



(19) Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 20 2007 018 733 U1 2009.04.30

(12)

## Gebrauchsmusterschrift

(21) Aktenzeichen: 20 2007 018 733.5

(22) Anmeldetag: 11.06.2007

(67) aus Patentanmeldung: 11 2007 001 399.0

(47) Eintragungstag: 26.03.2009

(43) Bekanntmachung im Patentblatt: 30.04.2009

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: G01R 1/067 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

60/812,150 09.06.2006 US

(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:

Cascade Microtech, Inc., Beaverton, Oreg., US

(74) Name und Wohnsitz des Vertreters:

WUESTHOFF & WUESTHOFF Patent- und  
Rechtsanwälte, 81541 München

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

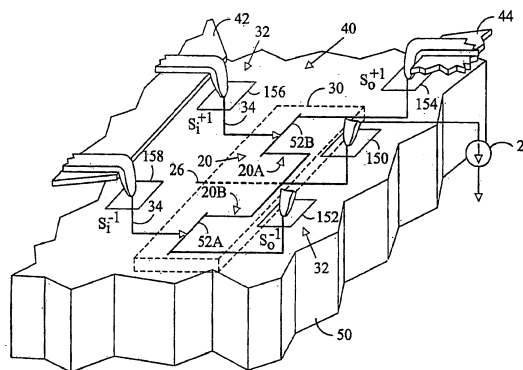
(54) Bezeichnung: Messfühler für differentielle Signale mit integrierter Symmetrieschaltung

(57) Hauptanspruch: Messfühler zum Verbinden einer Senke eines differentiellen Signals mit einer ersten Senke des differentiellen Signals und einer zweiten Senke des differentiellen Signals, und einer Quelle eines asymmetrischen Signals und, alternativ, einer Quelle eines differentiellen Signals mit einer ersten Quelle des differentiellen Signals und einer zweiten Quelle des differentiellen Signals und einer Senke eines asymmetrischen Signals, wobei der Messfühler umfasst:

(a) ein längliches Koaxialkabel mit:

(i) einem röhrenförmigen äußeren Leiter mit einer äußeren Oberfläche, einer inneren Oberfläche, einem ersten Ende und einem zweiten Ende, wobei das erste Ende mit der ersten Quelle des differentiellen Signals verbindbar ist und das zweite Ende mit der Senke des asymmetrischen Signals verbindbar ist und, alternativ, das erste Ende mit der ersten Senke des differentiellen Signal verbindbar ist und das zweite Ende mit der Quelle des asymmetrischen Signals verbindbar ist; und

(ii) einem innerhalb der inneren Oberfläche des äußeren Leiters angeordneten inneren Leiter...



**Beschreibung**

Querbezug auf verwandte Anmeldungen

**[0001]** Diese Anmeldung beansprucht die Wirkung der am 9. Juni 2006 eingereichten vorläufigen US-Anmeldung Nr. 60/812,150.

Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Die vorliegende Erfindung betrifft Messfühlermesssysteme zum Testen integrierter Schaltungen und anderer mikroelektronischer Vorrichtungen und genauer gesagt, Messfühlermesssysteme, welche differentielle Signale zum Testen von Schaltkreisen und Vorrichtungen verwenden.

**[0003]** Integrierte Schaltkreise (ICs; engl.: Integrated circuits) und andere mikroelektronische Vorrichtungen werden auf der Oberfläche einer Halbleiterscheibe (engl.: wafer) oder einem Substrat hergestellt und verwenden üblicherweise asymmetrische bzw. einpolig geerdete (engl.: single-ended) oder auf Masse bezogene Signale, die auf eine Masseebene an der unteren Oberfläche des Substrats bezogen sind, auf dem die aktiven und passiven Vorrichtungen des Schaltkreises hergestellt sind. Als ein Ergebnis des physikalischen Aufbaus der Vorrichtungen einer integrierten Schaltung existieren zwischen vielen der Teile der einzelnen Vorrichtungen und zwischen Teilen der Vorrichtungen und der Halbleiterscheibe, auf welcher die Vorrichtungen hergestellt sind, parasitäre Verbindungen. Diese Verbindungen sind üblicherweise von kapazitiver und/oder induktiver Natur und weisen frequenzabhängige Impedanzen auf. Zum Beispiel sind typischerweise die Anschlüsse von auf halbleitenden Substraten oder Halbleiterscheiben hergestellten Transistoren durch das Substrat kapazitiv zu der Masseebene verbunden und bei höheren Frequenzen werden das Massepotential und die wahre Natur von auf Masse bezogenen Signalen unsicher. Differentielle Signale verwendende symmetrische Vorrichtungen sind schlechter Hochfrequenz (HF)-Masseverbindung gegenüber toleranter als asymmetrische (engl: single-ended, deutsch auch: einpolig geerdete) Vorrichtungen, was sie zunehmend attraktiv macht, da ICs bei höheren und höheren Frequenzen betrieben werden.

**[0004]** Bezugnehmend auf [Fig. 1](#) ist eine differentielle Verstärkungszelle **20** eine zwei nominell identische Schaltkreishälften **20A**, **20B** aufweisende symmetrische Vorrichtung.

**[0005]** Wenn sie mit Gleichstrom vorgespannt ist, z. B. mit einem von einer Gleichstrom(DC; engl.: direct current)-Quelle **22** stammenden Strom, und mit einem Signal im differentiellen Modus angeregt wird, das Takt- und Gegentaktmoduskomponenten (engl.: even and odd mode components) gleicher Amplitude

und entgegengesetzter Phase aufweist ( $S_i^{+1}$  und  $S_i^{-1}$ ), wird an der symmetrischen Achse **26** der zwei Schaltkreishälften eine virtuelle Masse eingerichtet. An der virtuellen Masse ändert sich das Potential bei der Betriebsfrequenz unabhängig von der Amplitude des anregenden Signals nicht über die Zeit. Die Qualität der virtuellen Masse einer symmetrischen Vorrichtung ist unabhängig von dem physikalischen Massepfad, was symmetrische oder differentielle Schaltkreise in die Lage versetzt, eine schlechte HF-Masseverbindung besser als Schaltkreise zu tolerieren, die mit asymmetrischen Signalen betrieben werden. Darüber hinaus stellen die zweikomponentigen Wellenformen des differentiellen Ausgangsignals ( $S_o^{+1}$  und  $S_o^{-1}$ ) gegenseitige Referenzen dar, was es digitalen Vorrichtungen ermöglicht, schneller zu arbeiten, mit einer größeren Sicherheit beim Übergehen von einem Binärwert zu dem anderen und mit einer verringerten Spannungsschwankung für das Signal. Darüber hinaus weisen symmetrische oder differentielle Schaltkreise eine gute Immunität gegen Rauschen von externen Quellen auf, wie benachbarten Leitern, da Rauschen dazu neigt, elektrisch und elektromagnetisch an den Gleichtaktmodus zu koppeln und sich in dem differentiellen Modus aufzuheben. Die verbesserte Immunität gegenüber Rauschen erstreckt sich auf geradzahlarmonische Frequenzen, da Signale, die gegenüberliegende Phasen bei der Fundamentalfrequenz aufweisen, sich bei den geradzahlgigen Harmonischen in Phase befinden.

**[0006]** Auf die Herstellung der ICs folgend werden die einzelnen Rohchips, auf denen die ICs hergestellt sind, getrennt oder vereinzelt und in eine Packung gehüllt, die elektrische Verbindungen zwischen dem äußeren der Packung und der Schaltung auf dem eingeschlossenen Rohchip bereitstellt. Das Trennen und Verpacken eines Rohchips umfasst einen beträchtlichen Anteil der Herstellungskosten einer Vorrichtung, die einen IC aufweist, und Hersteller fügen üblicherweise elektrische Schaltungen oder Teststrukturen auf die Halbleiterscheibe hinzu, um Testen oder "Prüfen" (engl.: "probing") zu ermöglichen, um Eigenschaften von Elementen der integrierten Schaltkreise zu überprüfen, bevor die Rohchips vereinzelt werden, um den IC-Herstellungsprozess zu überwachen und zu kontrollieren und die Kosten des Verpackens von Rohchips mit Defekten zu vermeiden. Eine Teststruktur umfasst typischerweise eine zu testende Vorrichtung(DUT; engl.: device-under-test) **30**, mehrere an der Oberfläche der Halbleiterscheibe abgelagerte metallische Messfühler- oder Bondinganschlussflächen **32** und mehrere leitende Durchgänge **34**, welche die Bondinganschlussflächen mit der DUT verbinden, die typischerweise unterhalb der Oberfläche der Halbleiterscheibe mit dem gleichen Verfahren hergestellt ist, das dazu verwendet wird, die entsprechenden Einrichtungen des vermarkteten IC herzustellen ist. Die DUT umfasst typischerweise einen einfachen Schaltkreis, der eine Ko-

pie eines oder mehrerer der Basiselemente der vermarkteten integrierten Schaltung umfasst, wie eine einzelne Leitung leitenden Materials, einer Kette von Durchgängen oder einen einzelnen Transistor. Da die Schaltkreiselemente der DUT mit dem gleichen Verfahren hergestellt werden, wie die entsprechenden Elemente der vermarkteten integrierten Schaltungen, ist zu erwarten, dass die elektrischen Eigenschaften der DUT für die elektrischen Eigenschaften der entsprechenden Komponenten der vermarkteten integrierten Schaltung repräsentativ sind.

**[0007]** Die DUT der Teststruktur **40** umfasst die differentielle Verstärkungszelle **20**, eine herkömmliche elementare Vorrichtung symmetrischer oder differentieller Schaltkreise. Eine differentielle Verstärkungszelle hat fünf Anschlüsse; vier Signalanschlüsse und einen Vorspannungsanschluss, durch welchen die Transistoren der differentiellen Zelle vorgespannt sind. Die vier Signalanschlüsse umfassen zwei Eingangsanschlüsse, um die Takt- und Gegentaktmoduskomponenten des differentiellen Eingangssignals von einer Signalquelle zu empfangen und zwei Ausgangsanschlüsse, um die Takt- und Gegentaktmoduskomponenten des differentiellen Ausgangssignals von der differentiellen Verstärkungszelle zu einer Signalsenke zu übertragen. Üblicherweise werden beim Prüfen einer Teststruktur, die eine differentielle oder symmetrische Vorrichtung umfasst, zwei Messfühler **42**, **44** verwendet. Ein Messfühler leitet typischerweise die Signale von der Signalquelle zu den Messfühlerkontakten der Teststruktur und der zweite Messfühler leitet die Signale von der Teststruktur zu der Signalsenke. Typischerweise weist einer der zwei Messfühler mindestens drei Messfühlerspitzen auf, in einer Signal-Masse-Signal-Anordnung, um zwei der Komponenten eines differentiellen Signals zu leiten und die Transistoren der differentiellen Zelle vorzuspannen.

**[0008]** ICs werden typischerweise auf der Halbleiterscheibe (engl.: "on-wafer") durch Anwenden eines von einem Testinstrument erzeugten Signals auf die Teststruktur und Messen der Antwort der Teststruktur auf das Signal charakterisiert. Bezugnehmend auf [Fig. 2](#) wird bei höheren Frequenzen eine Charakterisierung auf der Halbleiterscheibe üblicherweise mit einem Netzwerkanalysator **100** durchgeführt. Ein Netzwerkanalysator umfasst eine Quelle **102** eines Wechselstrom(AC; engl.: alternating current)-Signals, oft eines Hochfrequenz(HF)-Signals, die dazu verwendet wird, die DUT **30** einer Teststruktur anzuregen. Direktionale Koppler oder Brücken nehmen die sich zu der Teststruktur oder von dieser weg bewegenden vorwärts oder umgekehrt gerichteten Wellen auf und richten sie auf eine Signalsenke **104**, wo sie in Abschnitte mittlerer Frequenz (IF; engl.: intermediate frequency) herunter konvertiert, gefiltert, verstärkt und digitalisiert werden. Das Ergebnis des Signalbearbeitens in dem Netzwerkanalysator sind

mehrere s-Parameter (Streuparameter; engl.: scattering parameters), das Verhältnis eines die Antwort der DUT umfassenden normalisierten Wellengröße (engl.: power wave) zu der normalisierten Wellengröße, welche die durch die Signalquelle bereitgestellte Anregung umfasst, welche die Antwort der DUT auf das anregende Signal registrieren. Ein Vorwärts/Umkehrschalter (engl.: forwardreverse switch) **106** ermöglicht das Umkehren der Verbindungen zwischen dem/den Messfühler/n und dem Netzwerkanalysator, so dass die jeweiligen Paare von das Eingangssignal empfangenden und das Ausgabesignal übertragenden Messfühleranschlussflächen umgekehrt werden können.

**[0009]** Beim Testen von differentiellen Vorrichtungen ist ein Netzwerkanalysator mit vier Anschlüssen (engl.: four-port network analyser) wünschenswert, da er differentielle Signale ausgeben und empfangen kann, was eine Mischmodusanalyse der Vorrichtungen ermöglicht. Netzwerkanalysatoren mit vier Anschlüssen sind jedoch verhältnismäßig ungewöhnlich und teuer. Netzwerkanalysatoren mit zwei Anschlüssen sind weiter verbreitet und werden oft beim Testen von differentiellen Vorrichtungen verwendet. Netzwerkanalysatoren mit zwei Anschlüssen geben jedoch asymmetrische bzw. einpolig geerdete Signale aus und empfangen solche, die in differentielle Signale oder aus diesen umgewandelt werden müssen, um die symmetrische Vorrichtung anzuregen und ihre Ausgabe zu analysieren.

**[0010]** Das durch den Netzwerkanalysator ausgegebene asymmetrische Signal kann einen Gleichspannungsversatz umfassen. Wenn dies der Fall ist, wird das Ausgabesignal in üblicher Weise zu einer Vorspannungsverzweigung **108** geleitet, welche einen Kondensator **110** in Serie mit dem Hochfrequenz(HF)-Anschluss **112** der Vorspannungsverzweigung und eine Induktivität **114** in Serie mit einem Gleichstromanschluss **116** umfasst. Der Kondensator blockiert die Übertragung der Gleichstromkomponente des Signals von dem Hochfrequenzanschluss und die Induktivität blockiert die Übertragung des modulierten Signals von dem Gleichstromanschluss, erlaubt aber die Übertragung des Gleichstromanteils des Signals. Der Gleichstromanschluss der Vorspannungsverzweigung **108** ist durch die Vorspannungsmessfühlerspitze **140** mit der Vorspannungsmessfühleranschlussfläche **150** der Teststruktur verbunden, was es ermöglicht, die Transistoren der differentiellen Zelle mit der Gleichstromkomponente des Ausgangssignals des Netzwerkanalysators vorzuspannen.

**[0011]** Das modulierte Signal von dem HF-Anschluss der Vorspannungsverzweigung **108** wird zu einer Symmetrieschaltung (engl.: balun) **120** geleitet, welche das asymmetrische Signal in ein symmetrisches oder differentielles Signal mit zwei differentiellen

len Signalkomponenten ( $S_i^{+1}$  und  $S_i^{-1}$ ) mit im Wesentlichen der gleichen Amplitude aber entgegengesetzter Phase umwandelt. Typischerweise werden die zwei Komponenten des differentiellen Signals über ein Koaxialkabel von der Symmetrieschaltung zu zugehörigen Signalmessfühlerspitzen **146**, **148** eines Messfühlers **42** übertragen, welcher einen Übergang von dem Signalpfad des Koaxialkabels zu dem Signalpfad der Messfühleranschlussflächen der Teststruktur bietet. Der Messfühler ist relativ zu der Teststruktur beweglich, so dass jede der Messfühlerspitzen bei zugehörigen Messfühlerkontakten angeordnet sein kann, die mit der DUT verbunden sind.

**[0012]** Die DUT dient als Senke für die differentiellen Eingabesignale und gibt die differentiellen Ausgabesignalkomponenten ( $S_o^{+1}$  und  $S_o^{-1}$ ) aus, welche zu zugehörigen Messfühleranschlussflächen **152**, **154** der differentiellen Verstärkungszelle geleitet werden. Die Komponenten der Ausgabesignale werden zu einer Symmetrieschaltung **122** übertragen, welche die differentiellen Signalkomponenten in ein asymmetrisches Signal umwandelt, das zu der Signalsenke **104** des Netzwerkanalysators zum Verarbeiten, Analysieren und Anzeigen übertragen wird.

**[0013]** Eine zum Umwandeln von asymmetrischen Signalen in differentielle Signale und umgekehrt verwendete Symmetrieschaltung ist üblicherweise ein Transformator mit einer mit einer der Wicklungen hergestellten asymmetrischen Verbindung und einer mit der anderen Wicklung hergestellten symmetrischen Verbindung, und typischerweise eine teure Vorrichtung. Ferner sind Symmetrieschaltungen typischerweise im Verhältnis zu dem Messfühler groß und sind üblicherweise entfernt angeordnet und mit dem Messfühler mit einem Koaxialkabel verbunden, was das Anordnen der Testinstrumentierung verkompliziert. Daher ist ein Messfühler gewünscht, der eine Symmetrieschaltung umfasst, und das Verwenden eines Netzwerkanalysators mit zwei Anschlüssen ermöglicht, wenn differentielle Schaltkreise geprüft werden, um die Kosten zu verringern und das Einrichten der Messinstrumentierung zu vereinfachen.

#### Kurzbeschreibung der Zeichnungen

**[0014]** **Fig. 1** ist eine perspektivische Ansicht eines Teils eines Substrats mit einer differentiellen Teststruktur.

**[0015]** **Fig. 2** ist eine schematische Darstellung eines Systems zum Prüfen einer differentiellen Teststruktur.

**[0016]** **Fig. 3** ist eine perspektivische Ansicht eines Messfühlers mit einer integrierten Symmetrieschaltung.

**[0017]** **Fig. 4** ist eine entlang der Linie A-A genom-

mene Schnittansicht des Messfühlers aus **Fig. 3**.

**[0018]** **Fig. 5** ist eine perspektivische Ansicht eines Messfühlerkopfs und eines freien Endes eines Koaxialkabels des Messfühlers aus **Fig. 3**.

**[0019]** **Fig. 6** ist eine entlang der Linie B-B genommene Schnittansicht des Messfühlerkopfes und des freien Endes des Koaxialkabels aus **Fig. 5**.

**[0020]** **Fig. 7** ist eine schematische Ansicht von Stromflüssen in einem Koaxialkabel.

**[0021]** **Fig. 8** ist eine graphische Darstellung der Induktivität über die Frequenz für mehrere magnetisch permeable Materialien.

**[0022]** **Fig. 9** ist eine perspektivische Ansicht eines Messfühlers mit einer integrierten Symmetrieschaltung, der eine Vorspannungsverbindung umfasst.

**[0023]** **Fig. 10** ist eine perspektivische Ansicht eines Messfühlerkopfes und Leiters des Messfühlers aus **Fig. 9**.

Detaillierte Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen

**[0024]** Die Integrität eines Herstellungsprozesses für integrierte Schaltkreise (IC) wird üblicherweise durch Herstellen mehrerer Teststrukturen auf einer Halbleiterscheibe getestet, die eine oder mehrere vermarktbar ICs umfasst. Die Teststrukturen werden die gleichen Verfahren verwendend hergestellt, die zum Herstellen der vermarktbar ICs verwendet werden. Durch Anregen der Teststruktur mit einem durch ein Testinstrument erzeugten Signal und Aufnehmen der Antwort der Teststruktur wird auf Eigenschaften der vermarktbar ICs geschlossen. Während Teststrukturen typischerweise einfache Schaltkreise sind, wird erwartet, dass die Antwort in den komplexeren vermarktbar ICs eingebauter ähnlicher Vorrichtungen ähnlich der Antwort der Teststruktur ist, da die Vorrichtungen in den vermarktbar ICs und ähnliche Vorrichtungen in den Teststrukturen mit dem gleichen Verfahren hergestellt sind.

**[0025]** Im Detail Bezug nehmend auf die Zeichnungen, in denen ähnliche Teile durch gleiche Bezugszeichen identifiziert sind, und genauer auf **Fig. 1**, umfasst eine Teststruktur **40** üblicherweise mehrere leitende Bonding- oder Messfühleranschlussflächen **32**, die auf der Oberfläche einer Halbleiterscheibe oder einem Substrat **50** abgelagert sind; eine zu testende Vorrichtung oder DUT **30**, typischerweise einen einfachen Schaltkreis, der Schaltelemente umfasst, die durch das gleiche Verfahren und in den gleichen Schichten der Halbleiterscheibe erzeugt worden sind, wie entsprechende Komponenten der vermarktbar ICs; und mehrere leitende Durchgän-

ge **34**, welche die Messfühleranschlussflächen und die Elemente der DUT verbinden. Die beispielhafte Teststruktur **40** umfasst eine DUT, welche eine differentielle Verstärkungszelle **20** umfasst, ein herkömmliches Schaltungselement, welches differentielle Signale verwendet. Differentielles Signalisieren verwendende Schaltkreise werden zunehmend häufig insbesondere für Anwendungen höherer Frequenz verwendet. Verglichen mit Vorrichtungen, welche asymmetrische Signale verwenden, arbeiten differentielles Signalisieren verwendende oder symmetrische Vorrichtungen üblicherweise bei niedrigeren Leistungsniveaus, bieten für Binärvorrichtungen einen schnelleren Zustandsübergang, weisen eine größere Immunität gegenüber Rauschen und verringerte Anfälligkeit für elektromagnetisches Koppeln auf, und sind toleranter gegenüber schlechten Masseverbindungsbedingungen, welche üblicherweise angetroffen werden, wenn integrierte Schaltkreise bei höheren Frequenzen betrieben werden.

**[0026]** Die beispielhafte differentielle Verstärkungszelle **20** umfasst zwei im Wesentlichen identische Feldeffekt-(JFET; engl.: junction field effect transistor)-Transistoren **52A** und **52B**. Eine DUT umfasst typischerweise jedoch den in den auf der Halbleiterscheibe hergestellten vermarktbareren integrierten Schaltkreisen entsprechende Komponenten und es können andere Arten von Transistoren, wie Bipolartansistoren (BJT ; engl.: bipolar junction transistor) oder MOSFET (engl.: metal oxide semiconductor field-effect transistor; deutsch: Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor)-Transistoren bei der Herstellung einer differentiiellen Verstärkungszelle einer Teststruktur verwendet werden. Außerdem können zusätzliche aktive oder passive Schaltkreiselemente in der Teststruktur vorgesehen sein. Die Teststruktur umfasst fünf Messfühleranschlussflächen **150**, **152**, **154**, **156** und **158**, durch welche die Transistoren der DUT vorgespannt sind und durch welche die zwei Komponenten der differentiiellen Eingangs- und Ausgangssignale zu und von der Teststruktur übertragen werden. Die Quellenanschlüsse (engl.: source terminals) der Transistoren der differentiiellen Verstärkungszelle werden als ein Transistorvorspannungsanschluss verbunden, welcher mit einer Vorspannungsmessfühleranschlussfläche **150** verbunden ist. Die Gateanschlüsse der Transistoren sind jeweils mit Messfühleranschlussflächen **156**, **158** eines ersten Paares von Signalmessfühleranschlussflächen verbunden und die Drainanschlüsse der Transistoren sind jeweils mit den Messfühleranschlussflächen **152**, **154** des zweiten Paares von Signalmessfühleranschlussflächen verbunden. Ein Eingangssignal im differentiiellen Modus, welches eine Taktmoduskomponente ( $S_i^{+1}$ ) und eine Gegentaktmoduskomponente ( $S_i^{-1}$ ) mit im Wesentlichen der gleichen Amplitude aber der entgegengesetzten Phase der Taktmoduskomponente wird an ein Paar von Signalmessfühleranschlussflächen angelegt, z. B. die Messfühleran-

schlussflächen **156** und **158**, was die differentielle Verstärkungszelle dazu bringt, von den Messfühleranschlussflächen **152** und **154** des anderen Paares von Signalmessfühleranschlussflächen ein Ausgabe-signal im differentiiellen Modus mit einer Taktmoduskomponente ( $S_o^{+1}$ ) und einer Gegentaktmoduskomponente ( $S_o^{-1}$ ) auszugeben. Umgekehrt kann die DUT durch Einspeisen der Eingangssignalkomponenten in die Messfühleranschlussflächen **152** und **154** und Beziehen der Ausgabesignale von den Messfühleranschlussflächen **156** und **158** getestet werden.

**[0027]** Während das Verwenden von differentiiellen Signalen eine Anzahl von Vorteilen mit sich bringt, kann das Testen von Schaltkreisen unter Verwendung differentiieller Signale komplizierter sein als Schaltkreise unter Verwendung von asymmetrischen Signalen zu testen, da die beim Testen auf einer Halbleiterscheibe verwendete Testinstrumentierung üblicherweise nur asymmetrische Signale überträgt und empfängt. Ein Netzwerkanalysator mit vier Anschlüssen kann differentielle Signale ausgeben, was direkt eine Mischmodusanalyse von differentiiellen Teststrukturen erlaubt, Netzwerkanalysatoren mit vier Anschlüssen sind jedoch verhältnismäßig selten und teuer. Netzwerkanalysatoren mit zwei Anschlüssen sind weiter verbreitet und günstiger und werden üblicherweise zum Testen von differentiiellen Vorrichtungen verwendet, aber die durch den Netzwerkanalysator ausgegebenen asymmetrischen Signale müssen in differentielle Signale für eine Eingabe in eine differentielle Teststruktur umgewandelt werden, und die differentiiellen Ausgabesignale der Teststruktur müssen in asymmetrische Signale zur Eingabe in die Signalsenke des Netzwerkanalysators umgewandelt werden.

**[0028]** Bezug nehmend auf [Fig. 2](#) umfasst ein Netzwerkanalysator **100** mit zwei Anschlüssen eine Signalquelle **102**, welche ein asymmetrisches Signal ausgibt und eine Signalsenke **104**, welche ein von der DUT **30** einer Teststruktur übertragenes asymmetrisches Signal empfängt. Der Netzwerkanalysator umfasst außerdem einen Vorwärts/Umkehr-Schalter **106**, der es ermöglicht, die Verbindungen zu der Quelle und der Senke umzukehren, so dass die Eingangssignale empfangenden und Ausgangssignale übertragenden Anschlüsse der DUT umgekehrt werden können. Zum Beispiel nehmen die Messfühleranschlussflächen **156**, **158** die differentiiellen Eingabesignalkomponenten ( $S_i^{+1}$  und  $S_i^{-1}$ ) auf und die Ausgabesignalkomponenten ( $S_o^{+1}$  und  $S_o^{-1}$ ) werden von den Messfühleranschlussflächen **152** und **154** übertragen, wenn der Vorwärts/Umkehr-Schalter sich in der dargestellten Stellung befindet. Wenn der Vorwärts/Umkehr-Schalter in die zweite Stellung gebracht wird, wird das Eingabesignal an die Messfühleranschlussflächen **152** und **154** angelegt, und das Ausgabesignal wird von den Messfühleranschlussflächen **156** und **158** übertragen. Das

asymmetrische Ausgabesignal von der Quelle des Netzwerkanalysators wird typischerweise durch eine Symmetrieschaltung in ein symmetrisches oder differentielles Signal umgewandelt, welches differentielle Komponenten mit im Wesentlichen der gleichen Amplitude aber entgegengesetzter Phase aufweist. Ähnlich wandelt eine Symmetrieschaltung das differentielle Ausgabesignal der differentiellen DUT in ein asymmetrisches Signal zum Bearbeiten und Anzeigen durch die Signalsenke des Netzwerkanalysators mit zwei Anschlüssen um.

**[0029]** Das asymmetrische Ausgabesignal des Netzwerkanalysators kann einen Gleichspannungsversatz aufweisen. Wenn die der Fall ist und der Vorwärts/Umkehr-Schalter sich in der dargestellten Stellung befindet, wird das Ausgabesignal in herkömmlicher Weise zu einer Vorspannungsverzweigung **108** geleitet, welche einen Kondensator **110** in Reihe mit einem Hochfrequenz-(HF)-Anschluss **112** und eine Induktivität **114** in Reihe mit einem Gleichstromanschluss **116** umfasst. Der Kondensator blockiert die Übertragung der Gleichstromkomponente des Netzwerkanalysatorsignals von dem HF-Anschluss, aber erlaubt die Übertragung der modulierten Signalkomponente von dem HF-Anschluss. Andererseits blockiert die Induktion die Übertragung der modulierten Signalkomponente von dem Gleichstromanschluss, aber erlaubt die Übertragung des Gleichstromanteils des Signals. Der Gleichstromanschluss der Vorspannungsverzweigung **108** ist durch die Vorspannungsmessfühlerspitze **140** mit der Vorspannungsmessfühleranschlussfläche **150** einer Teststruktur verbunden, was das Vorspannen der Transistoren einer differentiellen Zelle mit der Gleichstromkomponente eines durch den Netzwerkanalysator übertragenen Signals ermöglicht. Eine dritte Vorspannungsverzweigung **124** und eine vierte Vorspannungsverzweigung **126** verhindern die Leitung des Gleichstromvorspannungssignals zu der Signalsenke des Netzwerkanalysators.

**[0030]** Die modulierte Komponente der Netzwerkanalysatorausgabe wird von dem HF-Anschluss der Vorspannungsverzweigung zu einer Symmetrieschaltung **120** geleitet, welche das asymmetrische Signal in ein differentielles Signal mit zwei Komponenten mit im Wesentlichen gleicher Amplitude und entgegengesetzter Phase umwandelt. Die differentiellen Eingabesignalkomponenten,  $S_i^{+1}$  und  $S_i^{-1}$ , werden zugehörigen Messfühlerspitzen **146**, **148** zugeführt, typischerweise über Koaxialkabel, welche die Symmetrieschaltung und die Messfühlerspitzen verbinden. Die Messfühlerspitzen **146**, **148** des bewegbaren Messfühlers **42** sind derart angeordnet, dass sie sich bei den zugehörigen Signalmessfühleranschlussflächen **156**, **158** befinden können, welche mit der DUT **30** einer Teststruktur verbunden sind.

**[0031]** In Antwort auf das differentielle Eingabesignal

gibt die differentielle Verstärkungszelle der DUT zwei differentielle Ausgabesignalkomponenten ( $S_o^{+1}$  und  $S_o^{-1}$ ) aus. Die differentiellen Ausgabesignalkomponenten werden von zugehörigen Messfühleranschlussflächen **152**, **154** der Teststruktur zu zugehörigen Messfühlerspitzen **142**, **144** geleitet. Die Messfühlerspitzen sind typischerweise durch ein Koaxialkabel mit einer zweiten Symmetrieschaltung **122** verbunden, welche die differentiellen Signale in ein asymmetrisches Signal umwandelt. Das modulierte asymmetrische Signal wird zu der Signalsenke **104** des Netzwerkanalysators übertragen.

**[0032]** Wenn der Vorwärts/Umkehr-Schalter in die zweite Stellung bewegt wird, wird die asymmetrische Ausgabe des Netzwerkanalysators durch eine zweite Vorspannungsverzweigung **128**, welche die Gleichstromkomponente von dem modulierten Teil des Signals separiert, zu der zweiten Symmetrieschaltung **122** geleitet, was Vorspannen der DUT ermöglicht. Die zweite Symmetrieschaltung **122** wandelt den modulierten Teil der asymmetrischen Ausgabe des Netzwerkanalysators in die differentiellen Eingabesignalkomponenten um, welche durch die Messfühlerspitzen **142**, **144** und Messfühleranschlussflächen **152** und **154** zu der DUT geleitet werden. Die Ausgabe der DUT wird zu den Messfühleranschlussflächen **156** und **158** und nachfolgend zu den Messfühlerspitzen **146** und **148** geleitet. Die differentiellen Ausgabesignalkomponenten werden in der ersten Symmetrieschaltung **120** in ein asymmetrisches Signal umgewandelt, und das asymmetrische Signal wird durch die erste **108** und vierte **124** Vorspannungsverzweigung zu der Signalsenke des Netzwerkanalysators übertragen.

**[0033]** Symmetrieschaltungen werden üblicherweise dazu verwendet, die durch Netzwerkanalysatoren mit zwei Anschlüssen übertragenen asymmetrischen Signale in differentielle Signale umzuwandeln und umgekehrt. Symmetrieschaltungen sind typischerweise teuer, da sie einen Transformator mit einer asymmetrischen (engl: unbalanced) Verbindung zu einer der Wicklungen und einer symmetrischen Verbindung zu der anderen Wicklung aufweisen. Die Symmetrieschaltungen sind typischerweise von dem Messfühler getrennt und mit dem Messfühler mit einem Koaxialkabel verbunden, da die Symmetrieschaltung verglichen zu einem Messfühler verhältnismäßig groß ist. Der vorliegende Erfinder realisierte dass dann, wenn eine Symmetrieschaltung, und vorzugsweise eine günstige Symmetrieschaltung, in den Messfühler eingebaut werden könnte, das Einrichten der Instrumentierung wesentlich vereinfacht werden könnte, was die Zeitdauer und Kosten des Testens von Halbleiterscheiben verringert.

**[0034]** Bezug nehmend auf [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) umfasst der Messfühler **200** mit integraler Symmetrieschaltung einen Lagerblock **202**, der für eine Ver-

bindung zu einem bewegbaren Messfühlerlagererelement **204** einer Messfühlerstation geeignet konstruiert ist. Zum Beispiel umfasst der Lagerblock eine Öffnung **206** für ein Eingreifen durch einen eng sitzenden Ausrichtungsstift **208**, der vertikal von dem Messfühlerlagererelement vorsteht. Darüber hinaus umfasst der Lagerblock ein Paar von entgegengesetzt versenkten Öffnungen **210**, um ein Paar von Befestigungsschrauben **212** aufzunehmen, welche dazu angeordnet sind, mit Gewindelöchern in dem Messfühlerlagererelement einzugreifen und den Messfühler an dem Messfühlerlagererelement zu befestigen.

**[0035]** Der Messfühler umfasst einen Eingangsanschluss **214**, welcher in der dargestellten Ausführungsform einen K-Verbinder vom Zündkerzentyp umfasst. Dieser Verbinder ermöglicht das externe Verbinden eines gewöhnlichen Koaxialkabels, was es erlaubt, einen gut abgeschirmten Hochfrequenzübertragungskanal zwischen dem Messfühler und dem Netzwerkanalysator oder anderer Testinstrumentierung einzurichten. Wenn gewünscht, können andere Arten von Verbindern verwendet werden, wie ein 2,4 mm Verbinder, ein 1,85 mm Verbinder oder ein 1 mm Verbinder.

**[0036]** In der dargestellten Ausführungsform ist ein halbsteifes Koaxialkabel **216** an seinem hinteren Ende mit dem K-Verbinder verbunden, welches den Anschluss des Messfühlers darstellt. Auch bezugnehmend auf [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) umfasst das Koaxialkabel **216** vorzugsweise einen länglichen, röhrenartigen äußeren Leiter **218** mit einer äußeren Oberfläche **220** und einer inneren Oberfläche **222**, einen innerhalb und koaxial mit der inneren Oberfläche des äußeren Leiters angeordneten inneren Leiter und ein inneres Dielektrikum **226**, welches den inneren Leiter von der inneren Oberfläche des äußeren Leiters über eine Länge des inneren Leiters trennt. Vorzugsweise ist das Koaxialkabel ein Kabel eines phasenstabilen Typs mit niedrigem Verlust. Das Koaxialkabel kann auf ähnliche Art andere Schichten von Materialien umfassen, wie gewünscht, und umfasst in üblicher Weise ein die äußere Oberfläche des äußeren Leiters umgebendes äußeres Dielektrikum **228**. Um das hintere Ende des Koaxialkabels für eine Verbindung mit dem K-Verbinder vorzubereiten, wird das hintere Ende abgestreift, um den inneren Leiter freizulegen und dieser innere Leiter wird zeitweise innerhalb eines Hilfsverbinders gehalten, während der benachbarte äußere Leiter innerhalb einer in dem Hauptlagerblock ausgebildeten Bohrung **230** gelötet wird. Eine Vertiefung **232** in dem Lagerblock unterhalb dieser Bohrung bietet einen Zugang, um den Lötvorgang zu erleichtern. Der Hilfsverbinder wird dann entfernt und der K-Verbinder wird in eine in dem Block oberhalb der Bohrung gebildete Gewindeöffnung geschraubt, um eine elektrische Verbindung zwischen dem Verbinder und dem Koaxialkabel hervorzurufen. Um eine sichere physikalische Verbindung sicherzu-

stellen, kann auf die Gewinde des K-Verbinders vor dessen Einbau eine Gewindeverriegelungsverbindung angewendet werden.

**[0037]** Das vordere Ende des Koaxialkabels verbleibt frei aufgehängt und in diesem Zustand dient es als eine bewegliche Lagerung für einen Messfühlerkopf **240** des Messfühlers. Bevor sie mit dem K-Verbinder verbunden werden, werden die Kabel auf die gezeigte Art entlang erster und zweiter Mittelabschnitte gebogen, so dass in dem Kabel eine allgemein nach oben gekrümmte 90 Grad-Biegung und eine nach unten gekrümmte Biegung geformt sind.

**[0038]** Der Messfühlerkopf **240** kann von einem der vielen Arten von Messfühlerköpfen sein, die zum Testen integrierter Schaltungen und anderer mikroelektronischer Vorrichtungen entwickelt wurden. Godshalk et al., U.S. Patent Nr. 5,506,515; Burr et al., U.S. Patent Nr. 5,565,788; und Gleason et al., U.S. Patent Nr. 6,815,963; angemeldet auf Cascade Microtech Inc. und hierin durch Bezugnahme eingeschlossen, offenbaren eine Anzahl von Messfühlerköpfen, die mit dem Messfühler mit integrierter Symmetrieschaltung verwendet werden können. In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst der Messfühler **200** einen Messfühlerkopf im Mikrostreifenstil, welcher ein dielektrisches Blatt **242** mit allgemein ebenen oberen und unteren Oberflächen umfasst, das an dem vorderen Ende des Koaxialkabels befestigt ist. Die Unterseite des Kabels ist weggeschnitten, um eine Ablagefläche **244** zu bilden, und das dielektrische Blatt ist an der Ablagefläche befestigt. Alternativ kann das dielektrische Blatt durch eine nach oben gerichtete Ablagefläche gelagert sein, die von dem Kabel weggeschnitten ist, oder durch das Ende des Kabels ohne eine Ablagefläche. Das dielektrische Blatt kann eine flexible Membran oder eine Platte aus einem steiferen dielektrischen Material umfassen.

**[0039]** Ein Paar von leitenden Signalspuren sind durch die obere Oberfläche des dielektrischen Blattes gelagert. Die leitenden Spuren können auf der oberen Oberfläche des dielektrischen Blattes irgendeine Technik verwendend abgelagert sein, oder anderweitig daran befestigt sein. Eine erste leitende Signalspur **246** ist elektrisch mit dem inneren Leiter **224** des Koaxialkabels verbunden, und eine zweite leitende Signalspur **248** ist elektrisch mit dem äußeren Leiter **218** des Koaxialkabels verbunden. Die jeweiligen Leitungsspuren **246**, **248** leiten normalerweise die Komponenten der differentiellen Eingabe- oder Ausgabesignale zu oder von der DUT. Andere Schichten über, unter und/oder zwischen der leitenden Spur bzw. den leitenden Spuren und dem dielektrischen Blatt können umfasst sein, falls dies gewünscht ist.

**[0040]** Durch das dielektrische Blatt hindurchgehende leitende Durchgänge **250** ermöglichen die Über-

tragung von dem Signalpfad von den leitenden Spuren an der oberen Fläche des Blattes zu der unteren Oberfläche des Blattes. Der leitende Durchgang bietet einen Pfad von einer Seite des Blattes zu der anderen Seite, der für zumindest ein Großteil der Dicke des Blattes frei von einer Luftlücke zwischen dem Durchgang und dem Dielektrikum ist und die Kapazität des Signalpfades verglichen mit einem sich über das Ende des dielektrischen Blattes erstreckenden leitenden Finger beträchtlich verringert.

**[0041]** Die untere Oberfläche des dielektrischen Blattes umfasst mehrere Kontakthöcker oder Messfühlerspitzen **252**, **254**, die jeweils elektrisch mit den sich von den zugehörigen leitenden Spuren an der oberen Oberfläche des dielektrischen Blattes erstreckenden Durchgängen verbunden sind. Die Messfühlerspitzen sind vorzugsweise derart angeordnet, dass die Schwerpunkte ihrer unteren Enden im Wesentlichen ausgerichtet sind und im Allgemeinen zu der vorderen Kante des Messfühlerkopfs parallel sind. Die Messfühlerspitzen sind räumlich derart zueinander benachbart angeordnet, dass sie bei zugehörigen Messfühleranschlussflächen angeordnet werden können, welche Signale für die zu prüfende Teststruktur leiten. Es ist zu verstehen, dass die Messfühlerspitzen jede geeignete Form annehmen können, wie einen Höcker, eine Struktur mit Muster, oder einen länglichen Leiter.

**[0042]** Eine integrale Symmetrieschaltung **260**, die eine Hülle aus magnetisch permeablem Material umfasst, umgibt im Wesentlichen eine Länge der äußeren Oberfläche des äußeren Leiters **218** des die Messfühlerspitzen **250** und den Anschluss **214** des Messfühlers verbindenden Koaxialkabels **216**. Bezug nehmend auf [Fig. 7](#) umfasst ein Koaxialkabel typischerweise zwei Leiter, einen länglichen, röhrenförmigen äußeren Leiter **312** mit einer inneren Oberfläche und einer äußeren Oberfläche und einen inneren Leiter **310**, der innerhalb der durch die innere Oberfläche des äußeren Leiters definierten Öffnung angeordnet ist und durch ein Dielektrikum von dem äußeren Leiter getrennt ist. Als ein Ergebnis der Stromverdrängung (engl.: skin effect), umfassen die zwei Leiter des Koaxialkabels drei leitende Pfade: den inneren Leiter, die innere Oberfläche des äußeren Leiters und die äußere Oberfläche des äußeren Leiters. Wenn ein asymmetrisches Signal zu oder von einer Quelle **304** über ein Koaxialkabel übertragen wird, ist einer der Leiter, typischerweise der äußere Leiter, mit Masse **302** verbunden, und das Signal **306** wird über den zweiten Leiter übertragen, typischerweise den inneren Leiter. Da die durch das in dem inneren Leiter fließende Signal erzeugten elektrischen und magnetischen Felder auf den die inneren und äußeren Leiter trennenden Raum beschränkt sind, wird an der inneren Oberfläche des äußeren Leiters ein Strom **308** fließen, der in der Größe dem Signal gleich ist, aber in der entgegengesetzten Richtung fließt. An dem

zweiten Ende des äußeren Leiters wird ein erster Teil **318** dieses an der inneren Oberfläche des äußeren Leiters fließenden Stromes auf die Last **316** übertragen, und abhängig von den Impedanzverhältnissen, wird ein zweiter Teil des Stroms, ein Ungleichgewichtsstrom (engl.: unbalance current) **320**, an der äußeren Oberfläche des äußeren Leiters zurück zu Masse fließen oder von dem äußeren Leiter abgestrahlt werden. Die Symmetrieschaltung, die magnetisch permeable Hülle **260**, wirkt als eine Induktivität **322** in dem leitenden Pfad, welcher die äußere Oberfläche des äußeren Leiters umfasst, um den Strom des Ungleichgewichtsstrom auf der äußeren Oberfläche des äußeren Leiters zu beeinträchtigen und im Wesentlichen zu blockieren. Als ein Ergebnis werden zwischen den inneren und äußeren Leitern des Koaxialkabels und den Anschlüssen **324**, **326** der Last **316**, welche die Senken für die Komponenten des differentiellen Signals darstellen, gleiche und entgegengesetzte differentielle Signale geleitet, welche das Signal **306** und den Strom **308/318** umfassen.

**[0043]** Ähnlich blockiert dann, wenn gleiche und entgegengesetzte differentielle Signale von dem Paar Anschlüsse **324**, **326** der Last zu den inneren und äußeren Leitern des Koaxialkabels gespeist werden, die in den leitenden Pfad an der äußeren Oberfläche des äußeren Leiters durch die magnetisch permeable Hülle eingeführte Impedanz im Wesentlichen einen Stromfluss über die äußere Oberfläche des äußeren Leiters, wodurch die Signale auf den inneren Leiter und die innere Oberfläche des äußeren Leiters beschränkt werden, sogar obwohl der äußere Leiter an dem entgegengesetzten Ende des Kabels geerdet **302** ist, und ein asymmetrisches Signal zu der Senke **304** geleitet wird.

**[0044]** Die magnetisch permeable Hüllen-Symmetrieschaltung **260** umfasst mehrere magnetisch permeable Schläuche oder Leisten **262**, die Ende an Ende entlang einer Länge des Koaxialkabels **216** angeordnet ist. Die Leisten umfassen typischerweise Ferrit-Toroide, die im Wesentlichen die äußere Oberfläche des Koaxialkabels umfassen, aber die Leisten können eine oder mehrere nicht-kontinuierliche Abschnitte aufweisen, die entlang des Umfangs des Kabels angeordnet sind. Ferrite sind typischerweise keramische ferromagnetische Materialien. Die Zutaten werden gemischt, gebrannt, zerstoßen oder zerkleinert und unter Druck gesetzt oder extrudiert und gebrannt, um ihre Endform auszubilden. Ferrite können Seltene Erden wie Kobalt umfassen, aber die häufigsten Ferrite umfassen etwa 50% Eisenoxid. Die Balance der Materialien bestimmt den Gütegrad des fertigen Ferrits und umfasst üblicherweise eine Mischung von Mangan oder Nickel und Zink oder Zinkoxid. Die magnetische Permeabilität von Ferriten ist durch Variieren der Zusammensetzung und des Verfahrens zum Herstellen des Ferrits variierbar. Bezug nehmend auf [Fig. 8](#) hängt die durch eine Ferritleiste



produzierte Induktivität mit der magnetischen Permeabilität des Ferrits zusammen und variiert mit der Frequenz. Um einen über einen weiten Frequenzbereich nützlichen Messfühler bereitzustellen, umfasst eine bevorzugte Ausführungsform der magnetisch permeablen Hüllen-Symmetrieschaltung mehrere Leisten, welche mehrere unterschiedliche Ferritmaterialien **352**, **354**, **354** umfassen, die derart angeordnet sind, dass die magnetische Permeabilität der Leisten zunehmend höher ist, wenn der Abstand von der Messfühlerspitze sich erhöht. Darüber hinaus ist die Induktivität der magnetischen Hüllen-Symmetrieschaltung bei Intervallen von einem Viertel der Wellenlänge des abgeschwächten Signals maximiert. In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Abstand  $L$ , **272**, zwischen den Messfühlerspitzen **254** und dem den Messfühlerspitzen am nächsten liegenden Ende der magnetischen Hülle geringer als die Hälfte der Wellenlänge der höchsten durch den Messfühler zu messenden Frequenz und ist vorzugsweise geringer als 35% und größer als 15% der Wellenlänge der höchsten Frequenz, und ist sogar noch bevorzugter etwa ein Viertel der Wellenlänge der höchsten zu messenden Frequenz. Ähnlich ist es vorzuziehen, dass der Abstand von den Messfühlerspitzen zu einem Teil der Symmetrieschaltung, welche ein Ferrit aufweist, das eine maximale Induktivität bei einer bestimmten Frequenz aufweist, etwa ein Viertel der Wellenlänge der Frequenz beträgt, bei welcher die Induktivität für das Ferrit maximiert ist.

**[0045]** Obwohl die Symmetrieschaltung im Wesentlichen den Ungleichgewichtsstrom blockiert, der auf der äußeren Fläche des äußeren Leiters fließen könnte, kann in dem äußeren Leiter als ein Ergebnis des Vorhandenseins des Leiters in den Strahlungsfeldern der Messfühleranschlussflächen Strom induziert werden. Um das Induzieren von Strom durch das Strahlungsfeld zu verringern, kann das vorstehende Ende des Koaxialkabels verschiebbar in eine Röhre **270** eingefügt sein, welche ein halbflexibles Mikrowellen absorbierendes Material umfasst. Ein Material, das zum Bilden der Röhre verwendet wird, umfasst Eisen und Urethan. Die halbflexible Röhre aus Mikrowellen absorbierendem Material dient dazu, im Wesentlichen die Niveaus induzierter Mikrowellenenergie zu verringern, die sich entlang des äußeren Leiters des Kabels bewegen kann.

**[0046]** Bezug nehmend auf [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) umfasst eine zusätzliche Ausführungsform des Messfühlers **400** mit integrierter Symmetrieschaltung eine zum Vorspannen der DUT verbindbare dritte Messfühlerspitze **402**. Der Lagerblock **402** umfasst einen zusätzlichen Eingangsanschluss **404**, welcher in der dargestellten Ausführungsform einen K-Verbinder vom Zündkerzentyp umfasst, was eine Verbindung der Gleichstromvorspannung von dem Netzwerkanalysator erlaubt. In der dargestellten Ausführungsform ist ein Kabel **406** an seinem hinteren Ende mit dem

zweiten Anschluss des Messfühlers verbunden und erstreckt sich von dem Lagerblock zu dem Messfühlerkopf **408**.

**[0047]** Der Messfühler **408** umfasst ein dielektrisches Blatt **410** und weist im Allgemeinen ebene obere und untere Oberflächen auf und ist an dem vorderen Ende des Koaxialkabels **216** befestigt. Eine erste leitende Signalspur **246** ist elektrisch mit dem inneren Leiter **224** des Koaxialkabels verbunden und eine zweite leitende Signalspur **248** ist elektrisch mit dem äußeren Leiter **218** des Koaxialkabels verbunden. Die zugehörigen leitenden Spuren leiten die Komponenten der differentiellen Eingabe- oder -Ausgabesignale zu oder von der DUT. Leitende Durchgänge erstrecken sich durch das dielektrische Blatt, was Übertragung des Signalpfads von den leitenden Spuren an der oberen Oberfläche des Blatts zu der unteren Oberfläche des Blatts zu den Kontakthöckern oder Messfühlerspitzen **252**, **254** ermöglicht.

**[0048]** Der Leiter **414** des Kabels **406** ist leitend an einem Durchgang **416** befestigt, der sich von dem Boden des dielektrischen Blattes zu dessen oberer Oberfläche erstreckt. Eine an der unteren Oberfläche des dielektrischen Blattes befestigte leitende Spur **412** verbindet den Durchgang mit einer zentral angeordneten Messfühlerspitze **420**. Die leitende Schicht kann, falls gewünscht, im Wesentlichen die gesamte untere Oberfläche des dielektrischen Blattes mit Ausnahme von Abstandsflächen um die Signalmessfühlerspitzen **252** und **254** herum abdecken.

**[0049]** Der Messfühler mit integrierter Symmetrieschaltung ermöglicht es, dass ein Netzwerkanalysator mit zwei Anschlüssen ohne teure externe Symmetrieschaltungen beim Testen integrierter Schaltungen und anderer mikroelektronischer Vorrichtung mit differentiellen Signalen verwendet wird.

**[0050]** Die obige detaillierte Beschreibung stellt zahlreiche spezifische Details dar, um ein vollständiges Verstehen der vorliegenden Erfindung zu bieten. Fachleute werden jedoch erkennen, dass die vorliegende Erfindung ohne diese spezifischen Details ausgeführt werden kann. In anderen Fällen wurden gut bekannte Verfahren, Prozeduren, Komponenten und Schaltungen nicht detailliert beschrieben, um ein Verschleiern der vorliegenden Erfindung zu vermeiden.

**[0051]** Die obige detaillierte Beschreibung stellt zahlreiche spezifische Details dar, um ein vollständiges Verstehen der vorliegenden Erfindung zu bieten. Fachleute werden jedoch erkennen, dass die vorliegende Erfindung ohne diese spezifischen Details ausgeführt werden kann. In anderen Fällen wurden gut bekannte Verfahren, Prozeduren, Komponenten und Schaltungen nicht detailliert beschrieben, um ein Verschleiern der vorliegenden Erfindung zu vermei-

den.

**[0052]** Alle hierin zitierten Referenzen werden durch Bezugnahme mit eingeschlossen.

**[0053]** Die in der voranstehenden Beschreibung verwendeten Begriffe und Ausdrücke sind als Begriffe zur Beschreibung und nicht zur Beschränkung verwendet, und es besteht beim Verwenden derartiger Begriffe und Ausdrücke keinerlei Absicht, Äquivalente der gezeigten und beschriebenen Merkmale oder Teile davon auszuschließen, da anerkannt wird, dass der Rahmen der Erfindung für durch die folgenden Ansprüche definiert und beschränkt ist.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- US 5506515 [\[0038\]](#)
- US 5565788 [\[0038\]](#)
- US 6815963 [\[0038\]](#)

**Schutzansprüche**

1. Messfühler zum Verbinden einer Senke eines differentiellen Signals mit einer ersten Senke des differentiellen Signals und einer zweiten Senke des differentiellen Signals, und einer Quelle eines asymmetrischen Signals und, alternativ, einer Quelle eines differentiellen Signals mit einer ersten Quelle des differentiellen Signals und einer zweiten Quelle des differentiellen Signals und einer Senke eines asymmetrischen Signals, wobei der Messfühler umfasst:

(a) ein längliches Koaxialkabel mit:

(i) einem röhrenförmigen äußeren Leiter mit einer äußeren Oberfläche, einer inneren Oberfläche, einem ersten Ende und einem zweiten Ende, wobei das erste Ende mit der ersten Quelle des differentiellen Signals verbindbar ist und das zweite Ende mit der Senke des asymmetrischen Signals verbindbar ist und, alternativ, das erste Ende mit der ersten Senke des differentiellen Signal verbindbar ist und das zweite Ende mit der Quelle des asymmetrischen Signals verbindbar ist; und

(ii) einem innerhalb der inneren Oberfläche des äußeren Leiters angeordneten inneren Leiter mit einem ersten Ende nahe dem ersten Ende des äußeren Leiters und mit einem zweiten Ende, wobei das erste Ende mit der zweiten Quelle des differentiellen Signals verbindbar ist und das zweite Ende mit der Senke des asymmetrischen Signals verbindbar ist und, alternativ, das erste Ende mit der zweiten Senke des differentiellen Signals verbindbar ist und das zweite Ende mit der Quelle des asymmetrischen Signals verbindbar ist; und

(b) eine magnetisch permeable Hülle mit einer inneren Oberfläche, die im Wesentlichen eine Länge des Koaxialkabels umgibt, und mit einer äußeren Oberfläche.

2. Messfühler nach Anspruch 1, wobei die magnetisch permeable Hülle umfasst:

(a) eine erste Hülle nahe dem ersten Ende des äußeren Leiters; und

(b) eine zweite Hülle, die von dem ersten Ende des äußeren Leiters weiter entfernt ist als die erste Hülle.

3. Messfühler nach Anspruch 1, wobei die magnetisch permeable Hülle umfasst:

(a) eine erste Hülle nahe dem ersten Ende des äußeren Leiters mit einer ersten magnetischen Permeabilität; und

(b) eine zweite Hülle, die von dem ersten Ende des äußeren Leiters weiter entfernt ist als die erste Hülle und eine zweite magnetische Permeabilität aufweist.

4. Messfühler nach Anspruch 3, wobei die zweite magnetische Permeabilität größer ist als die erste magnetische Permeabilität.

5. Messfühler nach Anspruch 1, wobei die Hülle ein erstes Ende nahe dem ersten Ende des äußeren

Leiters umfasst, das von einer Verbindung des äußeren Leiters mit der ersten Quelle des differentiellen Signals oder der ersten Senke des differentiellen Signals um einen Abstand beabstandet ist, der nicht größer als eine halbe Wellenlänge der höchsten durch den Messfühler zu messenden Frequenz ist.

6. Messfühler nach Anspruch 1, wobei die Hülle ein erstes Ende nahe dem ersten Ende des äußeren Leiters aufweist, die von einer Verbindung des äußeren Leiters zu der ersten Quelle des differentiellen Signals oder der ersten Senke des differentiellen Signals um einen Abstand beabstandet ist, der nicht größer als 35% einer Wellenlänge der höchsten durch den Messfühler zu messenden Frequenz ist und der nicht geringer als 15% dieser Wellenlänge ist.

7. Messfühler nach Anspruch 1, wobei die Hülle ein erstes Ende nahe dem ersten Ende des äußeren Leiters aufweist, die von einer Verbindung des äußeren Leiters zu der ersten Quelle des differentiellen Signals oder der ersten Senke des differentiellen Signals um einen Abstand beabstandet ist, der nicht größer als 30% einer Wellenlänge der höchsten durch den Messfühler zu messenden Frequenz ist und der nicht geringer als 20% dieser Wellenlänge ist.

8. Messfühler nach Anspruch 1, wobei die Hülle ein erstes Ende nahe dem ersten Ende des äußeren Leiters aufweist, die von einer Verbindung des äußeren Leiters zu der ersten Quelle des differentiellen Signals oder der ersten Senke des differentiellen Signals um einen Abstand beabstandet ist, der nicht größer als 26% einer Wellenlänge der höchsten durch den Messfühler zu messenden Frequenz ist und der nicht geringer als 24% dieser Wellenlänge ist.

9. Messfühler nach Anspruch 1, ferner umfassend einen Mikrowellenabsorber, der das Koaxialkabel für einen Teil des Abstands zwischen einem Ende der magnetisch permeablen Hülle und dem Ende des äußeren Leiters zumindest teilweise umgibt.

10. Messfühler nach Anspruch 1, wobei die Quelle und die Senke des asymmetrischen Signals eine mit dem äußeren Leiter verbindbare Masseverbindung umfassen.

11. Messfühler nach Anspruch 1, ferner umfassend einen dritten Leiter, der eine Quelle einer Vorspannung und einen Vorspannungsanschluss einer Vorrichtung verbindet, welche die Quelle und die Senke des differentiellen Signals umfasst.

12. Messfühler mit:

(a) einem Lagerblock, der an einem bewegbaren Messfühlerlagerelement befestigbar ist;

(b) ein an dem Lagerblock befestigtes längliches Koaxialkabel, wobei das Koaxialkabel umfasst:

(i) einen länglichen röhrenförmigen äußeren Leiter

mit einer äußeren Oberfläche, einer inneren Oberfläche, einem mit einer Quelle oder einer Senke eines asymmetrischen Signals verbindbaren ersten Ende und einem zweiten Ende;

(ii) einen innerhalb der inneren Oberfläche des äußeren Leiters angeordneten inneren Leiter mit einem ersten Ende nahe dem ersten Ende des äußeren Leiters, das mit der Quelle oder der Senke des asymmetrischen Signals verbindbar ist und mit einem zweites Ende nahe dem zweiten Ende des äußeren Leiters;

(c) einem an dem länglichen Koaxialkabel nahe dem zweiten Ende des äußeren Leiters befestigten Messfühlerkopf, der eine leitend mit dem äußeren Leiter verbundene erste Messfühlerspitze und eine leitend mit dem inneren Leiter verbundene zweite Messfühlerspitze aufweist; und

(d) eine magnetisch permeable Hülle mit einer inneren Oberfläche, die im Wesentlichen eine Länge des Koaxialkabels umgibt.

13. Messfühler nach Anspruch 12, wobei die magnetisch permeable Hülle umfasst:

(a) eine erste Hülle nahe dem zweiten Ende des äußeren Leiters; und

(b) eine zweite Hülle, die von dem zweiten Ende des äußeren Leiters weiter entfernt ist als die erste Hülle.

14. Messfühler nach Anspruch 12, wobei die magnetisch permeable Hülle umfasst:

(a) eine erste Hülle nahe dem zweiten Ende des äußeren Leiters mit einer ersten magnetischen Permeabilität; und

(b) eine zweite Hülle, die von dem zweiten Ende des äußeren Leiters weiter entfernt ist als die erste Hülle mit einer zweiten magnetischen Permeabilität.

15. Messfühler nach Anspruch 14, wobei die zweite magnetische Permeabilität größer ist als die erste magnetische Permeabilität.

16. Messfühler nach Anspruch 12, wobei die Hülle ein erstes Ende nahe dem zweiten Ende des äußeren Leiters umfasst, und von der ersten Messfühlerspitze um einen Abstand beabstandet ist, der nicht größer als eine halbe Wellenlänge der höchsten von dem Messfühler zu messenden Frequenz ist.

17. Messfühler nach Anspruch 12, wobei die Hülle ein erstes Ende nahe dem zweiten Ende des äußeren Leiters umfasst, das von der ersten Messfühlerspitze um einen Abstand beabstandet ist, der nicht größer als 35% einer Wellenlänge der höchsten von dem Messfühler zu messenden Frequenz ist und der nicht geringer als 15% dieser Wellenlänge ist.

18. Messfühler nach Anspruch 12, wobei die Hülle ein erstes Ende nahe dem zweiten Ende des äußeren Leiters umfasst, das von der ersten Messfühlerspitze um einen Abstand beabstandet ist, der nicht größer als 30% einer Wellenlänge der höchsten von

dem Messfühler zu messenden Frequenz ist und der nicht geringer als 20% dieser Wellenlänge ist.

19. Messfühler nach Anspruch 12, wobei die Hülle ein erstes Ende nahe dem zweiten Ende des äußeren Leiters umfasst, das von der ersten Messfühlerspitze um einen Abstand beabstandet ist, der nicht größer als 26% einer Wellenlänge der höchsten von dem Messfühler zu messenden Frequenz ist und der nicht geringer als 24% dieser Wellenlänge ist.

20. Messfühler nach Anspruch 12, ferner umfassend einen Mikrowellenabsorber, der das Koaxialkabel für einen Teil eines Abstands zwischen einem Ende der magnetisch permeablen Hülle und der ersten Messfühlerspitze zumindest teilweise umgibt.

21. Messfühler nach Anspruch 12, wobei die Quelle und die Senke des asymmetrischen Signals eine mit dem äußeren Leiter verbindbare Masse umfassen.

22. Messfühler nach Anspruch 12, ferner umfassend einen dritten Leiter, der verbindbar ist, um eine Quelle einer Vorspannung mit einer dritten Messfühlerspitze zu verbinden.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

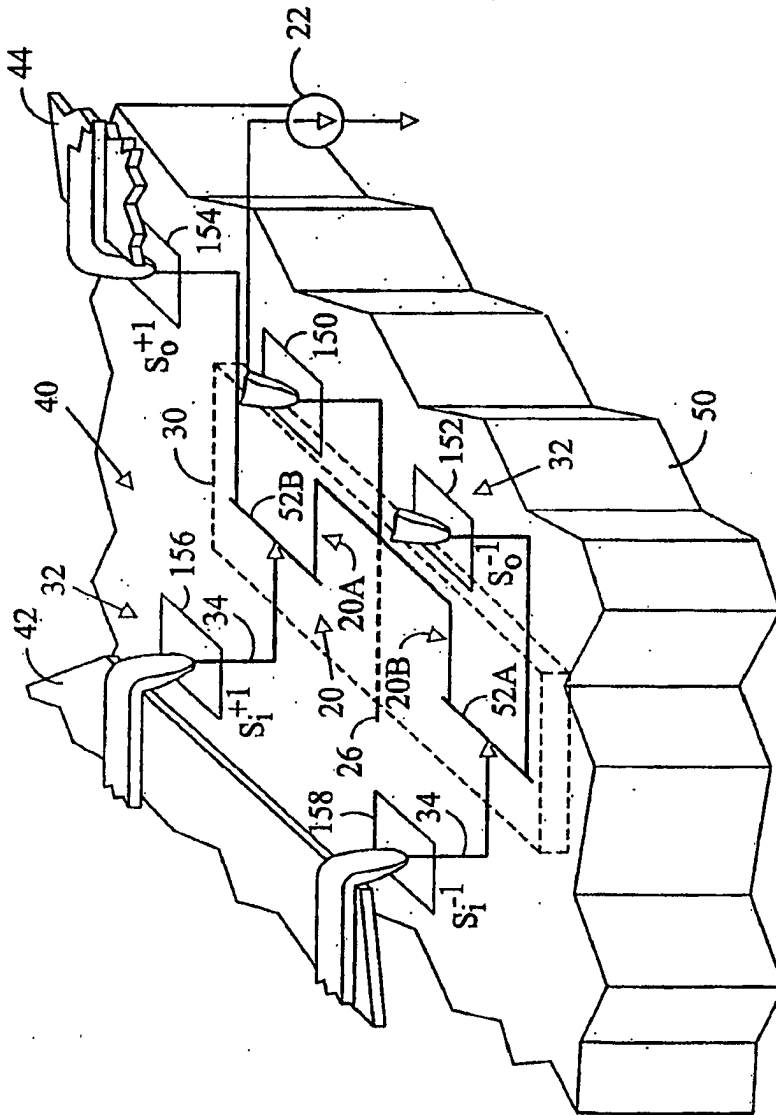


FIG. 1

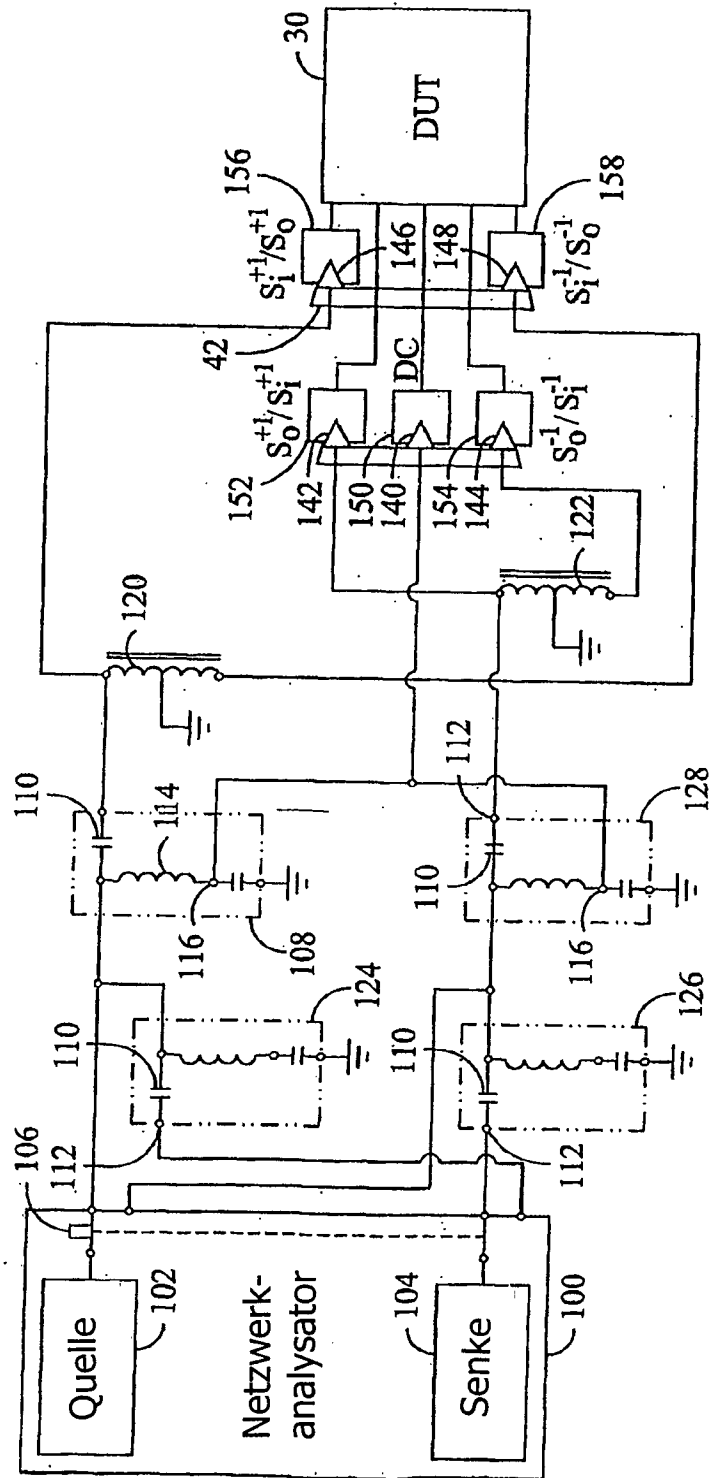


FIG. 2

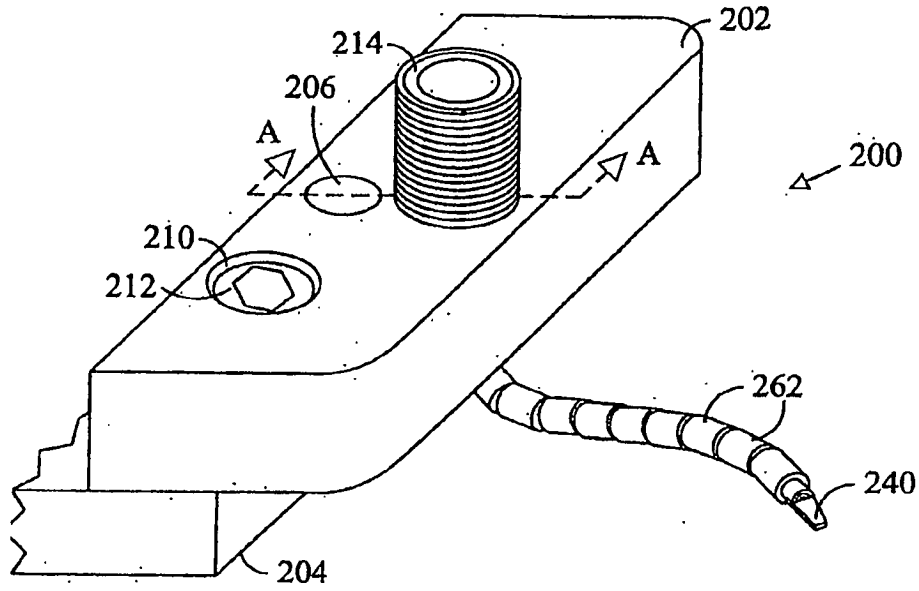


FIG. 3

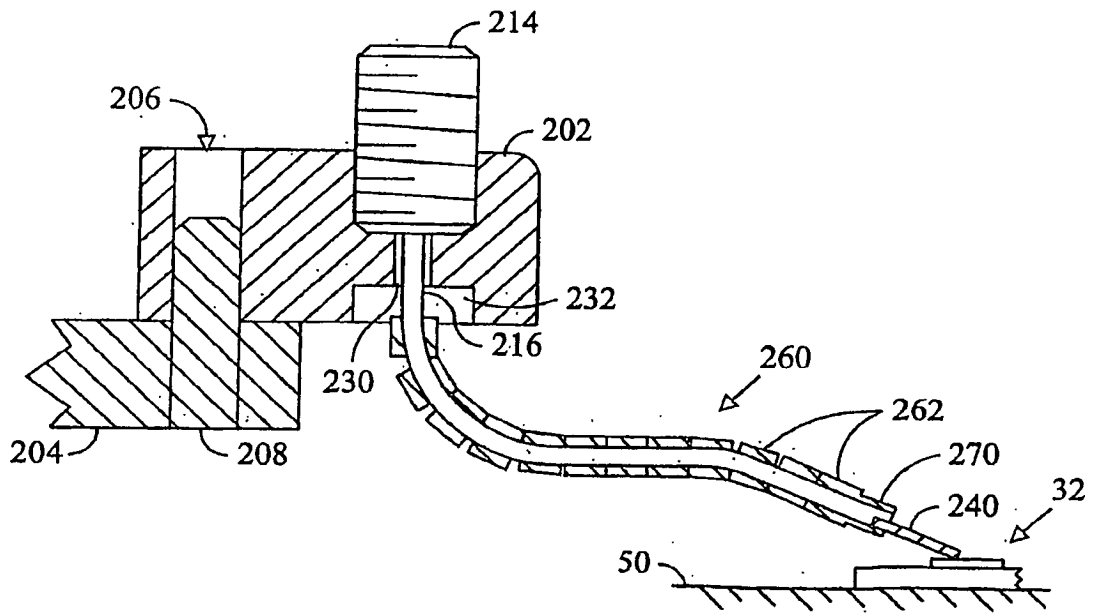


FIG. 4



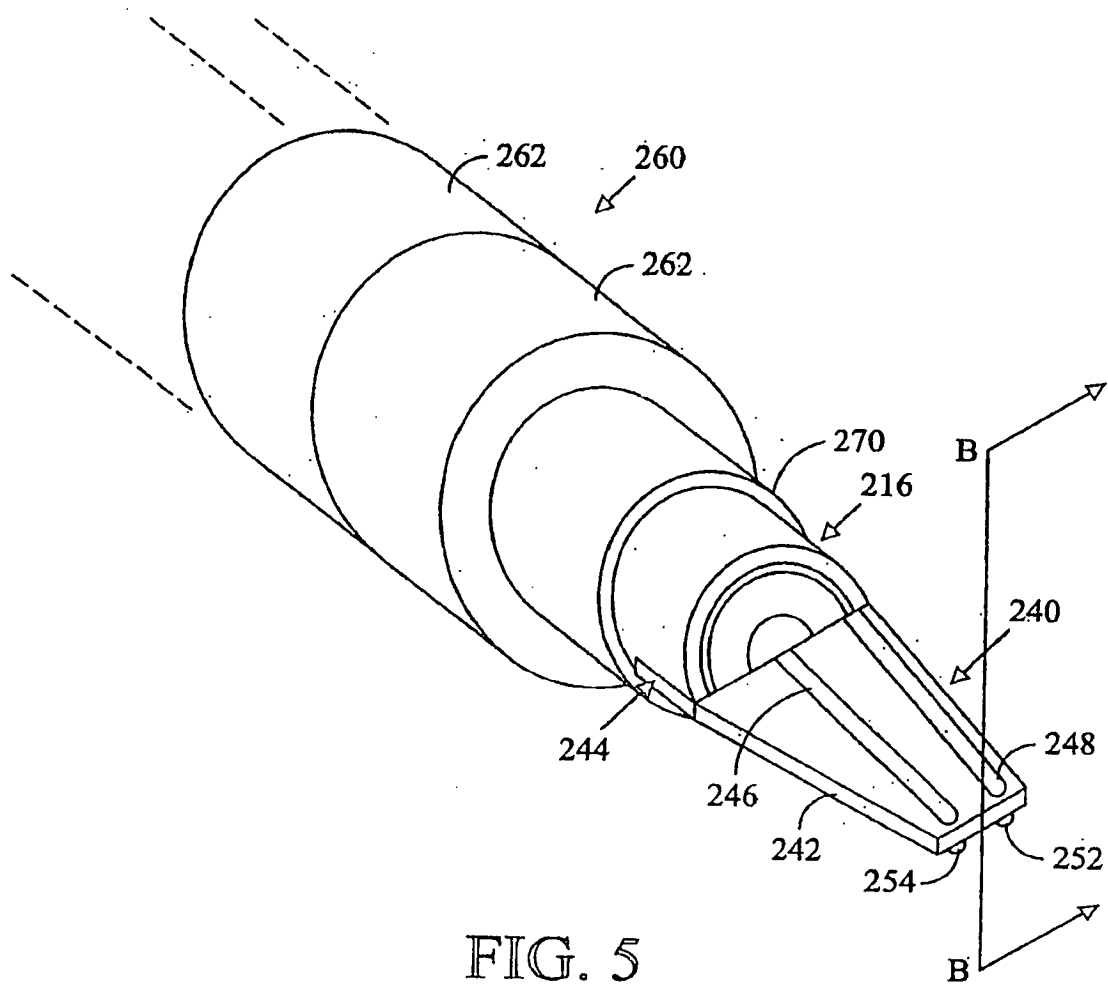


FIG. 5

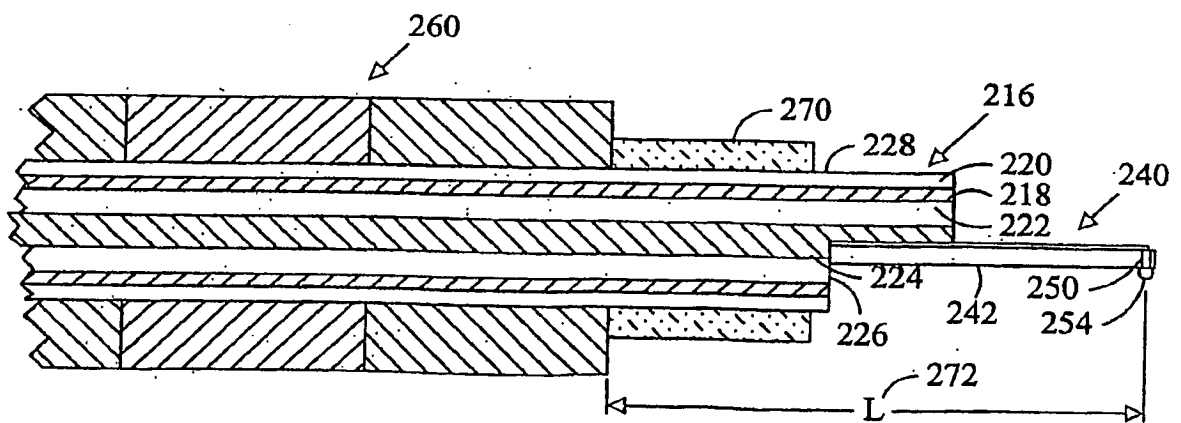


FIG. 6

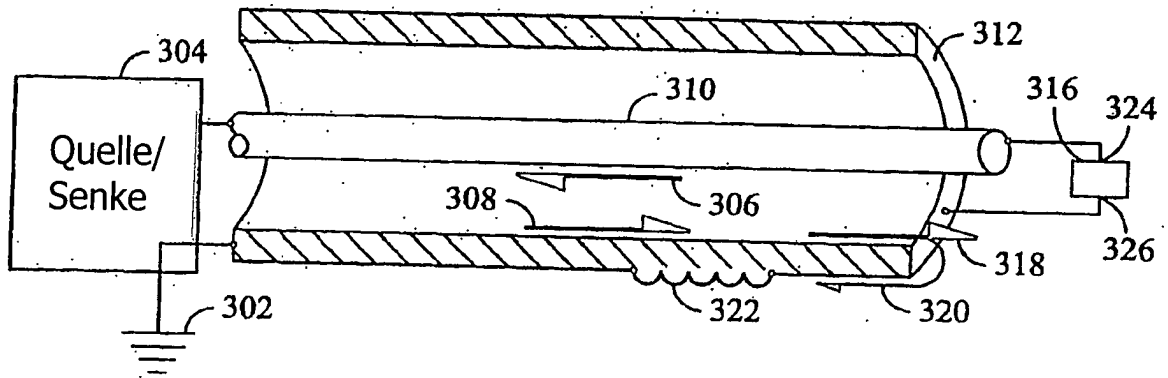


FIG. 7

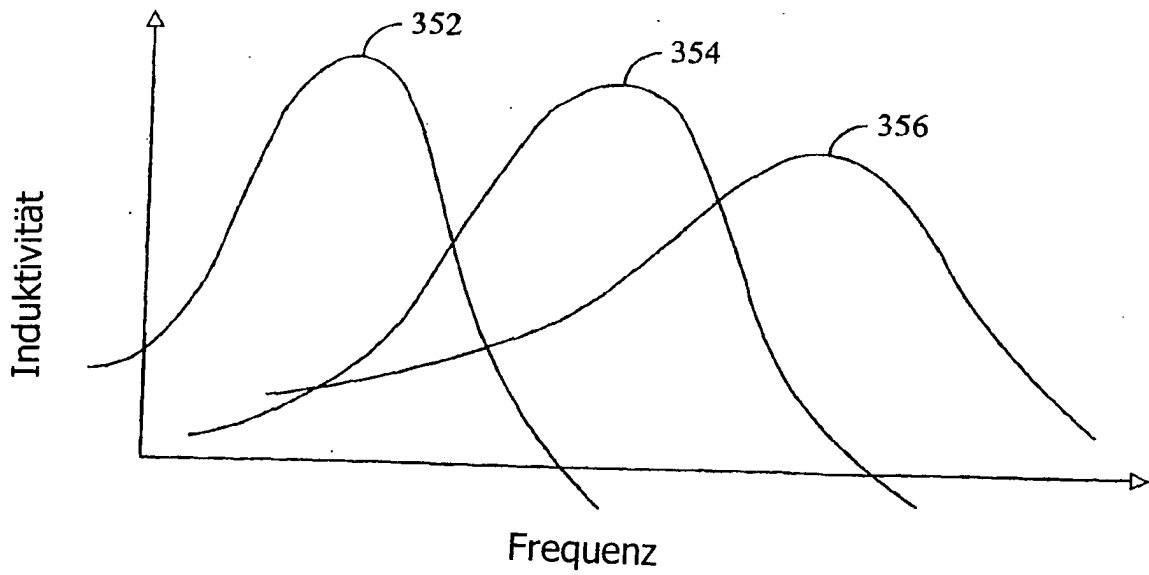


FIG. 8

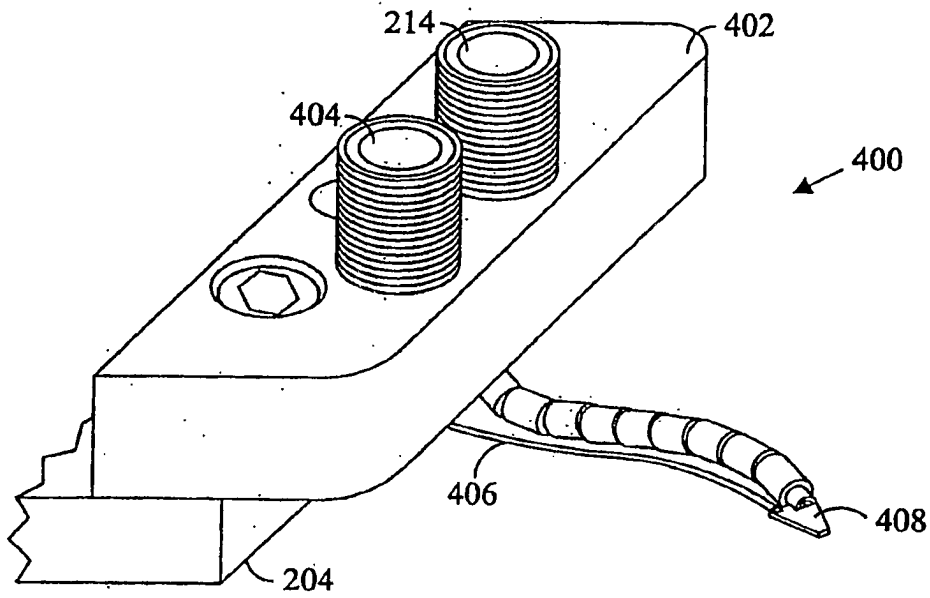


FIG. 9

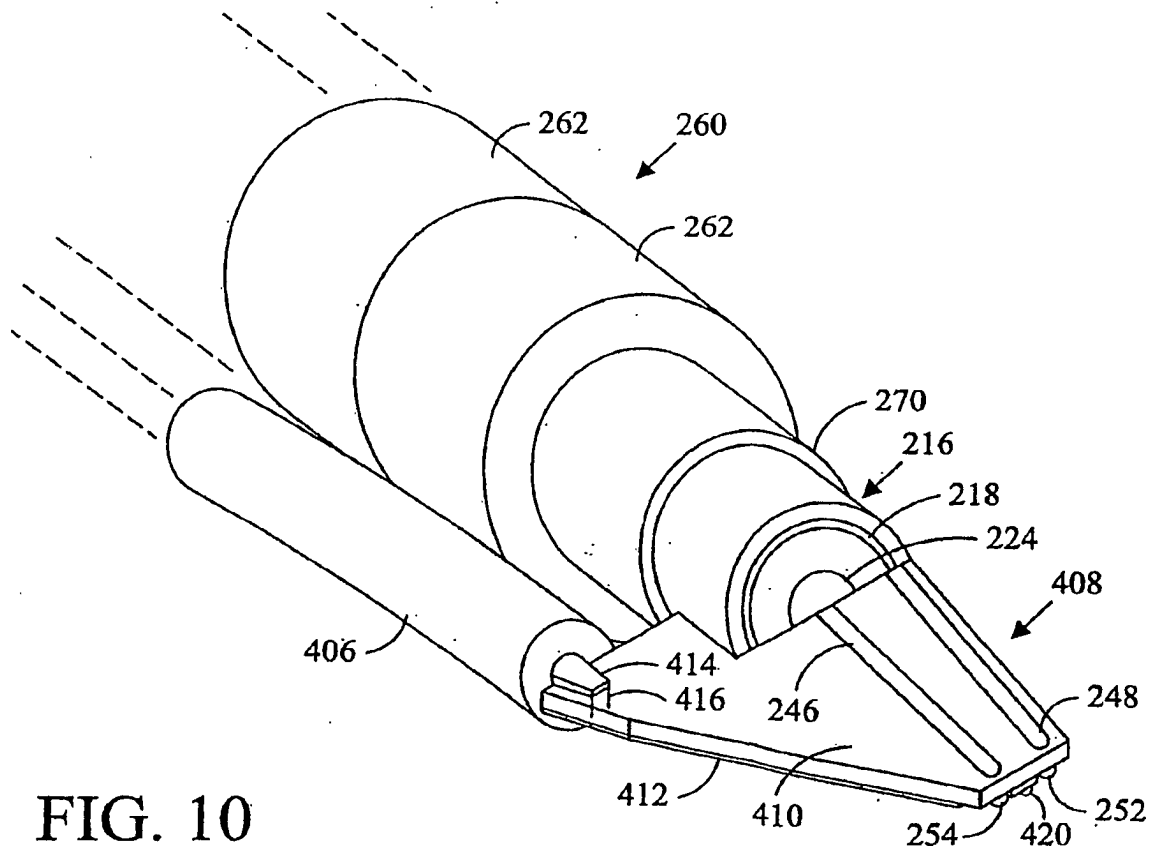


FIG. 10