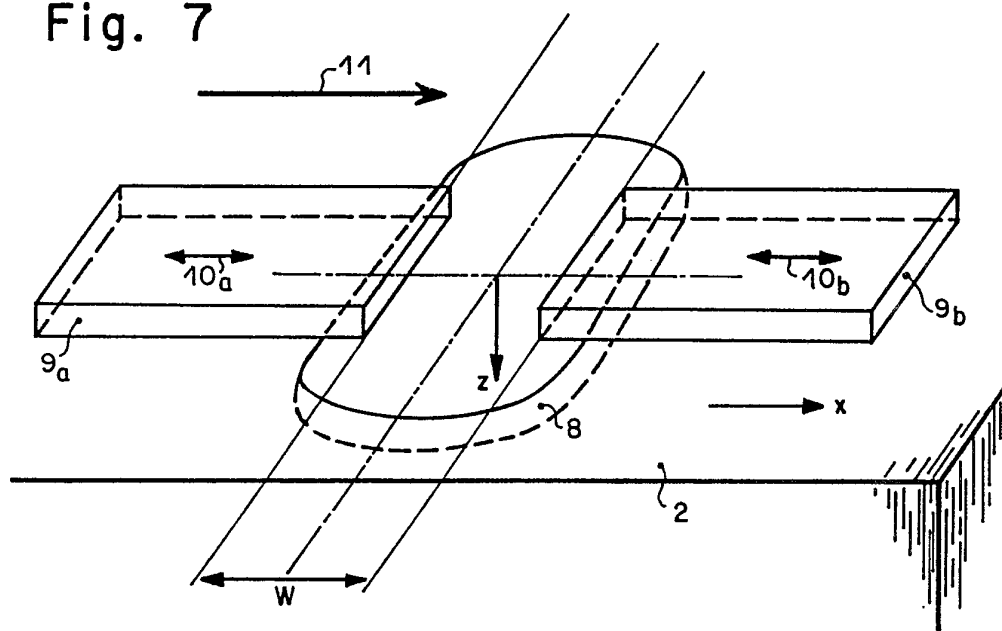


Fig. 8

