



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

① CH 667 536 A5

⑤ Int. Cl.4: G 01 R 33/06

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

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑳ Gesuchsnummer: 1093/85

㉒ Anmeldungsdatum: 11.03.1985

㉔ Patent erteilt: 14.10.1988

④⑤ Patentschrift veröffentlicht: 14.10.1988

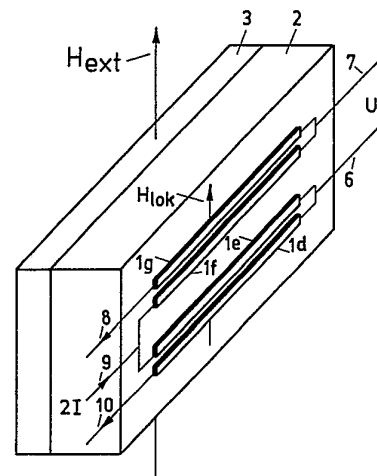
⑦③ Inhaber:
VEB Messtechnik Mellenbach,
Mellenbach-Glasbach (DD)

⑦② Erfinder:
Loreit, Uwe, Hermsdorf (DD)
Gebhardt, Olaf, Unterweissbach (DD)
Sommer, Hartmut, Mellenbach (DD)
Bulle, Konrad, Meuselbach (DD)

⑦④ Vertreter:
A. Braun, Braun, Héritier, Eschmann AG,
Patentanwälte, Basel

⑤④ Messfühler zur Erfassung von örtlichen Magnetfeldern.

⑤⑦ Der Messfühler besitzt zur Entkopplung eines Messsignals vom Einfluss eines ausgedehnten Magnetfeldes ein dünnes streifenförmiges magnetoresistives Element (1), sowie Mittel zur Linearisierung des magnetoresistiven Effektes und zur Verringerung der Temperaturempfindlichkeit, ferner einen plattenförmigen Körper (3) hoher magnetischer Leitfähigkeit, der eine Flächenausdehnung besitzt, die einem Vielfachen der Fläche des magnetoresistiven Elementes entspricht. Er befindet sich in einem Abstand von mindestens dessen Streifenbreite von diesem entfernt.



PATENTANSPRÜCHE

1. Anordnung zur Erfassung von örtlichen Magnetfeldern unter Verwendung eines Magnetfeldfühlers und eines diesem zugeordneten Körpers hoher magnetischer Leitfähigkeit, dadurch gekennzeichnet, dass sie zur Entkopplung eines Messsignals vom Einfluss ausgedehnter Felder einen Magnetfeldfühler in Form eines dünnen streifenförmigen magnetoresistiven Elementes, Mittel zur Linearisierung des magnetoresistiven Effektes und zur Verringerung der Temperaturempfindlichkeit sowie einen plattenförmigen Körper hoher magnetischer Leitfähigkeit, der eine Flächenausdehnung besitzt, die einem Vielfachen des magnetoresistiven Elementes entspricht und sich in einem Abstand von mindestens dessen Streifenbreite von diesem entfernt befindet, enthält.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das magnetoresistive Element aus einer oder mehreren uniaxialen oder unidirektionalen ferromagnetischen dünnen Schichten auf einem ebenen, elektrisch isolierenden, thermisch gut leitfähigen Substrat besteht, bei denen die Vorzugsachse oder Vorzugsrichtung um einen zwischen 0° und 90° liegenden Winkel, insbesondere 45° , gegen die Stromflussachse geneigt ist.

3. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorzugsachse oder Vorzugsrichtung der Magnetisierung parallel zur Längsachse des Streifenleiters liegt und der Neigungswinkel der Stromflussachse zur Vorzugsachse oder Vorzugsrichtung durch eine Mehrzahl paralleler Äquipotentialflächen, welche unter einem zwischen 30° und 60° liegenden Winkel, insbesondere 45° , gegen die Längsachse des Streifenleiters aufgebracht sind, hervorgerufen wird.

4. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass unter oder oberhalb des magnetoresistiven Streifens eine mit diesem elektrisch verbundene Schicht aus einem Material mit hohem negativen Temperaturkoeffizienten aufgebracht und deren Dicke so bemessen ist, dass der Temperaturkoeffizient des gesamten Elementes zu Null kompensiert wird.

5. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das magnetoresistive Element aus vier zu einer Wheatstone-Brücke verbundenen magnetoresistiven Streifenleitern besteht, wobei die die Brückenzweige darstellenden Streifenleiter gleicher Abmessung sich parallel zueinander, in jeweils gleichen, möglichst geringem Abstand befinden, die Brückenzweige in symmetrischer Weise verbunden sind und die Orientierung der Äquipotentialflächen jeweils benachbarter Brückenelemente derartig erfolgt, dass die Summe der Phasenwinkel gegen die Längsachse der Streifenleiter 180° ergibt.

6. Anordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass diese eine miniaturisierte Dünnschichtanordnung darstellt, wobei die Schicht hoher magnetischer Leitfähigkeit sich auf das Trägersubstrat unterhalb des magnetoresistiven Elementes oder auf der Rückseite des Substrates befindet, magnetisch isotrop ist oder eine Vorzugsachse parallel zur Längsrichtung des magnetoresistiven Elementes besitzt.

7. Anordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zur Kompensation der auf das magnetfeldempfindliche Element wirkenden Magnetfelder vorgesehen sind.

8. Anordnung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Körper hoher magnetischer Leitfähigkeit das magnetoresistive Element in einem Abstand U-förmig umgibt.

9. Anordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass dem Magnetfeldfühler eine langgestreckt streifen- oder drahtförmige Leiteranordnung parallel zur Längsachse des magnetoresistiven Elementes als Quelle örtlicher Magnetfelder in möglichst geringem Abstand zugeordnet ist.

10. Anordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass seitens des Körpers hoher magnetischer Leitfähigkeit eine der Sonde angepasste Trägervorrichtung, insbesondere in Form eines langgestreckten zylinderförmigen metallischen Körpers,

seitens des magnetoresistiven Elementes eine planparallele Stirnfläche aus einer Isolatorschicht, deren Dicke die Querausdehnung des magnetoresistiven Elementes nicht übersteigt, vorgesehen ist.

BESCHREIBUNG

Messfühler zur Erfassung von örtlichen Magnetfeldern.

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Erfassung von örtlichen Magnetfeldern unter Verwendung eines Magnetfeldfühlers und eines diesem zugeordneten Körpers hoher magnetischer Leitfähigkeit.

Die erfindungsgemäße Anordnung kann als neuartige Sonde mit hoher räumlicher Auflösung zur Messung von Magnetfeldern um elektrische Leiteranordnungen, insbesondere bandförmige Streifenleiter, eingesetzt werden und dient zur Bestimmung des in diesen fließenden Stromes. Besonders vorteilhaft kann daher mit der Anordnung z.B. der Stromfluss in Leiterzügen auf gedruckten Schaltungen gemessen werden, wobei kein Eingriff in das System zu erfolgen braucht. Der Detektor entnimmt dabei dem Leitungssystem keinerlei Messenergie und ist zur Messung von Gleich- und Wechselströmen gleichermaßen geeignet. Auch sind andere Einsatzmöglichkeiten der Anordnung denkbar, z.B. die Messung lokaler Streufelder an der Oberfläche ferromagnetischer Körper. Unter Verwendung von ferromagnetischen dünnen Schichten mit hoher Widerstandsanisotropie als magnetfeldempfindliches Material ist die Anordnung in einem grossen Frequenzbereich von 0 Hz bis etwa 100 MHz und in einem grossen Temperaturbereich von 0 K bis etwa 400 K einsetzbar. Die Anordnung kann dabei schon in relativ schwachen magnetischen Feldern hohe Signalspannungen liefern und es kann wahlweise mit einer Dc oder Ac Stromversorgung gearbeitet werden. Als Dünnschichtanordnung ist sie leicht miniaturisierbar und kann rationell gefertigt werden. Sie wird zweckmässig als Punktsonde mit einer entsprechenden Halterung und einer planparallelen Stirnfläche ausgeführt.

Die Anordnung ist zur Messung lokaler magnetischer Felder auf der Grundlage bekannter physikalischer Effekte und insbesondere zur Erfassung und Messung magnetischer Gleich- und Wechselfelder um elektrische Leiteranordnungen geeignet. Da ein für derartige Zwecke verwendbarer Messfühler nicht bekannt ist, soll er mit naheliegenden technischen Lösungen für ähnliche Verwendungszwecke verglichen werden.

Bekannt ist ein für den Handbetrieb verwendbarer magnetoresistiver Abtaster für lokale magnetische Felder, insbesondere von Streufeldern magnetisierter Medien, wie sie bei magnetischen Kreditkarten, Preisstreifen und anderen digital kodierten Datenstreifen auftreten (IBM Journ. Res. u. Dev. 16, 546 (1974)).

Der Abtaster misst die Stärke des lokalen Streufeldes magnetischer Dipolübergänge. Diese Anordnung besitzt folgende Nachteile:

Die Anordnung erfasst die Summe aus lokalem Feld und ausgedehnten Störfeldern.

Sie registriert nur die Feldkomponente senkrecht zur Quellenebene und kann daher nicht zur Messung von magnetischen Feldern an Leiteroberflächen verwendet werden.

Der magnetoresistive Effekt des Abtasters ist stark nichtlinear, woraus eine geringe Magnetfeldempfindlichkeit resultiert. Der Abtaster reagiert auf Änderungen der Umgebungstemperatur stark.

Bekannt ist weiterhin ein Messfühler zur Erfassung von örtlichen Magnetfeldern bestehend aus einem magnetoresistiven Streifen und einem zugeordneten Körper hoher magnetischer Leitfähigkeit (DE-OS 2620657).

Der Körper hoher magnetischer Leitfähigkeit wirkt als Nebenschlusschicht für auf das magnetoresistive Element wirkende Felder, wodurch der Messfühler erst oberhalb einer vorgege-

benen Stärke des jeweiligen Magnetfeldes entspricht. Diese Anordnung besitzt folgende Nachteile:

Sie gestattet nur die Messung von Feldern oberhalb eines Schwellwertes.

Der magnetoresistive Effekt des Messfühlers ist stark nicht-linear und reagiert auf Änderungen der Umgebungstemperatur stark. Die Anordnung ist nicht in der Lage, Messungen unabhängig von ausgedehnten Feldern, also etwa unabhängig vom Erdmagnetfeld durchzuführen.

Mit der Erfindung wird das Ziel verfolgt, eine handliche, hochempfindliche Anordnung in der Form einer Punktsonde für lokale magnetische Felder, insbesondere parallel zur Oberfläche elektrischer Leiteranordnungen zu schaffen, die für Gleich- und Wechselfelder gleichermaßen geeignet ist und deren Ergebnissignal nicht von ausgedehnten externen magnetischen Feldern und von Temperaturänderungen beeinflusst wird. Ausserdem soll sie eine Richtungsempfindlichkeit bezüglich örtlicher Magnetfelder besitzen.

Die Ursache der Abhängigkeit des Ergebnissignals von ausgedehnten äusseren Feldern liegt darin, dass das magnetfeldempfindliche Element stets die Summe aus lokalem Feld und äusserem Feld registriert. Bei Verwendung eines Körpers hoher magnetischer Leitfähigkeit in der Nähe des Elementes wirkt dieser als magnetischer Nebenschluss für lokale Felder und die Empfindlichkeit der Anordnung ist gering. Andererseits ist der magnetoresistive Effekt in kleinen magnetischen Feldern eine quadratische Funktion der Feldstärke, sodass keine ausreichende Feldempfindlichkeit erzielt werden kann. Der relativ hohe Temperaturkoeffizient des magnetoresistiven Materials wirkt sich ebenso ungünstig auf den Einsatz der bekannten Anordnung als Messfühler aus.

Die Aufgabe der Erfindung besteht deshalb darin, eine als Messwandler für magnetische Felder von Leiteroberflächen und ähnliche Aufgaben verwendbare Anordnung zu schaffen, die nicht von äusseren magnetischen Störfeldern und Schwankungen der Umgebungstemperatur beeinflusst wird und eine hohe Empfindlichkeit für örtliche magnetische Felder besitzt.

Erfindungsgemäss wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass die Anordnung zur Entkopplung eines Messsignals vom Einfluss ausgedehnter Felder einen Magnetfeldfühler in Form eines dünnen streifenförmigen magnetoresistiven Elementes, Mittel zur Linearisierung des magnetoresistiven Effektes und zur Verringerung der Temperaturempfindlichkeit sowie einen plattenförmigen Körper hoher magnetischer Leitfähigkeit, der eine Flächenausdehnung besitzt, die einem Vielfachen des magnetoresistiven Elementes entspricht und sich in einem Abstand von mindestens dessen Streifenbreite von diesem entfernt befindet, enthält.

Vorteilhaft ist es, wenn das streifenförmige magnetoresistive Element aus einer oder mehreren uniaxialen oder unidirektionalen ferromagnetischen dünnen Schichten auf einem ebenen elektrisch isolierenden, thermisch gut leitfähigen Substrat besteht, bei denen die Vorzugsachse oder Vorzugsrichtung um einen zwischen 0° und 90° liegenden Winkel, insbesondere 45° , gegen die Stromflussachse geneigt ist und wenn die Vorzugsachse oder Vorzugsrichtung der Magnetisierung parallel zur Längsachse des Streifenleiters liegt und der Neigungswinkel der Stromflussachse zur Vorzugsachse oder Vorzugsrichtung durch eine Mehrzahl paralleler Äquipotentialflächen, welche unter einem zwischen 30° und 60° liegenden Winkel, insbesondere 45° , gegen die Längsachse des Streifenleiters aufgebracht sind, hervorgerufen wird.

Die Kompensation des Temperaturkoeffizienten des Elementes gelingt dadurch, dass unter- oder oberhalb des magnetoresistiven Streifens eine mit diesem elektrisch verbundene Schicht aus einem Material mit hohem negativen Temperaturkoeffizienten aufgebracht ist.

Vorteilhaft ist die Anordnung so aufgebaut, dass das ma-

gnetoresistive Element aus vier zu einer Wheatstone-Brücke verbundenen magnetoresistiven Streifenleitern besteht, wobei die die Brückenarme darstellenden Streifenleiter gleicher Abmessung sich parallel zueinander, in jeweils gleichen, möglichst geringen Abstand befinden, die Brückenarme in symmetrischer Weise verbunden sind und die Orientierung der Äquipotentialflächen jeweils benachbarter Brückenelemente derartig erfolgt, dass die Summe der Phasenwinkel gegen die Längsachse der Streifenleiter 180° ergibt.

Sie kann als miniaturisierte Dünnschichtanordnung ausgeführt sein, wobei die Schicht hoher magnetischer Leitfähigkeit sich auf dem Trägersubstrat unterhalb des magnetoresistiven Elementes oder auf der Rückseite des Substrates befindet, magnetisch isotrop ist oder eine Vorzugsachse parallel zur Längsrichtung des magnetoresistiven Elementes besitzt.

Der Körper hoher magnetischer Leitfähigkeit kann das magnetfeldempfindliche Element U-förmig umgeben.

Der Magnetfeldfühler kann eine langgestreckte streifen- oder drahtförmige Leiteranordnung parallel zur Längsachse des magnetoresistiven Elementes als Quelle örtlicher Magnetfelder in möglichst geringem Abstand zugeordnet sein.

Vorteilhaft ist auch, wenn seitens des Körpers hoher magnetischer Leitfähigkeit eine der Sonde angepasste Trägervorrichtung, insbesondere in Form eines langgestreckten zylinderförmigen metallischen Körpers, seitens des magnetoresistiven Elementes eine planparallele Stirnfläche aus einer Isolatorschicht, deren Dicke die Querausdehnung des magnetoresistiven Elementes nicht übersteigt, vorgesehen ist.

Die Erfindung soll nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 einen Messfühler zur Erfassung von örtlichen Magnetfeldern, bestehend aus einem magnetoresistiven Element, einem Substrat und einem Körper hoher magnetischer Leitfähigkeit.

Fig. 2 einen Messfühler zur Erfassung von örtlichen Magnetfeldern, bestehend aus einer Brückenanordnung magnetoresistiver Elemente, einem Substrat und einem Körper hoher magnetischer Leitfähigkeit.

Fig. 3 einen Abschnitt von zwei benachbarten Brückenelementen mit aufgetragenen Äquipotentialflächen.

Fig. 4 den Querschnitt durch einen Messfühler mit Kompensationselement und zugeordneten elektrischen Leiter als Quelle des örtlichen Magnetfeldes, sowie einen U-förmig angeordneten Körper hoher magnetischer Leitfähigkeit.

Fig. 5 eine komplette Punktsonde mit handlicher Halterung und planparalleler Stirnfläche.

In Fig. 1 ist ein gemäss der Erfindung gestalteter Messfühler dargestellt. Ein magnetoresistives Element 1 befindet sich auf einem ebenen, elektrisch isolierenden, gut wärmeleitfähigen Körper 2, vorzugsweise aus Materialien wie thermisch oxydierter bzw. undotierter Si-Einkristall, Saphir-Einkristall oder Berylliumoxid-Keramik, wobei dessen Dicke d die Breite b des magnetoresistiven Elementes überschreitet. Ein Körper 3 mit wesentlich höherer magnetischer Leitfähigkeit als das magnetoresistive Element ist als magnetisch isotrope hochpermeable Schicht auf der Rückseite des Trägersubstrates aufgebracht. Die hohe magnetische Leitfähigkeit wird durch eine entsprechend grosse Dicke des Materials und dessen hohe Permeabilität bewirkt. Entsprechend der räumlichen Anordnung der magnetischen Funktionselemente 1 und 3 werden räumlich ausgedehnte Felder H_{ext} vorzugsweise durch die hier als Nebenschluss- oder Abschirmschicht wirkende Schicht hoher magnetischer Leitfähigkeit geführt, während örtlich begrenzte magnetische Felder H_{lok} vorzugsweise das magnetoresistive Element 1 durchsetzen und aussteuern.

Zur Linearisierung des magnetoresistiven Effektes und Verringerung der Temperaturempfindlichkeit ist das magnetoresi-

stive Element aus mehreren Teilen zusammengesetzt. Die magneto-resistive Funktionsschicht 1a selbst besteht aus einer einachsigen, etwa 30 nm dicken NiFe Co-Permalloyschicht, deren Vorzugsachse V. A. parallel zur Längsrichtung des magneto-resistiven Elementes liegt. Diese Vorzugsachse bildet mit der Stromrichtung I einen Winkel 45° . Die Schrägstellung der Stromrichtung wird durch schräge, elektrisch gut leitende schmale Metallstreifen 1b, die in elektrischem Kontakt mit der magneto-resistiven Schicht stehen, bewirkt. Der erforderliche Winkel zwischen Stromrichtung und Vorzugsachse kann auch mit anderen Mitteln realisiert werden. Möglich sind zum Beispiel das Kippen der Vorzugsachse gegenüber der Längsrichtung des magneto-resistiven Elements mit Hilfe einer induzierten einachsigen Anisotropie, das Herausdrehen der Anfangslage der Magnetisierung mit Hilfe magnetostatisch- bzw. austauschgekoppelter ferromagnetischer bzw. antiferromagnetischer Hilfsschichten, Shunt-Streifenleitern oder magnetostatisch gekoppelter Doppelschichten ferromagnetischen magneto-resistiven Materials und Kombinationen aller angegebenen Methoden.

Zur Verringerung des Temperaturkoeffizienten des magneto-resistiven Elementes ist eine mit der magneto-resistiven Funktionsschicht elektrisch verbundene Nebenschlusschicht 1c mit hohem negativen Temperaturkoeffizienten vorgesehen, welche den magneto-resistiven Effekt infolge ihres hohen Widerstandes nur wenig beeinflusst. Deren Dicke ist so bemessen, dass der schwach positive Temperaturkoeffizient des magneto-resistiven Materials zu Null kompensiert wird.

Das magneto-resistive Element wird mit dem Konstantstrom I betrieben, der über entsprechende Zuleitungen 4-5 zugeführt wird.

Eine sehr attraktive Lösungsvariante des Messfühlers zeigt Fig. 2, wobei das magneto-resistive Element aus vier Teilelementen 1d - 1f zusammengesetzt ist, die zu einer Wheatstone-Brücke elektrisch verbunden sind. Diese Variante zeichnet sich durch eine besonders hohe Linearität des Ergebnissignals vom zu messenden Signalfeld und eine nahezu vollständige Kompensation der Temperaturempfindlichkeit aus. Die Brücke wird dabei mit dem Strom 2I betrieben, die Differenzspannung U stellt das Ergebnissignal des Messfühlers dar.

Entsprechende Zuleitungen zur Messbrücke 6-10 sind vorgesehen.

Die Linearisierung des magneto-resistiven Effektes der Elemente der Messbrücke erfolgt ebenso, wie in Fig. 3 gezeigt wird, mittels schräg aufgebraachter metallischer Äquipotentialstreifen. Zur Erzielung einer entgegengesetzten Polarität der Widerstandsänderung benachbarter Brückenelemente sind die Metallstreifen gegen die Längsachse der Streifenleiter so orientiert, dass die Summe der Phasenwinkel zweier Metallstreifen benachbarter Brückenelemente 1d und 1e gegen diese Achse 180° beträgt.

In Fig. 4 ist ein Querschnitt senkrecht zur Substratebene quer zur Längsachse des magneto-resistiven Elementes dargestellt. Der isolierende Körper 2 und der Körper hoher magnetischer Leitfähigkeit 3 umgeben das magneto-resistive Element 1 U-förmig. Diese Variante bietet den Vorteil, dass die Shunt-Wirkung für ausgedehnte magnetische Felder verstärkt wird. Ein Streifenleiter 11 ist elektrisch isoliert über dem magneto-resistiven Element angeordnet und kompensiert das lokale magnetische Feld, welches auf das magneto-resistive Element wirkt, vollständig. Als Quelle des lokalen magnetischen Feldes dient ein stromführender Streifenleiter 12. Die komplette Anordnung wirkt daher als Nulldetektor in einem Regelkreis und zeichnet sich durch ein exakt linearisiertes Ergebnissignal aus, wobei eine Übersteuerung bzw. Sättigung des magneto-resistiven Messstreifens verhindert wird. Störungen infolge des Ummagnetisierungsprozesses der magnetischen Schicht entfallen daher.

In Fig. 5 ist die komplette Punktsonde zur Messung von örtlichen Magnetfeldern mit Halterungsvorrichtung 13 und planparalleler Stirnfläche 14 dargestellt. Als Halterung wird ein langgestreckter, dünner, zylinderförmiger Metallstab verwendet, in dessen Mantelfläche entsprechende Nuten 15 für die Zuleitungen zum Messfühler vorgesehen sind. Das örtliche magnetische Feld, welches den stromführenden Leiter 12 umgibt, berechnet sich nach der Beziehung $H_{\text{lok}} = I' / 2w$, wenn w die Breite dieses Leiters mit vernachlässigbarer Dicke ist. Aus dem Ergebnissignal der Messsonde kann daher bei bekannter Breite des stromführenden Leiters der Stromfluss I' ermittelt werden.

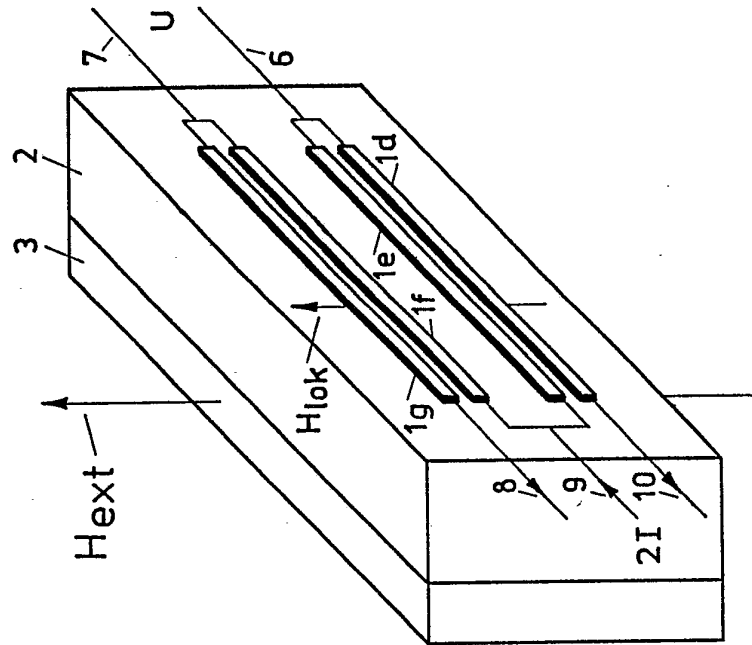


Fig. 2

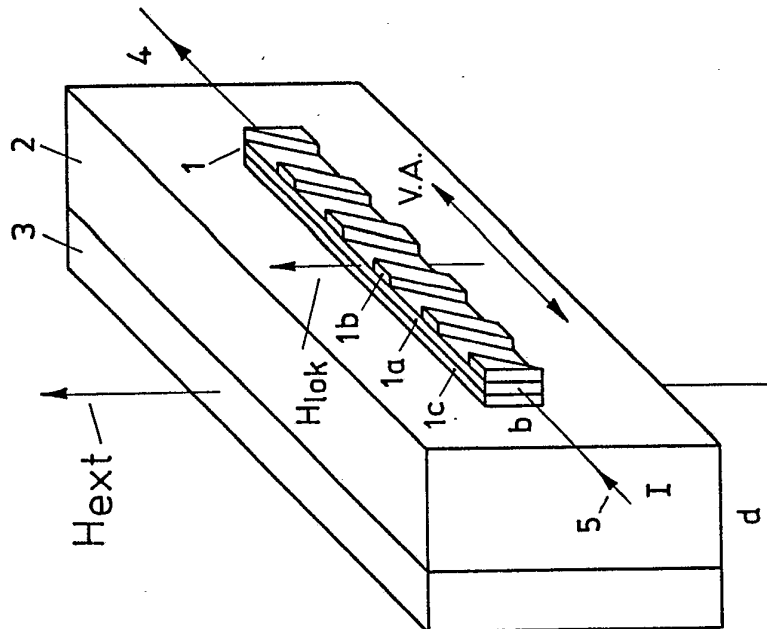


Fig. 1

