(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT

(12) **Patentschrift**

(11) **DE 3820475 C1**

(51) Int. Cl. 4:
G 11 B 5/39
H 01 F 10/12
H 01 F 10/14

(21) Aktenzeichen: P 38 20 475.4-53
(22) Anmeldetag: 16. 6. 88
(43) Offenlegungstag: —
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 21. 12. 89

DE 3820475 C1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

(73) Patentinhaber:
Kernforschungsanlage Jülich GmbH, 5170 Jülich, DE

(72) Erfinder:
Grünberg, Peter, Dr. Dipl.-Phys., 5170 Jülich, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 34 04 273 A1
EP 02 21 540 A2

(54) Magnetfeldsensor mit ferromagnetischer, dünner Schicht

Die Erfindung bezieht sich auf einen Magnetfeldsensor mit ferromagnetischer, dünner Schicht und zugehörigen Strom- und Spannungskontakten zum Auslesen magnetisch gespeicherter Daten. Bei diesem sind zwei über eine Zwischenschicht benachbarte ferromagnetische Schichten vorgesehen. Diese bestehen aus Materialien, die bewirken, daß ohne Mitwirkung eines äußeren Magnetfeldes die Magnetisierung der einen ferromagnetischen Schicht antiparallel zu der der anliegenden oder benachbarten ferromagnetischen Schicht ausgerichtet ist. Die Zwischenschicht besteht aus nichtmagnetischem Metall. Beim Magnetfeldsensor gemäß der Erfindung soll die Änderung des Magnetwiderstandes und damit das Meßsignal größer sein als bei den bisher bekannten Magnetfeldsensoren. Die Lösung hierfür besteht darin, daß die Zwischenschicht eine Dicke aufweist, die unterhalb der mittleren freien Weglänge der Elektronen liegt.

DE 3820475 C1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf einen Magnetfeldsensor mit ferromagnetischer, dünner Schicht und zugehörigen Strom- und Spannungskontakten zum Auslesen magnetisch gespeicherter Daten, bei dem zwei über eine Zwischenschicht benachbarte ferromagnetische Schichten vorgesehen sind, die aus Materialien bestehen, die bewirken, daß ohne Mitwirkung eines äußeren Magnetfeldes die Magnetisierung der einen ferromagnetischen Schicht antiparallel zu der der anliegenden oder benachbarten ferromagnetischen Schicht ausgerichtet ist, wobei die vorgesehene Zwischenschicht aus nichtmagnetischem Metall besteht.

Magnetfeldsensoren dieser Art sind aus der EP 02 21 540 A2 bekannt. Das Anwendungsgebiet dieser Magnetfeldsensoren ist in erster Linie das Auslesen magnetisch gespeicherter Daten (z. B. Festplatte, Floppy-Disk, Magnetbänder), aber auch alle Anwendungen, bei denen es auf den Nachweis von Magnetfeldern mit hoher Ortsauflösung ankommt.

Durch den Einfluß der aus dem Datenspeicher austretenden Magnetfelder wird die Magnetisierungsrichtung bzw. die Domänenstruktur in den magnetischen Schichten des Magnetfeldsensors verändert. Dies hat infolge des sog. anisotropen Magnetwiderstandseffektes eine Veränderung des elektrischen Widerstandes und damit Spannungsabfalls U zur Folge. Das damit erhaltene elektrische Signal wird sodann mit den bekannten Mitteln weiterverarbeitet. Bei einzelnen Filmen (meist aus Permalloy) beträgt die Änderung des Magnetwiderstandes, auf der das Meßsignal beruht, maximal ca. 3%. Zwar hängt die Güte des Meßsignals vornehmlich vom Signal-Rausch-Verhältnis ab. Dennoch ist auch eine Erhöhung des Meßsignals erwünscht.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, einen Magnetfeldsensor zu schaffen, bei dem die Änderung des Magnetwiderstandes und damit das Meßsignal größer ist als bei den bisher bekannten Magnetfeldsensoren.

Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird durch einen Magnetfeldsensor der eingangs bezeichneten Art dadurch gelöst, daß die vorgesehene Zwischenschicht eine Dicke aufweist, die unterhalb der mittleren freien Weglänge der Elektronen liegt. Schichtdicken, die diese Bedingung ebenfalls erfüllen, sind zwar der eingangs genannten Druckschrift zu entnehmen. Mit dem darin beschriebenen Sensor soll jedoch eine ganz andere Aufgabe gelöst werden. Die antiparallele Ausrichtung der Magnetisierung in der Schichtstruktur soll dort nämlich einen Ein-Domänen-Zustand herbeiführen, um das "Barkhausen"-Rauschen zu vermeiden, wobei die Zwischenschicht nicht notwendigerweise dünner sein muß als die mittlere freie Weglänge der Elektronen.

Mit der Mehrfachschicht gemäß der Erfindung wird eine Erhöhung des Meßsignals um wenigstens den Faktor 3 erzielt.

Die Lehre gemäß der Erfindung macht davon Gebrauch, daß die Änderung des Magnetwiderstandes, die das Meßsignal erzeugt, auf die magnetische Streuung von Leitungselektronen zurückzuführen ist. Diese beruht darauf, daß die magnetischen Momente von Elektronen, die eine magnetische Schicht durchlaufen, ausgerichtet werden. Gelangen diese nun, wie dies bei dem Magnetfeldsensor gemäß der Erfindung der Fall ist, von einer ferromagnetischen Schicht in die andere Schicht, die entgegengesetzt, d. h. antiparallel magnetisiert ist, so führt dies in höherem Maße, als dies beim bekannten Magnetfeldsensor der Fall ist, zu Streuprozessen. Diese wiederum führen zu erhöhten Magnetwiderstandsänderungen und zu höheren Meßsignalen.

Die antiparallele Ausrichtung der Magnetisierung über eine Zwischenschicht benachbarter ferromagnetischer Schichten, deren Dicke in der Regel zwischen 10 und 40 nm liegt, kann dadurch realisiert werden, daß benachbarte ferromagnetische Schichten aus Materialien mit unterschiedlichen Koerzitivfeldstärken H_c vorgesehen sind. Die beiden ferromagnetischen Schichten sind dabei durch eine Zwischenschicht aus nicht-magnetischem Metall entkoppelt. Die antiparallele Ausrichtung der Magnetisierung der Schichten wird in diesem Falle beim Durchlaufen der Magnetisierungskurve des Schichtpakets für bestimmte Werte eines äußeren Magnetfeldes erreicht, das beispielsweise durch einen Permanentmagneten erzeugt sein kann. Als Material mit großem H_c sind zweckmäßigerweise $SmCo_5$ für die eine ferromagnetische Schicht und als Material mit kleinem H_c für die andere ferromagnetische Schicht sind zweckmäßigerweise weichmagnetische Übergangsmetallegierungen, beispielsweise Permalloy, vorgesehen. Als nicht-magnetisches Metall der Zwischenschicht könnten beispielsweise V, Cu oder Au gewählt werden.

Die Dicke der Zwischenschicht soll unterhalb der mittleren freien Weglänge der Leitungselektronen liegen. Vorteilhaft ist jedoch bei der zuletzt genannten Ausführungsart des Magnetfeldsensors eine Zwischenschicht mit einer Dicke von 1 bis 4 nm, da hierdurch die magnetischen Schichten entkoppelt werden.

Eine nächste Ausführungsart des Magnetfeldsensors gemäß der Erfindung weist die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 6 auf. In diesem Falle wird die antiparallele Ausrichtung der Magnetisierung der ferromagnetischen Schichten durch antiferromagnetische Kopplung bewirkt. Die Zwischenschicht besteht dabei vornehmlich aus Cr oder Y. Ihre Dicke liegt im Bereich von 0,3 bis 2 nm. Sie ist bevorzugt einkristallin, wobei in der Regel — aufgrund der Herstellungsweise — auch die Schicht, auf der sie aufgewachsen ist, einkristallin ist.

Bei einer letzten Ausführungsart des Magnetfeldsensors gemäß der Erfindung sind (über eine Zwischenschicht) benachbarte ferromagnetische Schichten vorgesehen, wobei an einer der ferromagnetischen Schichten eine weitere Schicht aus antiferromagnetischem Material anliegt. Bei dieser Ausführungsart des Magnetfeldsensors wird durch Ausnutzen der sog. "Austausch-Anisotropie", die an der Grenzfläche zwischen einem Ferro- und einem Antiferromagneten auftreten kann und die zu einer Verschiebung der Hysteresekurve der an der antiferromagnetischen Schicht anliegenden ferromagnetischen Schicht führt, die antiparallele Ausrichtung der Magnetisierungen der ferromagnetischen Schichten unter Einsatz eines äußeren Magnetfeldes erreicht.

Die ferromagnetischen Schichten bestehen dabei zweckmäßigerweise aus weichmagnetischen Übergangsmetallegierungen (z. B. Permalloy). Die Dicke der Zwischenschicht beträgt vorteilhafterweise 1 bis 4 nm und das antiferromagnetische Material der weiteren Schicht ist zweckmäßigerweise MnFe.

Selbstverständlich können die Merkmale der verschiedenen Ausführungsarten in einem Magnetfeldsensor kombiniert sein.

Eine Ausführungsart eines Magnetfeldsensors gemäß der Erfindung ist in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im folgenden näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 Magnetfeldsensor bisheriger Ausführungsart mit magnetischem Datenspeicher;

Fig. 2a und 2b Querschnitt durch Mehrfachschicht eines Magnetfeldsensors mit Magnetisierungsrichtungen;

Fig. 3 Querschnitt durch zwei Schichten mit Elektron;

Fig. 4 Querschnitt durch eine Mehrfachschicht einer Ausführungsart eines Magnetfeldsensors gemäß der Erfindung mit über eine Zwischenschicht benachbarten ferromagnetischen Schichten;

Fig. 5 Querschnitt durch eine Mehrfachschicht einer Ausführungsart eines Magnetfeldsensors gemäß der Erfindung mit über eine Zwischenschicht benachbarten ferromagnetischen Schichten und einer weiteren Schicht.

Der in **Fig.** 1 dargestellte Magnetfeldsensor bekannter Ausführungsart besteht aus der ferromagnetischen, dünnen Schicht **1**, den Stromkontakten **2** für Strom *I* und den Spannungskontakten **3** für die Meßspannung *U*. Bei der Signalaufnahme wird der Magnetfeldsensor relativ zum Datenspeicher **4** in Richtung **5** bewegt. Wird dabei durch das Magnetfeld des Datenspeichers (gebogene Pfeile **6**) die Magnetisierung (Pfeilrichtung in der dünnen Schicht **1**) aus der Richtung parallel zum Stromfluß in die dazu senkrechte Richtung gebracht, so ändert sich der elektrische Widerstand (anisotroper Magnetwiderstandseffekt), was zu einer Änderung des Meßsignals (Spannungssignals) führt.

In **Fig.** 2 sind aus parallel zueinander angeordneten Schichten aufgebaute Mehrfachschichten eines Magnetfeldsensors mit durch die Pfeilrichtung angegebenen Magnetisierungsrichtungen dargestellt. **Fig.** 2a zeigt parallele Magnetisierungen der Schichten, **Fig.** 2b zeigt die erfindungsgemäße antiparallele Ausrichtung der Magnetisierungsrichtungen der Schichten.

Wie in **Fig.** 3 angedeutet, ist das magnetische Moment des Elektrons entsprechend der Magnetisierungsrichtung der Schicht, in welcher sich das Elektron befindet, ausgerichtet. Gelangt es in die andere Schicht, so besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, daß sein magnetisches Moment umklappt, was mit einem Streuprozeß verbunden ist und zur Änderung des elektrischen Widerstandes führt.

Bei der in **Fig.** 4 dargestellten Mehrfachschicht wird die antiparallele Ausrichtung auf zwei verschiedene Weisen erreicht. Ist das Material der Schicht *A* beispielsweise $SmCo_5$, das Material der Schicht *B* Fe und das Material der Schicht *C* Au, so sind die Schichten *A* und *B* durch die nicht-magnetische Schicht *C* entkoppelt, jedoch wird durch die unterschiedlichen Koerzitivfeldstärken H_c der Schichten *A* und *B* die antiparallele Ausrichtung der Magnetisierungen durch ein äußeres Feld herbeigeführt.

Ist das Material der Schicht *A* beispielsweise Fe, das Material der Schicht *B* Permalloy und das der Zwischenschicht *C* Cr (Schichtdicke 1 nm), so wird die antiparallele Magnetisierung der Schichten durch antiferromagnetische Kopplung bewirkt.

Fig. 5 zeigt die Mehrfachschicht einer weiteren Ausführungsart des Magnetfeldsensors gemäß der Erfindung, bei dem außer den Schichten *A, B* und *C* eine weitere Schicht *D* aus antiferromagnetischem Material (z. B. MnFe) vorgesehen ist. Das Material der Schichten *A* und *B* ist beispielsweise Permalloy, das der Schicht *C* (Schichtdicke etwa 3 nm) Cu. In diesem Falle ist die Hysteresekurve von Schicht *B* verschoben, die von Schicht *A* nicht. Beim Ummagnetisieren der Schicht *A* wird bei geeignetem äußeren Magnetfeld die Antiparallel-Stellung erreicht.

Patentansprüche

1. Magnetfeldsensor mit ferromagnetischer, dünner Schicht und zugehörigen Strom- und Spannungskontakten zum Auslesen magnetisch gespeicherten Daten, bei dem zwei über eine Zwischenschicht benachbarte ferromagnetische Schichten vorgesehen sind, die aus Materialien bestehen, die bewirken, daß ohne Mitwirkung eines äußeren Magnetfeldes die Magnetisierung der einen ferromagnetischen Schicht antiparallel zu der der anliegenden oder benachbarten ferromagnetischen Schicht ausgerichtet ist, wobei die vorgesehene Zwischenschicht aus nicht-magnetischem Metall besteht, **dadurch gekennzeichnet,** daß die vorgesehene Zwischenschicht *(C)* eine Dicke aufweist, die unterhalb der mittleren freien Weglänge der Elektronen liegt.

2. Magnetfeldsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für benachbarte ferromagnetische Schichten *(A, B)* Materialien mit unterschiedlichen Koerzitivfeldstärken H_c vorgesehen sind.

3. Magnetfeldsensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Material der einen ferromagnetischen Schicht *(A)* ein Material mit großem H_c, wie $SmCo_5$, und das Material der anderen ferromagnetischen Schicht *(B)* ein Material mit kleinem H_c, wie weichmagnetische Übergangslegierungen, ist.

4. Magnetfeldsensor nach einem der Ansprüche 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der Zwischenschicht *(C)* 1 bis 4 nm beträgt.

5. Magnetfeldsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß benachbarte ferromagnetische Schichten *(A, B)* aus Fe, Co, Ni und Legierungen hiervon vorgesehen sind, wobei das Material der Zwischenschicht *(C)* die antiparallele Ausrichtung der Magnetisierung der ferromagnetischen Schichten durch antiferromagnetische Kopplung bewirkt.

6. Magnetfeldsensor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht *(C)* aus Cr oder Y besteht.

7. Magnetfeldsensor nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens die Zwischenschicht *(C)* einkristallin ist.

8. Magnetfeldsensor nach Anspruch 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der Zwischenschicht *(C)* 0,3—2 nm beträgt.

9. Magnetfeldsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß benachbarte ferromagnetische Schichten *(A, B)* vorgesehen sind und daß an einer der ferromagnetischen Schichten eine weitere Schicht *(D)* aus antiferromagnetischem Material anliegt.

10. Magnetfeldsensor nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die ferromagnetischen Schichten *(A, B)* aus weichmagnetischem Übergangsmetall, wie Fe, Co, Ni oder Legierungen hiervon, bestehen.

11. Magnetfeldsensor nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der Zwischenschicht *(C)* 1 bis 4 nm beträgt.

12. Magnetfeldsensor nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das antiferromagnetische Material der weiteren Schicht *(D)* MnFe ist.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

Nummer: **38 20 475**
Int. Cl.[4]: **G 11 B 5/39**
Veröffentlichungstag: 21. Dezember 1989

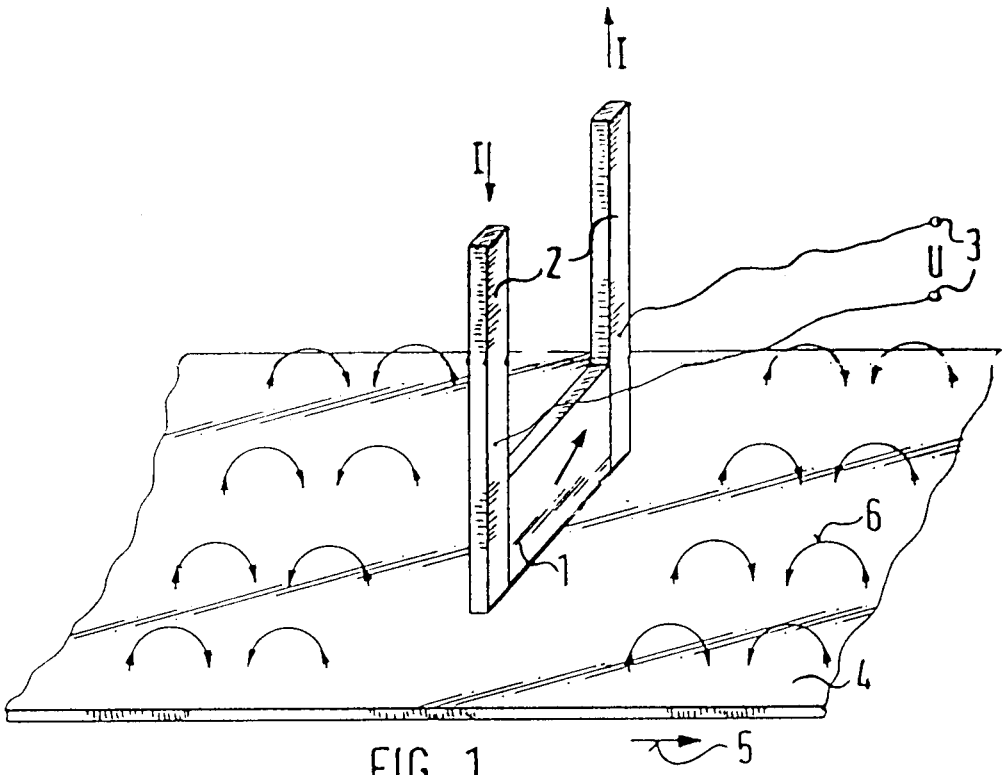


FIG. 1

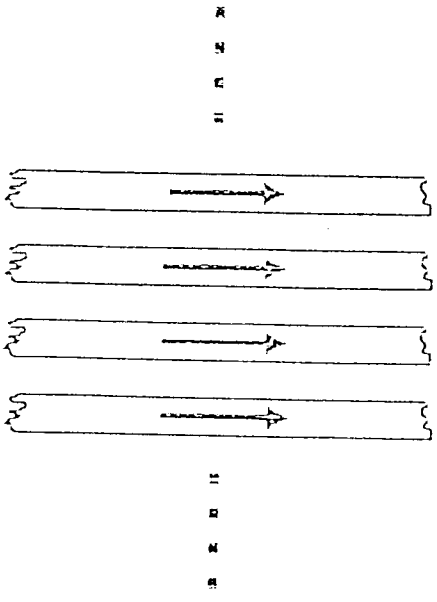


FIG. 2a

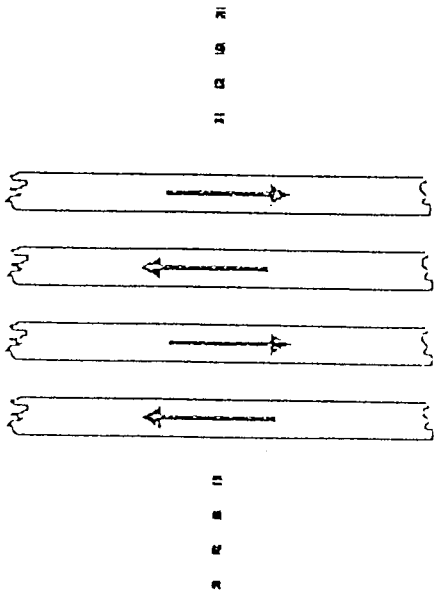


FIG. 2b

Nummer: 38 20 475
Int. Cl.[4]: G 11 B 5/39
Veröffentlichungstag: 21. Dezember 1989

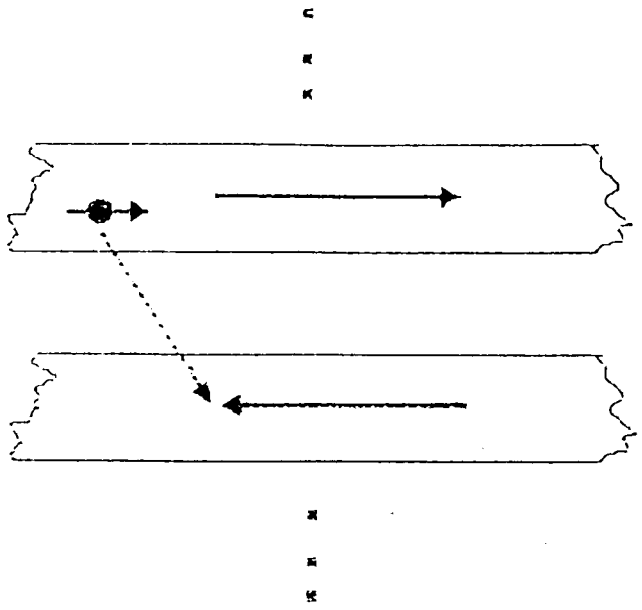


FIG. 3

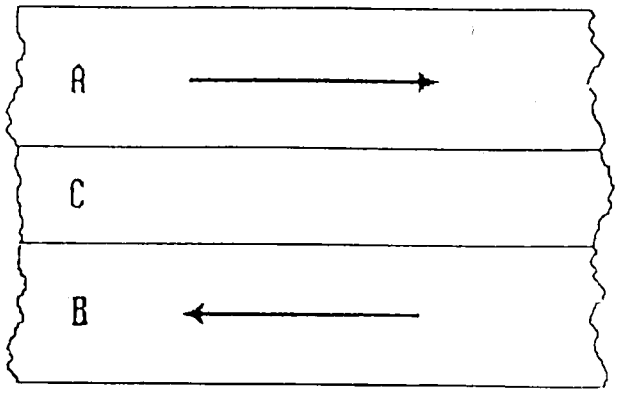


FIG. 4

Nummer: **38 20 475**
Int. Cl.[4]: **G 11 B 5/39**
Veröffentlichungstag: **21. Dezember 1989**

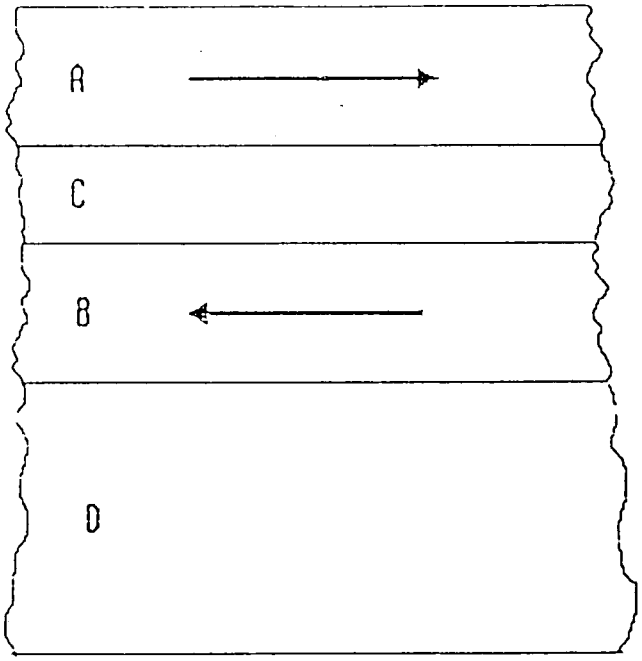


FIG. 5