



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 600 28 712 T2 2007.03.29

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 111 379 B1

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01N 27/90 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 28 712.2**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 306 991.1**

(96) Europäischer Anmeldetag: **16.08.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **27.06.2001**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **14.06.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **29.03.2007**

(30) Unionspriorität:  
**468845 22.12.1999 US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(73) Patentinhaber:  
**General Electric Co., Schenectady, N.Y., US**

(72) Erfinder:  
**Viertl, John Ruediger Mader, Niskayuna, New York 12309, US; Lee, Martin Kin-Fei, Niskayuna, New York 12309, US**

(74) Vertreter:  
**Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen**

(54) Bezeichnung: **Wirbelstromsonde mit einem auf einer flexiblen Sondenspitze aufgebrachten Foliensensor und deren Verwendung**

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 eingelebt, 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

**[0001]** Diese Erfindung betrifft eine Wirbelstromsonde zur Erfassung von Fehlstellen und Dicken der Oberfläche sowie einer unter der Oberfläche befindlichen Region eines leitfähigen Materials durch Induktion und Messung eines Wirbelstroms an der Oberfläche des Materials. Die Erfindung ist insbesondere zur Überprüfung von Oberflächenbeschichtungen, Rissen unter der Oberfläche und Oberflächendefektstellen in metallischen Werkstoffen und Halbleitermaterialien geeignet. Die Wirbelstromsonde kann auch zur Messung der Dicke einer Isolationsbeschichtung an einem metallischen Werkstoff oder einem Halbleitermaterial verwendet werden.

**[0002]** Wirbelstromsonden werden dazu verwendet, die Oberfläche von Metall- und Halbleiterobjekten zu überprüfen. In einer Anwendung werden Wirbelstromsonden zur Kontrolle der Oberflächen metallischer Objekte, wie beispielsweise Laufschaufeln von Dampf- und Gasturbinen, angewandt. Wirbelstromsonden ermöglichen einen zerstörungsfreien Test zur Kontrolle der Laufschaufeln.

**[0003]** Wirbelstromsonden werden auf die Oberfläche (oder in der Nähe der Oberfläche) des metallenen oder halbleitenden Objektes, das überprüft wird, angewandt. Um einen nützlichen Wirbelstrom auf eine leitfähige Oberfläche zu induzieren, wendet die Sonde ein elektromagnetisches Feld auf die Oberfläche an, um Wirbelströme zu induzieren. Dieses elektromagnetische Feld wird durch einen Strom in einer induzierenden (treibenden) Spule der Wirbelstromsonde hervorgerufen. Die Wirbelströme, die auf eine Oberfläche induziert werden, weisen eine verhältnismäßig geringe Energie auf und werden am besten durch Sonden erfasst, die auf (oder wenigstens in der Nähe) der Oberfläche platziert werden. Eine Erfassungsspule in der Wirbelstromsonde wird an einer Fläche angeordnet, so dass der Strom der Erfassungsspule durch die Oberflächenwirbelströme beeinflusst ist. Die Auswirkungen der Oberflächenwirbelströme auf die Ströme der Erfassungsspule werden durch der Sonde zugeordnete Verarbeitungsschaltungen gemessen. Um die Dicke einer Isolationsbeschichtung zu messen, werden die Wirbelströme auf einer leitenden oder halbleitenden Oberfläche unterhalb der Beschichtung gemessen. Diese Wirbelstrommessung ist für die Kopplung zwischen der Wirbelstromsonde und dem leitenden oder halbleitenden Objekt, das die Beschichtung aufweist, kennzeichnend. Diese Kopplung zwischen der Sonde und dem Teil ist von dem Abstand zwischen den Sonden- spulen und der leitenden oder halbleitenden Oberfläche unterhalb der Isolationsbeschichtung abhängig. Demgemäß kann die Dicke der Beschichtung aus den durch die Sonde gemessenen Wirbelströmen bestimmt werden.

**[0004]** Viele Objekte, die mit einer Wirbelstromsonde geprüft werden müssen, weisen komplexe Oberflächenkonturen auf. Beispielsweise weist eine Laufschaufel eine verwundene Schaufelblattsäule, einen Flansch und einen Tannenbaum förmigen Fuß auf. Eine Anwendung einer Wirbelstromsonde auf die Oberflächenkonturen einer Laufschaufel oder eines anderen Objektes gestaltet sich schwierig, insbesondere bei Roboter gesteuerten Prüfgeräten.

**[0005]** US-5 966 011 beschreibt einen Wirbelstromsensor mit einem flexiblen Träger, der aus einem Elastomermaterial mit einer daran angebundenen Membran hergestellt ist, wobei die Membran die primäre und die erfassende Spule enthält. Jedoch kann sich die Spitze der Wirbelstromsonde nicht an die Oberfläche des gerade geprüften Objektes anpassen. Wenn zwischen der Wirbelstromsonde und der Oberfläche kein guter Kontakt hergestellt ist oder wenn ein Luftspalt zwischen der Sonde und der Oberfläche vorhanden ist, kann die Sonde eventuell nicht in der Lage sein, die auf die leitende oder halbleitende Oberfläche induzierten Wirbelströme genau zu messen. In ähnlicher Weise kann die Spitze der Sonde gebrochen werden, wenn sie unter zu hoher Kraftanwendung auf die Oberfläche gedrückt wird.

**[0006]** Die neue Wirbelstromsonde, wie sie im Patentanspruch 1 definiert ist, löst diese Probleme.

**[0007]** Ein Folienstreifen ist um eine verformbare Nase an der Sensorspitze der Sonde herum gelegt, um eine flexible Deckung bzw. Verstärkung für die Spulen in dem Streifen zu schaffen. Diese Flexibilität ermöglicht den Spulen, dem Streifen und der Nase, sich an eine Oberfläche, die geprüft wird, anzupassen und einer Belastung beim Andrücken gegen die Fläche standzuhalten. Von dem Paar leitfähiger Spulen induziert die Induktionsspule (die treibende Spule) einen Wirbelstrom auf der Oberfläche eines Objektes, das geprüft wird. Die andere Spule (die Erfassungsspule) führt einen Strom, der durch den Magnetfluss induziert wird, der von den Wirbelströmen auf der leitenden oder halbleitenden Oberfläche herührt. Der induzierte Strom in der Erfassungsspule ist für die Oberflächenwirbelströme kennzeichnend und wird dazu verwendet, die Stärke dieser Oberflächenwirbelströme auf dem geprüften Objekt zu messen.

**[0008]** Der Folienstreifen der Wirbelstromsonde nimmt die induzierende und die erfassende Spule zwischen zwei flexiblen Filmen auf, die schichtweise zusammengefügt bzw. laminiert sind. Die Spulen können in der Mitte des Folienstreifens angeordnet und durch parallele Leitungsbahnen, die in Seitenrichtung entlang der Längserstreckung der Filme verlaufen, mit Anschlüssen an den Enden des Streifens verbunden sein. In dem Zentralbereich der Folie kann jede der Spulen in Form einer rechteckigen und spiralförmigen Spule angeordnet sein. Die Spulen kön-

nen gemeinsam in dem Streifen geschachtelt sein.

**[0009]** Der Folienstreifen mit den eingebetteten Spulen wird über eine flexible Nase der Wirbelstromsonde gelegt. Die Nase stellt eine weiche Basis bereit, um den Film und die Spulen zu tragen. Die Nase kann aus Silikonkautschuk oder einem anderen verformbaren Material gebildet sein. Für die Schleifanwendungen kann ein Gummimaterial, wie beispielsweise VITON™, erforderlich sein, das gegen die Wirkungen eines Schneidfluids beständiger ist. Die Basis der Nase ist an dem Sondengehäuse montiert. Die Außenfläche der Nase kann in Form einer gerundeten Rippe ausgebildet sein oder irgendeine andere Gestalt aufweisen, die der zur Messung vorgesehnen Oberfläche entspricht. Wenn die Nase gegen eine Fläche gedrückt wird, verformt sie sich und passt sich an diese Oberfläche an. Die Nase ist elastisch und nimmt ihre ursprüngliche Gestalt wieder ein, wenn sie von einer Oberfläche abgehoben wird. Der Folienstreifen ist um die Nase herum gelegt, um über der Außenfläche der Nase glatt zu passen. Demgemäß stellt die Nase eine Stützfläche für die Folie und die Spulen zur Verfügung und ermöglicht der Folie, sich zu verbiegen, wenn sie mit einer anderen Oberfläche in Kontakt kommt.

**[0010]** Wenn die Wirbelstromsonde auf der Oberfläche eines Objektes, das geprüft wird, positioniert wird, wird die Sensorspitze der Sonde gegen die Oberfläche mit einer ausreichenden Kraft gedrückt, um die Nase zu verformen und die Folie sowie die Spulen zu veranlassen, sich an die Konturen der Oberfläche anzupassen. Wenn sich die Spule an die Oberfläche angleicht, sind die Spulen an der Oberfläche richtig positioniert, um einen Wirbelstrom auf der Oberfläche zu induzieren und zu messen. Durch Drücken der Spulen flach gegen die Fläche sind die Spulen derart positioniert, dass sie unmittelbar an der Oberfläche anliegen und Luflöcher zwischen den Spulen und der Oberfläche eliminiert sind. Weil sich die induzierende Spule an der Oberfläche befindet, braucht der Strom in der Spule nur verhältnismäßig klein zu sein, um messbare Wirbelströme auf der leitenden oder halbleitenden Oberfläche zu induzieren. In ähnlicher Weise ermöglicht die Nähe der erfassenden Spule zu der Oberfläche, dass aufgrund der Wirbelströme auf der Oberfläche verhältnismäßig große Ströme in dieser Spule induziert werden. Demgemäß stellt die Fähigkeit, die Spulen an eine Fläche des gemessenen Objektes anzufügen und anzupassen, ein vorteilhaftes Merkmal der vorliegenden Wirbelstromsonde dar.

**[0011]** Das Anlegen des Folienstreifens und der Spulen der vorliegenden Wirbelstromsonde unmittelbar an der Oberfläche beruht zum Teil auf der verformbaren Nase an der Wirbelstromsonde. Wenn die Sonde mit der Oberfläche in Kontakt tritt, wird der Film durch die Nase der Sonde fest gegen die Ober-

fläche gedrückt. Wenn sich die Nase infolge der Kraft zwischen der Nase und der Oberfläche verformt, wird der Film flach gegen die Oberfläche gedrückt und liefert dadurch einen guten Kontakt zwischen dem Filmstreifen und der Oberfläche. Demgemäß ist die verformbare Nase hilfreich, um die Spulen zu veranlassen, sich an eine Oberfläche anzupassen, und somit gute Wirbelstrommessungen zu erzielen.

**[0012]** Die Sonde weist ferner einen Berührungs-auslöseschalter auf, der ein Signal erzeugt, wenn die Spitze der Sonde die Oberfläche eines Objektes berührt.

**[0013]** Die Erfindung ist nachstehend in größeren Einzelheiten zu Beispielszwecken mit Bezug auf die Zeichnungen beschrieben, in denen zeigen:

**[0014]** [Fig. 1](#) eine Wirbelstromsonde, wie sie Wirbelströme an der Oberfläche eines Objektes misst;

**[0015]** [Fig. 2](#) eine Seitenansicht der in [Fig. 1](#) veranschaulichten Wirbelstromsonde in einer Großaufnahme;

**[0016]** [Fig. 3](#) eine Explosionsansicht der Komponenten der in [Fig. 1](#) veranschaulichten Wirbelstromsonde;

**[0017]** [Fig. 4](#) eine ebene Ansicht einer flexiblen Folie mit eingebetteten Spulen, die eine Komponente der in [Fig. 1](#) veranschaulichten Wirbelstromsonde bildet; und

**[0018]** [Fig. 5](#) eine Querschnittsansicht der in [Fig. 4](#) veranschaulichten Folie, geschnitten entlang der Linie 5-5.

**[0019]** [Fig. 1](#) veranschaulicht eine Wirbelstromsonde **10**, die Wirbelströme **12** auf der Oberfläche **14** eines Objektes **16**, z.B. einer Turbinenlaufschaukel, die mit der Sonde geprüft wird, induziert und erfasst. Die Spitze **18** der Wirbelstromsonde weist eine induzierende Spule **20** (oder Treiberspule) auf, die einen Wechselstrom von einer Energieversorgung **27** führt. Der Wechselstrom von der Energieversorgung fließt durch die Induktionsspule **20** und erzeugt ein Magnetfeld, das die Spule umgibt. Der von der Induktionsspule herrührende Magnetfluss erzeugt Wirbelströme **12** auf der Oberfläche **14** und in der Umgebung der Sondenspitze. Es ist auch ein Berührungs-auslöseschalter (**40**) veranschaulicht.

**[0020]** Die Spitze **18** der Wirbelstromsonde **10** weist eine erfassende Spule **22** auf. Die erfassende Spule ist auf die Wirbelströme **12** auf der Oberfläche des geprüften Objektes und in der Umgebung der Wirbelstromsonden spitze empfindlich. Die Wirbelströme beeinflussen das Magnetfeld in der unmittelbaren Umgebung der Oberfläche. Die erfassende Spule **22**

befindet sich in diesem Magnetfeld, das durch die Wirbelströme auf der Oberfläche erzeugt wird. Der von den Wirbelströmen herrührende Magnetfluss ruft den Strom in der erfassenden Spule **22** hervor. Die Auswirkungen der Oberflächenwirbelströme auf den Strom in der erfassenden Spule werden durch Verarbeitungsschaltkreise **25** erfasst, die mit der Wirbelstromsonde gekoppelt sind.

**[0021]** Die Wirbelstromsonde kann durch eine Koordinatenmessmaschine **23** oder eine Rechner gestützte numerische Steuerungsmaschine (CNC-Maschine) von einer Oberflächenstelle zu einer anderen bewegt werden. Während sich die Wirbelstromsonde von einer Oberflächenstelle zu einer anderen bewegt, werden Wirbelstrommessungen an jeder Stelle vorgenommen und durch die Verarbeitungsschaltungen **25** analysiert. Die Wirbelstromdaten von der Verarbeitungsschaltung werden zu einer Wirbelstromanzeige **29** oder einer sonstigen Vorrichtung ausgegeben, in der die Wirbelstromdaten mit den Oberflächenstellen, an denen diese Daten gewonnen worden sind, in Beziehung gebracht bzw. korriert und ausgewertet werden.

**[0022]** Die Ströme der Erfassungsspule **20** in der Wirbelstromsonde **10** liefern eine Information über die Wirbelströme auf der Oberfläche des geprüften Objektes. Die Stromsignale von der erfassenden Spule der Wirbelstromsonde werden durch die Verarbeitungsschaltungen analysiert, um eine Information darüber zu erzeugen, ob sich die Wirbelströme an irgendeiner Oberflächenstelle abrupt verändern, was eine Defektstelle in der Oberfläche anzeigen könnte. Die Stromsignale von der erfassenden Spule liefern ferner eine Information hinsichtlich der relativen Amplitude der Wirbelströme an einer Oberflächenstelle im Vergleich zu einer anderen Oberflächenstelle. Die Verarbeitungsschaltungen erzeugen Informationen in Form von Berichten, Anzeigebildern und/oder Graphen, die veranschaulichen, wo auf der Oberfläche eines Objektes die Wirbelströme stark sind und wo sie schwach sind.

**[0023]** Wenn eine leitfähige Oberfläche eine nicht leitende Beschichtung **31** aufweist, können die Wirbelströme auf der leitenden verdeckten Fläche **33** unterhalb der Beschichtung fließen. Die Wirbelstromsonde ist von den Wirbelströmen durch die Dicke der Beschichtung **31** getrennt. Die relative Stärke der Wirbelströme, wie sie durch die Sonde erfasst wird, ist auf die Dicke der Beschichtung über der leitfähigen Oberfläche zurückzuführen. Demgemäß kann die relative Wirbelstromstärke des durch die erfassende Spule aufgenommenen Signals dazu verwendet werden, die Dicke der Beschichtungen **31** über der verdeckten Fläche **33** zu messen. Durch Vergleich von von der Sonde erhaltenen Informationen darüber, wo die Wirbelströme stark und wo sie schwach sind, kann die relative Dicke einer Be-

schichtung auf der Oberfläche des Objektes bestimmt werden.

**[0024]** [Fig. 2](#) zeigt eine Ausführungsform einer Wirbelstromsonde **10**, die ein geschossförmiges metallenes Gehäuse **24**, eine Sondenspitze **18** an einem Ende des Gehäuses und eine Basis **38** aufweist, die eine Halterung für das Gehäuse und die Sonde zur Verfügung stellt. Die Spitze der Sonde enthält das Paar von induzierenden und erfassenden Spulen **20**, **22**, die in einem Folienstreifen **26** eingebettet sind. Der Streifen **26** ist um eine Nase **28** herum gelegt bzw. umhüllt eine Nase **28**, die aus einem weichen und formbaren Material gebildet ist. Die Erfassungsspulen **20**, **22** in dem Streifen **26** sind über der Spitze der Nase **28** derart ausgerichtet, dass sie sich an dem äußersten Ende der Wirbelstromsonde befinden. Die gegenüberliegenden Enden **30** (von denen ein Ende in [Fig. 1](#) veranschaulicht ist, während das andere Ende bei der Ansicht verdeckt liegt) des Streifens **26** sind an schmalen Abschnitten einer gedruckten Leiterplatte (PCB, Printed Circuit Board) **32** befestigt, die an dem Sondengehäuse **24** angebracht ist. Leitungen **34** in dem Folienstreifen verbinden die Leiterplatte mit den Spulen **20**, **22**. Die PCB **32** weist elektrische Anschlüsse **35** auf, die die Leitungen und Spulen in dem Folienstreifen mit einem externen elektrischen Anschluss verbinden. Verbindungsleitungen **36**, die an den Anschlüssen der PCB angebracht sind, verbinden die Spulen und ihre Leitungen mit der Verarbeitungsschaltung **25** und der Energieversorgung **27**. Außerdem weist der Folienstreifen zwischen der PCB und der Spitze der Nase eine Einschnürung **38** auf, um es zu erleichtern, ihn um die Nase der Sonde herum zu legen.

**[0025]** Die Sonde **10** kann an einer Koordinatenmessmaschine **23** oder einer CNC-Maschine angebracht sein, die die Spitze der Sonde an der Oberfläche eines gerade geprüften Objektes genau positioniert. Die Koordinatenmessmaschine lokalisiert die Oberflächenposition, an der eine Wirbelstrommessung vorgenommen werden soll. Ein (nicht veranschaulichter) Computer bringt die Oberflächenstelle der Sonde mit den von der Sonde gewonnenen Wirbelstromdaten in Beziehung bzw. korriert diese. Diese Korrelation ermöglicht eine Abbildung der Wirbelstromdaten auf ein Bild oder eine Zeichnung der Oberfläche des Objektes, das gemessen wird.

**[0026]** Die Wirbelstromsonde **10** ist an einem Berührungsauflösesondenschalter **40**, beispielsweise einem Schalter Renishaw™ TP2, angebracht. Ein Berührungsauflösesondenschalter erzeugt ein Signal, wenn die Spitze der Wirbelstromsonde die Oberfläche eines Objektes berührt. Wenn die Wirbelstromsonde **10** an einem Berührungsauflösesondenschalter **40** angebracht ist, wird durch den Schalter **40** ein Signal erzeugt, wenn die Spitze **18** der Wirbelstromsonde mit der Oberfläche eines Objektes in Be-

rührung kommt. Der Berührungsaußesondenschalter kann eingestellt sein, um die Stärke der auf die Spitze **18** der Sonde **10** auszuübenden Kraft festzusetzen, die den Berührungsenschalter **40** veranlasst, ein Signal zu erzeugen. Die Krafteinstellung für den Berührungsaußesondenschalter **40** kann derart gewählt werden, dass sie ausreichend hoch ist, um zu bewirken, dass die Spitze **18** der Wirbelstromsonde fest gegen die Oberfläche des gemessenen Objektes gedrückt wird und dass dadurch die Nase **28** verformt wird und die Spulen **20, 22** auf der Oberfläche flach gedrückt werden. Der Berührungsaußesondenschalter stellt sicher, dass die Spulen **20, 22** fest gegen eine Oberfläche anliegen, bevor ein Signal erzeugt wird, das anzeigt, dass die Wirbelstromsonde an einer Oberfläche platziert ist. Außerdem stellt der Berührungsaußesondenschalter **40** sicher, dass die Kraft zwischen der Sondenspitze **18** und einer Oberfläche jedes Mal, wenn eine Wirbelstrommessung an einer Oberfläche vorgenommen wird, im Wesentlichen die gleiche Kraftamplitude aufweist. Das von dem Berührungsaußesondenschalter hervorrende Signal kann auch dazu verwendet werden, eine Wirbelstrommessung an der Oberflächenstelle, die durch die Koordinatenmessmaschine ausgewählt ist, zu starten.

**[0027]** Im Betrieb bewegt die Koordinatenmessmaschine **23** die Wirbelstromsonde zu einer vorbestimmten Position auf der Oberfläche des Objektes, das geprüft wird. An dieser Oberflächenposition wird die Spitze der Wirbelstromsonde gegen die Oberfläche gedrückt, bis die weiche Nase **28** der Sonde sich verformt und bewirkt, dass sich die Spulen **20, 22** an die Konturen einer Oberfläche anpassen. Wenn die auf die Spitze der Sonde durch die Oberfläche ausgeübte Kraft die Krafteinstellung des Berührungsaußesondenschalters **40** übersteigt, wird durch den Schalter ein Signal erzeugt, der die Bewegung der Wirbelstromsonde durch die Koordinatenmessmaschine anhält und einen Wirbelstrommessvorgang startet. Dieser Prozess wird jedes Mal, wenn die Wirbelstromsonde zu einer neuen Oberflächenstelle auf dem geprüften Objekt überführt wird, wiederholt.

**[0028]** [Fig. 3](#) veranschaulicht eine explodierte Seitenansicht der Wirbelstromsonde **10**. Das Gehäuse **24** enthält eine kreisförmige Ausnehmung **42**, die eine Feder **44** und einen Kolben **46** aufnimmt, die verwendet werden, um die Wirbelstromsonde an einen Berührungsaußesondenschalter anzukoppeln. Das zylindrische Gehäuse **24** passt auf einen Stab an dem Ende eines Berührungsaußesondenschalters **40** (wie er in [Fig. 3](#) durch den Berührungsfinger **48** des Schalters veranschaulicht ist). Ein Schlitz **50** in der Seite des Gehäuses nimmt eine Schraube **52** auf, die sich von der Seite des Berührungsaußesondenschalters nach außen erstreckt. Die durch den Schlitz und die Schraube gebildete Verbindung ermöglicht eine begrenzte Hin- und Herbewegung zwischen der Wirbel-

stromsonde und dem Berührungsaußesondenschalter. Der Kolben **46** sitzt an dem Ende des Berührungsaußesondenschalters auf, während die Feder **44** die Wirbelstromsonde von dem Berührungsaußesondenschalter nach außen vorspannt. Die Steifigkeit der Feder sollte höher sein als die der verformbaren Nase **28** an der Wirbelstromsonde. Wenn die Spitze **18** der Wirbelstromsonde eine Oberfläche berührt, verformt sich die Nase, wobei dann die Feder **44** der Wirbelstromsonde ermöglicht, etwas in den Berührungsaußesondenschalter hinein zu gleiten, bis der Auslösefinger **48** den Grund der Ausnehmung **42** in dem Gehäuse **24** der Wirbelstromsonde berührt. Wenn der Finger **48** mit dem Grund der Sondenausnehmung in Berührung kommt, erzeugt der Berührungsaußesondenschalter **40** ein Signal, um eine weitere Bewegung der Wirbelstromsonde durch die Koordinatenmessmaschine zu stoppen.

**[0029]** Die weiche Nase **28** ist durch einen Klebstoff an dem vorderen Ende des Gehäuses **24** angebracht. Die Nase kann aus einem Silikonkautschuk oder aus Viton™ gebildet sein und eine Außenfläche aufweisen, die zu einer gerundeten Rippe gestaltet ist. Die Gestalt der Nase kann von den Konturen der Oberfläche, gegen die die Nase platziert wird, abhängig sein. Die Nase ist absichtlich verformbar, so dass sie einen flachen Kontaktbereich mit einer Fläche bilden kann, wenn sie gegen diese Fläche gedrückt wird. Die Spulen **20, 22** und der Folienstreifen **26** sind zwischen dem Kontaktbereich der Nase **28** und der Fläche eingefügt, um sicherzustellen, dass die Spulen richtig an der Oberfläche platziert sind. Weil sich die Nase verformt, kann sie und können die Spulen sich ohne weiteres an unregelmäßige Oberflächenformen oder geringfügige Fehlausrichtungen zwischen der Sonde und der Oberfläche anpassen.

**[0030]** Der Folienstreifen **26** ist um die Außenfläche der Nase **28** herumgelegt bzw. umhüllt diese. Die Nase bietet eine Verstärkung und Stütze für den Folienstreifen. Der Folienstreifen kann an der Nase durch einen Klebstoff oder durch Sicherung der Enden des Streifens an der Leiterplatte **32** angebracht sein. Die Spulen **20, 22** in dem Streifen sind mit der Rippe der Nase **28** ausgerichtet, um an dem äußeren Ende der Wirbelstromsonde angeordnet zu sein.

**[0031]** [Fig. 4](#) zeigt eine ebene Ansicht des Streifens eines flexiblen Folienstreifens **26** mit eingelassenen Spulen **20, 22**. Der Streifen **26** ist durch einen oberen Folienfilm und einen unteren Folienfilm gebildet, wobei die Spulen **20, 22** und Leitungen **24** zwischen den Folienstreifen aufgenommen und auf diesen angeordnet sind. Die Folienstreifen sind aus verkupferter KAPTON™ gebildet. Ein Klebstoff wird dazu verwendet, den oberen und den unteren Folienfilm aneinander zu fügen und die Spulen in dem Folienstreifen dicht einzuschließen. Der Klebstoff kann mittels Wärme verfestigt werden, nachdem der obere und der

untere Folienfilm sowie die Spulen zu dem Folienstreifen zusammengefügt worden sind. Die Leitungen und Spulen sind zwischen den Filmen angeordnet, und die Filme, Leitungen und Spulen werden durch Wärme zusammengefügt, um den Verbundfolienstreifen zu bilden.

**[0032]** Die Spulen **20, 22** können in Form einer ineinanderschachtelung rechteckiger Drahtschlaufen angeordnet sein, die in Richtung auf die Mitte der rechteckigen Anordnung immer kleiner werden. Alternativ können die Spulen durch einen Draht gebildet sein, der in einer kreisförmigen Anordnung spiralförmig verläuft. Derartige Anordnungen von Spulen sind in der auf die gleiche Anmelderin lautenden US-Patentschrift Nr. 4 593 245 mit dem Titel „Eddy Current Method for Detecting A Flaw in Semi-Conductive Material“ veranschaulicht.

**[0033]** [Fig. 5](#) zeigt eine Querschnittsdarstellung der Folie, die die laminierten Folienschichten veranschaulicht, die die Spulenanordnungen tragen. Beispielsweise kann die Spulenanordnung über die Folienschichten L1 (**64**), L2 (**66**) und L3 (**68**) verteilt sein, die einander überlagernd angeordnet sind. Wärmeempfindliche Klebstoffe **69** fügen die Schichten zu einem Schichtstoffverbund zusammen. Die obere Schicht (L1) weist eine Erfassungsspule **22** und eine induzierende Spule (Treiberspule) **20** auf. Die zweite Schicht (L2) weist eine zweite Treiberspule **70** auf, während die dritte Schicht (L3) eine zweite Erfassungsspule **72** aufweist. Eine elektrische Verbindung von einem Ende der Treiberspule in der Schicht (L1) erstreckt sich durch diese Schicht (L1) hindurch zu der Treiberspule in der zweiten Schicht (L2), um einen vollständigen Treiberspulenkreis zu bilden. Die Rückleitung der Treiberspule in der zweiten Schicht (L2) ist durch diese hindurch zu der Schicht (L1) zurückgeführt. Die Rückleitung für den Treiberspulenkreis endet an einem vergoldeten Kontakt an der Oberseite der ersten Schicht (L1) und in der Nähe der Zuleitung zu der Treiberspule in der ersten Schicht (L1). Die erfassende Spule ist ebenfalls auf der ersten Schicht strukturiert und erstreckt sich durch die zweite Schicht (L2), um mit der Erfassungsspule auf der dritten Schicht (L3) verbunden zu sein. Die Rückleitung für die Erfassungsspule erstreckt sich von der dritten Schicht (L3) durch die zweite und die erste Schicht hindurch und endet an einem vergoldeten Kontakt auf der Oberseite der ersten Schicht. In der Tat können sämtliche elektrische Kontaktflächen zur Verbindung mit den Spulen zu der Oberseite der Schicht L1 geführt sein.

**[0034]** Die Treiberspulen sind in Reihe angeschlossen. Diese sind durch rechteckige spiralförmige Spulen gebildet. Die Erfassungsspulen sind in Form einer einzelnen Windung oder einiger weniger Windungen auf jeder Schicht (L1) und (L3) angeordnet. Die Erfassungsspulen können auch für Anwendungen zur

Bestimmung der Dicke einer Beschichtung auf einer leitfähigen Oberfläche in Reihe miteinander verbunden sein. Es sind andere Anschlusskombinationen, wie beispielsweise parallele oder Doppelkreisverbindungen mit symmetrischem Paar, für unterschiedliche Funktionen möglich.

**[0035]** Jede dieser Treiber- und Erfassungsspulen in der ersten Schicht (L1) ist mit der darunter befindlichen Treiber- oder Erfassungsspule genau ausgerichtet. Die Befestigungslöcher sind ebenfalls in Bezug auf die Spulenanordnung genau positioniert. Eine Kontrolle dieser Geometrieparameter stellt das Mittel zur Aufrechterhaltung einer sehr einheitlichen Funktionsweise zwischen einzelnen Sondenfolien bereit. Die Spulen sind auf dünnen Folienbahnen aus KAPTON™ hergestellt, die die Metallisierungsmuster aus Kupfer tragen. Unter Verwendung von Referenzmarkierungen auf den Schichten werden die Folienbahnen mit einem Klebstoff zusammengefügt. Gängig wird eine nicht metallisierte KAPTON™-Folienbahn sowohl an der Oberseite von L1 als auch an dem Boden von L3 angeklebt, um einen Schutzüberzug zu bilden. Die vergoldeten Kontaktflächen sind nicht mit einer KAPTON™-Schicht überzogen. Die Drahtspulen können auch andere Anordnungen als rechteckige Anordnungen, beispielsweise kreisförmige, spiralförmige oder elliptische Spulenanordnungen, aufweisen.

**[0036]** Der Folienstreifen enthält die induzierende Spule **20** und die erfassende Spule **22** sowie die Leitungen **34**, die sich von den Spulen aus zu den Metallkontakte **54** an den gegenüberliegenden Enden des Streifens erstrecken. Die Leitungen **34**, die zu der induzierenden Spule **20** führen, können sich zu einem Kontaktpaar **54** an dem rechten Ende des Streifens erstrecken, während die Leitungen, die zu der erfassenden Spule **22** führen, zu einem anderen Paar von Kontakten **54** an dem linken Ende des Streifens verlaufen können, oder umgekehrt. Die Leitungen und Spulen können durch feine Kupferdrähte gebildet sein, die eine Breite von ungefähr zwei Tausendstel eines Zolls (zwei Millizoll) und eine Dicke zwischen 0,1 und 0,5 Millizoll aufweisen. Auf gegenüberliegenden Seiten der Drähte sind Erdungsstreifen **70** angeordnet, die sich von den Spulen zu den Kontakten **54** erstrecken. Der Erdungsstreifen ist durch einen leitfähigen Streifen, z.B. aus Kupfer, gebildet, der eine elektromagnetische Abschirmung für die Spulen und Leitungen bereitstellt. Die Erdungsstreifen können Kontakte **58** aufweisen, die mit leitfähigen Anschlüssen **60** ([Fig. 2](#)) verbunden sind, die auf den Erdungsstreifen abgestimmt sind. Die Enden des Folienstreifens **26** weisen Löcher **60** auf, durch die Schrauben **62** ([Fig. 2](#)) hindurch verlaufen, um den Streifen und die Leiterplatte **32** an dem Sondengehäuse **34** zu befestigen.

## Patentansprüche

1. Wirbelstromsonde (10), die aufweist:  
 ein Gehäuse (24);  
 eine Nase (28) aus einem verformbaren Material, das an einer Spitze (18) des Gehäuses befestigt ist;  
 einen flexiblen Streifen (26), der der Nase zugeordnet ist, wobei der flexible Streifen eine induzierende Spule (20) und eine erfassende Spule (22) enthält;  
 und  
 eine Kopplung (36) zur Verbindung der induzierenden Spule mit einer Energieversorgung (27) und zur Verbindung der erfassenden Spule mit einem Wirbelstromsignalverarbeitungssystem (25), **dadurch gekennzeichnet**, dass  
 der flexible Streifen (26) über einer Außenfläche der Nase (28) gelegt ist und  
 das Gehäuse (24) mit einem Berührungsaußenschalter (40) verbunden ist, der ein Signal erzeugt, wenn die Spitze (18) der Wirbelstromsonde (10) die Oberfläche eines Objektes berührt.

2. Wirbelstromsonde (10) nach Anspruch 1, wobei der flexible Streifen (26) ein Paar stromleitender Leitungen (34) zwischen der induzierenden Spule und einem Verbinderpaar (35) an dem ersten Ende (30) des flexiblen Streifens (26) enthält.

3. Wirbelstromsonde (10) nach Anspruch 2, wobei der flexible Streifen (26) ein zweites Paar stromleitender Leitungen (34) zwischen der erfassenden Spule (22) und einem zweiten Ende (30) des flexiblen Streifens (26), das dem ersten Ende (30) gegenüberliegt, enthält.

4. Wirbelstromsonde (10) nach Anspruch 3, wobei der flexible Streifen (26) Erdungsschirme (56) enthält, die die stromleitenden Leitungen begrenzen, die sich von der erfassenden Spule aus erstrecken.

5. Wirbelstromsonde nach Anspruch 1, wobei die Außenfläche der Nase (28) die Gestalt einer gerundeten Rippe aufweist.

6. Wirbelstromsonde nach Anspruch 1, wobei die Nase (28) Silikonkautschuk aufweist.

7. Wirbelstromsonde nach Anspruch 1, wobei das Gehäuse (24) einen zylindrischen Körper mit einer Ausnehmung in einem Ende zur Aufnahme eines Fingers (48) des Berührungsaußenschalters (40) aufweist.

8. Wirbelstromsonde nach Anspruch 7, wobei die Ausnehmung ferner eine Schraubenfeder und einen Kolben aufnimmt, der mit dem Berührungsaußenschalter (40) in Verbindung steht.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

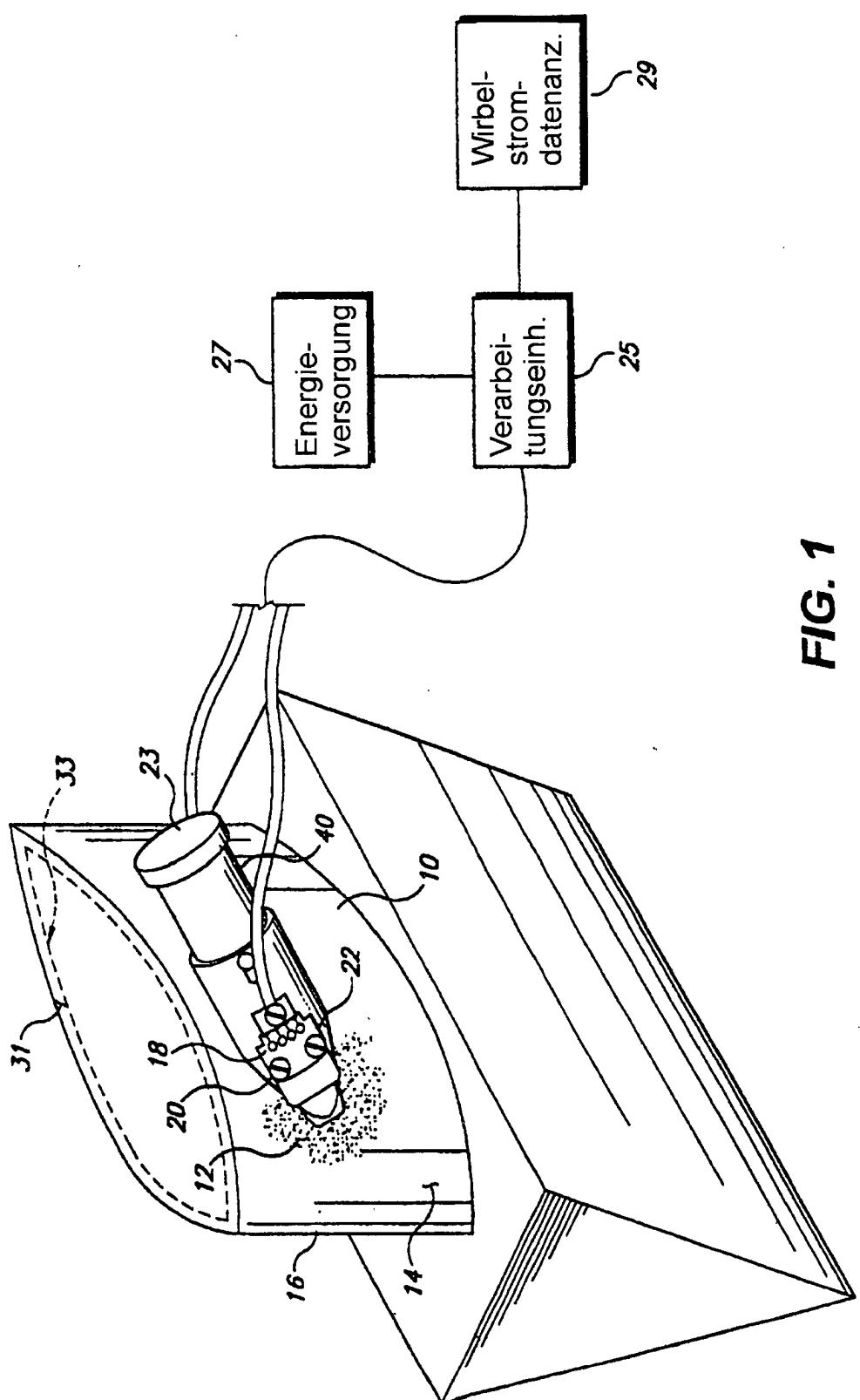
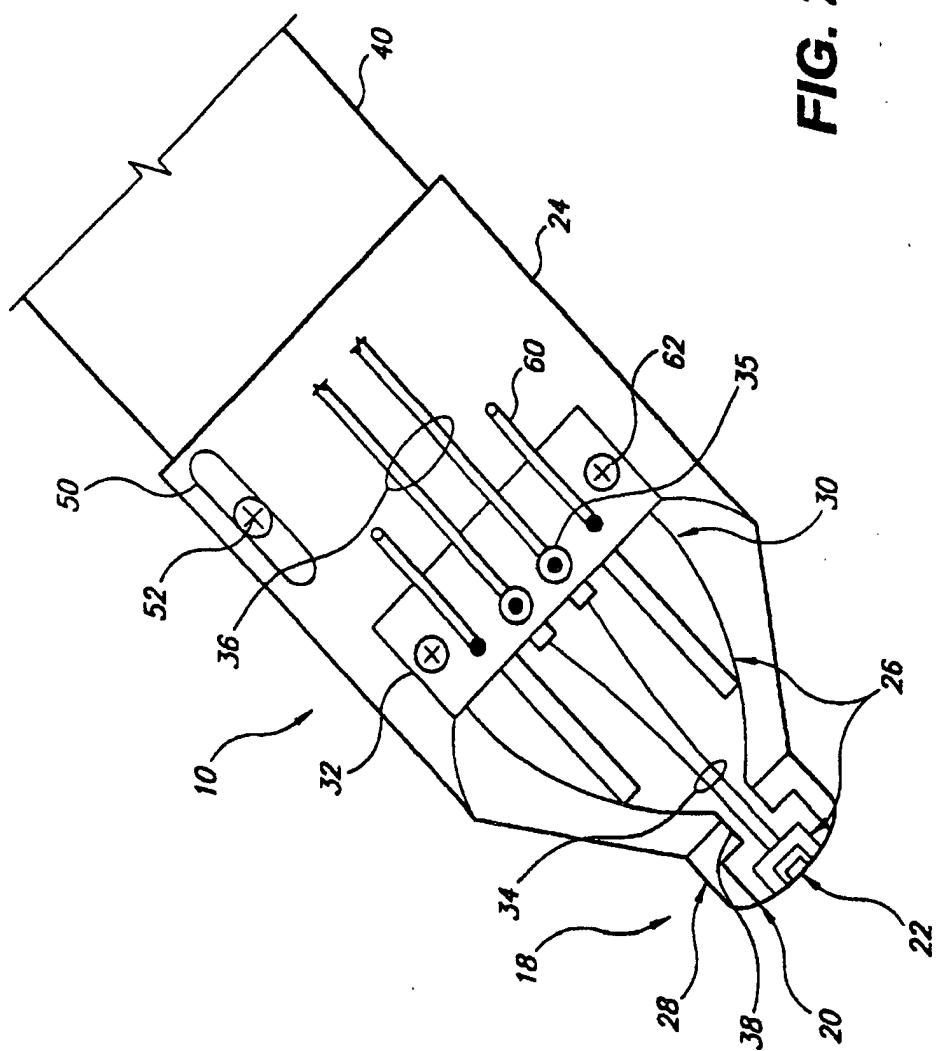


FIG. 1

FIG. 2



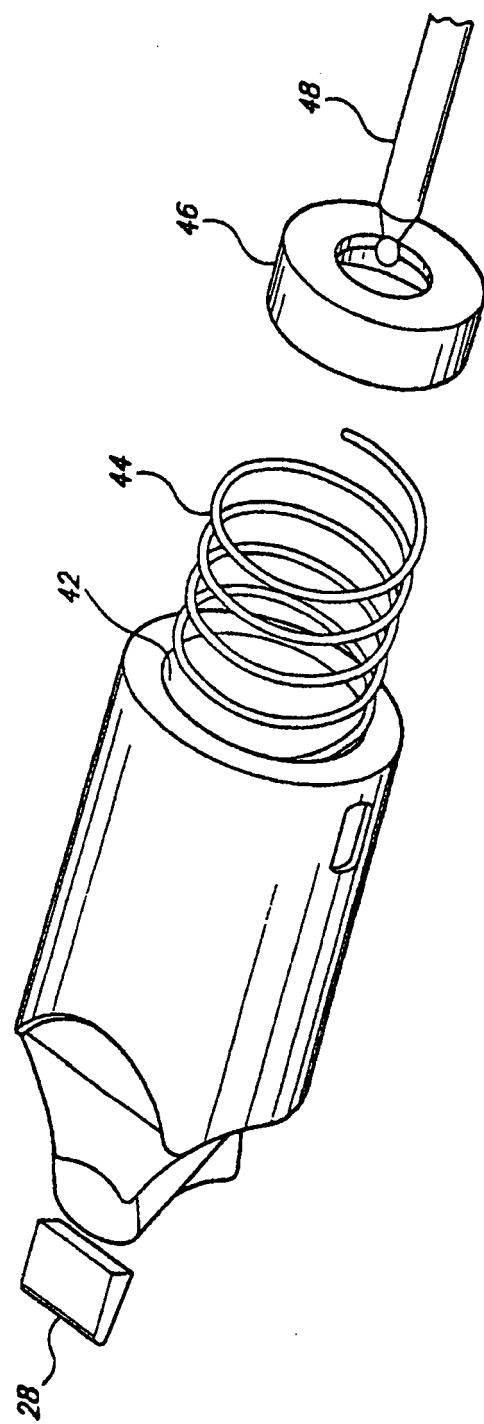


FIG. 3

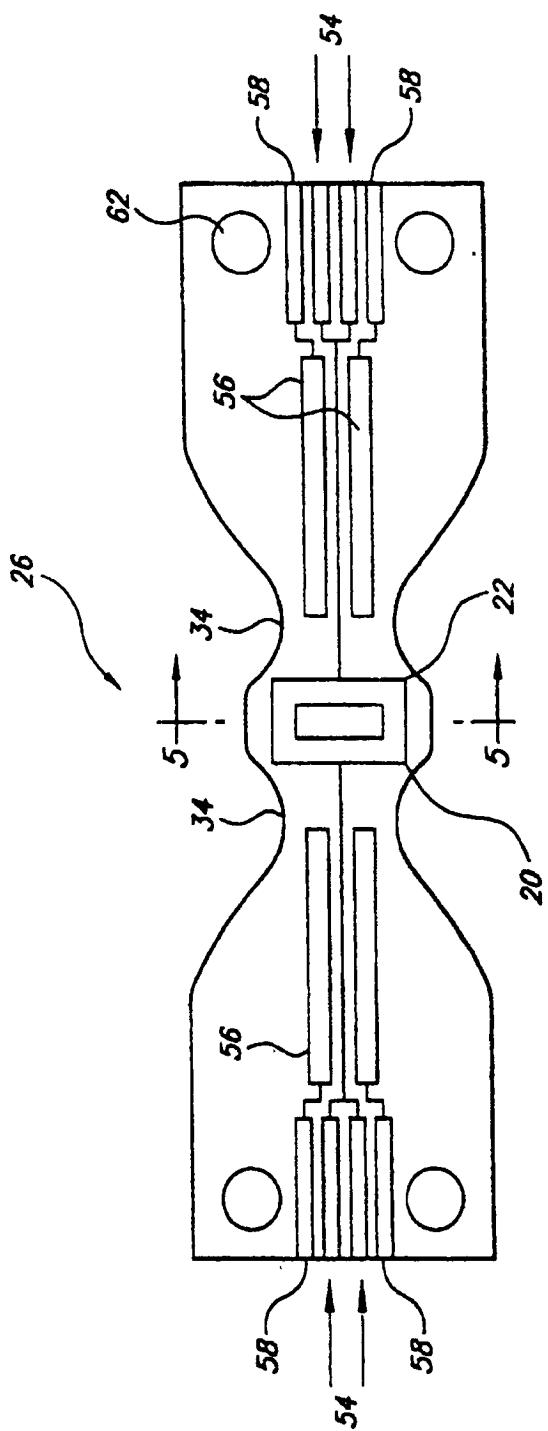
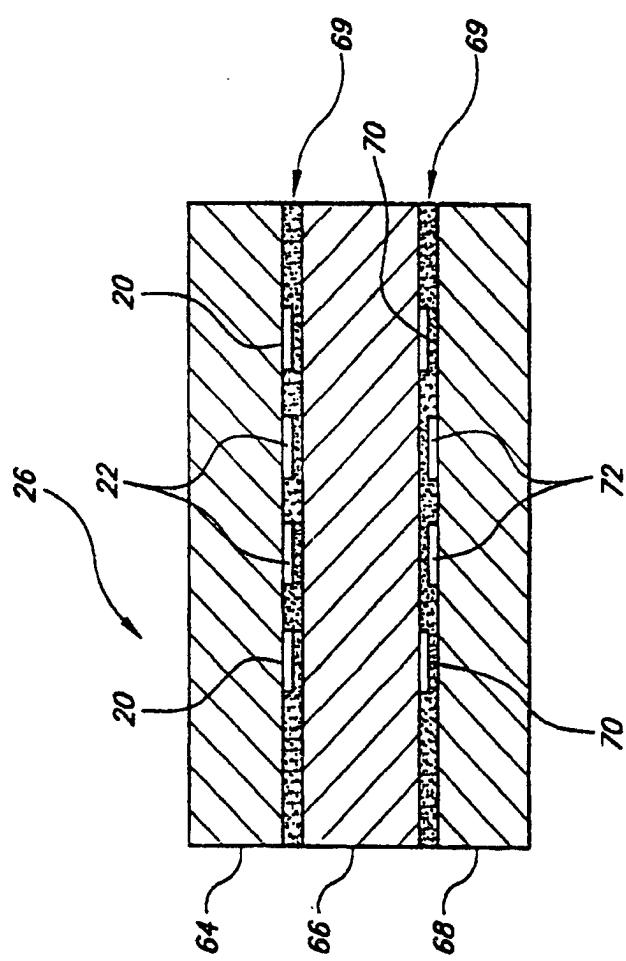


FIG. 4



**FIG. 5**