



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 100 64 183 B4** 2004.11.11

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **100 64 183.0**
(22) Anmeldetag: **22.12.2000**
(43) Offenlegungstag: **19.07.2001**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **11.11.2004**

(51) Int Cl.⁷: **G01N 27/20**
G01R 29/22, H01L 41/22

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

(30) Unionspriorität:

11-365929	24.12.1999	JP
00-369009	04.12.2000	JP

(71) Patentinhaber:

Murata Mfg. Co., Ltd., Nagaokakyo, Kyoto, JP

(74) Vertreter:

Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049 Pullach

(72) Erfinder:

Ikuta, Masato, Nagaokakyo, JP; Tabata, Toshinari, Nagaokakyo, JP; Nishimura, Masao, Nagaokakyo, JP

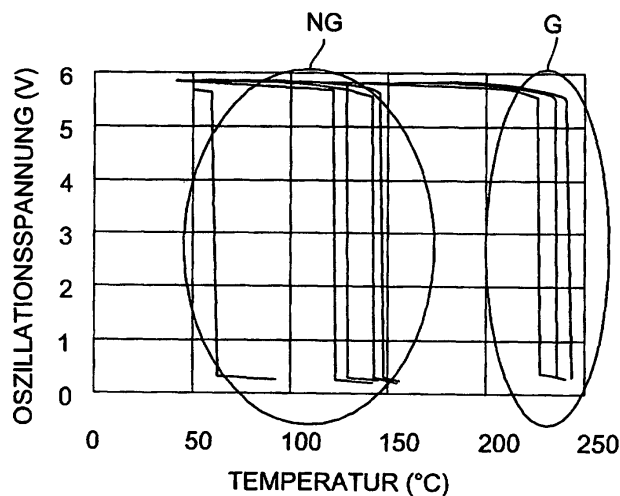
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

JP 06-0 03 305 A

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Untersuchen eines piezoelektrischen Keramikelements**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Untersuchen eines piezoelektrischen Keramikelements mit folgenden Schritten: Messen (S1; S4; S7) von zumindest der piezoelektrischen Phasencharakteristik oder der Impedanzcharakteristik des piezoelektrischen Keramikelements (2); Vergleichen (S2; S5; S8) von zumindest der piezoelektrischen Phasencharakteristik oder der Impedanzcharakteristik, die in dem Schritt des Messens gemessen wird, mit einer Standardcharakteristik; und Erfassen des Vorhandenseins oder des Nichtvorhandenseins eines inneren Defekts (S3; S6; S9; S10) in dem piezoelektrischen Keramikelement (2) basierend auf den Ergebnissen des Schritts des Vergleichens; gekennzeichnet durch folgenden Schritt vor dem Schritt des Messens:

Erwärmen und Erhöhen der Temperatur (S1; S4; S7) die piezoelektrischen Keramikelements (2), wobei die piezoelektrische Phasencharakteristik oder die Impedanzcharakteristik des piezoelektrischen Keramikelements (2) gemessen wird, wenn das piezoelektrische Keramikelement die erhöhte Temperatur aufweist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum zerstörungsfreien Überprüfen bzw. Untersuchen von inneren Defekten, wie beispielsweise mikroskopischen Rissen bzw. Mikrorissen, oder anderen Defekten, die in einer piezoelektrischen Keramikvorrichtung bzw. einem piezoelektrischen Keramikelement, wie beispielsweise einem Oszillator, einem Filter, oder anderen derartigen Vorrichtungen, auftreten, wobei die Defekte die Qualität und Eigenschaften bzw. Charakteristika des piezoelektrischen Keramikelements beeinflussen.

Stand der Technik

[0002] Bei einem herkömmlichen Verfahren zum zerstörungsfreien Untersuchen eines inneren Defekts einer piezoelektrischen Keramikvorrichtung bzw. eines piezoelektrischen Keramikelements wird die Impedanz und/oder das Phasenverhalten bzw. die Phasencharakteristik einer piezoelektrischen Keramikvorrichtung gemessen, wird das Kurvenmuster, das die Charakteristik repräsentiert, nur einem Standardkurvenmuster verglichen und, falls die Kurvenmuster voneinander verschieden sind, wird entschieden, daß Mikrorisse bei dem piezoelektrischen Keramiksubstrat vorhanden sind, wie es in der Veröffentlichung Nr. 6-3305 der ungeprüften japanischen Patentanmeldung beschrieben ist.

[0003] Gemäß einem derartigen Untersuchungsverfahren ist eine automatische Entscheidung möglich. Somit kann vorteilhafterweise eine Entscheidung, ob viele piezoelektrische Keramikvorrichtungen nicht mit Defekten behaftet oder mit Defekten behaftet sind, schnell und effizient durchgeführt werden. Ferner ist die Untersuchungsgenauigkeit hoch, da die Untersuchung nicht visuell bzw. sichtbar durchgeführt wird.

[0004] Gemäß dem oben beschriebenen Untersuchungsverfahren wird eine elektrische Charakteristik bzw. Eigenschaft bei einer gewöhnlichen Temperatur gemessen und mit einer Standardcharakteristik bzw. Eigenschaft verglichen. Es gibt jedoch viele Fälle, bei denen eine Differenz zwischen nicht mit Defekten behafteten Komponenten und mit Defekten behafteten Komponenten klein ist oder bei gewöhnlichen Temperaturen nicht vorhanden ist. Somit ist es unter Verwendung des oben beschriebenen Untersuchungsverfahrens nicht möglich, einen inneren Defekt, wie beispielsweise einen Mikroriß oder andere Defekte, vollständig zu erfassen.

[0005] Bei einem Beispiel wurde jeder einer Mehrzahl von keramischen Oszillatoren bzw. Schwingern (Oszillationsfrequenz bzw. Schwingungsfrequenz: 25 MHz) in einer Oszillationsschaltung bzw. einem Schwingkreis vorgesehen, wurde der Oszillator in einer Atmosphäre bei einer Temperatur von 200°C an-

geordnet, während der Oszillator in Schwingungen versetzt wurde, und dann wurden die Charakteristika der Oszillationsspannung bzw. Schwingungsspannung gemessen. **Fig. 1** zeigt die Meßergebnisse. Die Charakteristika dieser Oszillatoren sind bei einer gewöhnlichen Temperatur nicht verschieden.

[0006] Wie es in **Fig. 1** zu sehen ist sind die Oszillationsspannungen mit der Zunahme der Temperatur geringfügig verringert. Einige der Oszillatoren (NG) sind auf ungefähr 0 V verringert, und die Oszillation ist gestoppt bzw. angehalten. Bei den anderen Oszillatoren (G) ist die Oszillation bzw. Schwingung nicht gestoppt, sogar bei 200°C oder höher.

[0007] Diese Oszillatoren wurden geöffnet und die innere Vorrichtung wurde mit einem Mikroskop beobachtet bzw. untersucht. Bei den Oszillatoren (NG), die ihre Oszillation bei einer niedrigen Temperatur gestoppt bzw. angehalten haben, wurde es bestimmt, daß sich Mikrorisse innerhalb der Vorrichtung ausgebildet haben. Folglich ist es entdeckt worden, daß einige Oszillatoren, die bei gewöhnlichen Temperaturen normal oszillieren und normale Charakteristika zeigen, in ihrem Inneren Mikrorisse aufweisen, und daß ein innerer Defekt durch Messen der Charakteristik der Oszillatoren erfaßt werden kann, während sie gemäß bevorzugter Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, wie es unten beschrieben ist, erwärmt bzw. erhitzt werden.

Aufgabenstellung

[0008] Um nun die oben beschriebenen Probleme zu überwinden, ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Untersuchen einer piezoelektrischen Keramikvorrichtung bzw. eines piezoelektrischen Keramikelements zu schaffen, durch das ein innerer Defekt bzw. Fehler, der bei einer gewöhnlichen Temperatur nicht erfaßbar wird, genau und verläßlich auf zerstörungsfreie Weise erfaßt werden kann.

[0009] Ferner soll ein Verfahren zum Untersuchen einer piezoelektrischen Keramikvorrichtung bzw. eines piezoelektrischen Keramikelements geschaffen werden, durch das ein innerer Defekt mit einer hohen Geschwindigkeit unter Verwendung eines einfachen Instruments erfaßt werden kann.

[0010] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren zum Untersuchen eines piezoelektrischen Keramikelements nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0011] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfaßt ein Verfahren zum Untersuchen einer piezoelektrischen Keramikvorrichtung bzw. eines piezoelektrischen Keramikele-

ments die folgenden Schritte: Erwärmen und Erhöhen der Temperatur einer piezoelektrischen Keramikvorrichtung auf eine erhöhte Temperatur, die in der Nähe einer maximalen Temperatur liegt, bei der die piezoelektrische Keramikvorrichtung, wenn die Temperatur der Vorrichtung auf eine gewöhnliche Temperatur zurückgeführt wird, auf die im wesentlichen gleiche piezoelektrische Charakteristik zurückgeführt wird, wie die vor dem Erwärmen; Messen von zumindest entweder der piezoelektrischen Phasencharakteristik oder der Impedanzcharakteristik der piezoelektrischen Keramikvorrichtung, während die Vorrichtung erwärmt wird und die Temperatur von ihr erhöht wird; Vergleichen von zumindest entweder der gemessenen piezoelektrischen Phasencharakteristik oder der gemessenen Impedanzcharakteristik mit einer Standardcharakteristik; und Erfassen des Vorhandenseins oder des Nichtvorhandenseins eines inneren Defekts der piezoelektrischen Keramikvorrichtung auf der Grundlage der Ergebnisse des Schritts des Vergleichens.

[0012] Bei dieser bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird zuerst die piezoelektrische Keramikvorrichtung erwärmt, so daß die Temperatur von ihr erhöht wird.

[0013] Anschließend zeigt sich, wenn zumindest die Phasencharakteristik oder die Impedanzcharakteristik der piezoelektrischen Keramikvorrichtung sich in einem Zustand des Erwärmens und Erhöehens der Temperatur befinden, eine große Änderung, wobei die piezoelektrische Keramikvorrichtung innere Defekte in Übereinstimmung mit der Temperaturerhöhung aufweist, wobei eine derartige große Änderung sich bei der normalen Temperatur nicht zeigt. Dann wird die gemessene Phasencharakteristik oder die gemessene Impedanzcharakteristik mit der Standardcharakteristik verglichen. Die Standardcharakteristik kann von der Phasencharakteristik oder der Impedanzcharakteristik einer guten piezoelektrischen Keramikvorrichtung (ohne innere Defekte) beispielsweise erhalten werden.

[0014] Als Ergebnis des oben beschriebenen Vergleichs wird, wenn die gemessene Charakteristik derart von der Standardcharakteristik verschieden ist, um einen vorbestimmten Bereich der Charakteristik zu übersteigen, es entschieden, daß die piezoelektrische Keramikvorrichtung einen inneren Defekt aufweist.

[0015] Zusätzlich dazu können gemäß der bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung nicht nur Mikrorisse, sondern auch Fremdmaterialien, die an einer Elektrode anhaften, erfaßt werden.

[0016] Es wäre wünschenswert, die erhöhte Temperatur beim Erwärmen auf die Temperatur einzustellen,

die sich in der Nähe der maximalen Temperatur befindet, bei der die piezoelektrische Charakteristik der piezoelektrischen Keramikvorrichtung auf im wesentlichen die gleiche wie diejenige vor dem Erwärmen zurückkehrt, wenn die piezoelektrische Keramikvorrichtung zurück bei der normalen Temperatur nach dem Erwärmen ist. Die inneren Defekte, die bei der normalen Temperatur nicht untersucht werden können, können durch Erwärmen bei einer so hoch wie möglichen Temperatur sicher untersucht werden, so lange die piezoelektrische Charakteristik wieder zurückkehren kann. Wenn die piezoelektrische Keramikvorrichtung auf eine bzw. bei einer höheren Temperatur als die oben beschriebene Temperatur erwärmt wird, wird die piezoelektrische Charakteristik der piezoelektrischen Keramikvorrichtung selbst nicht reversibel bzw. nicht umkehrbar geändert, wodurch sie nicht zu bevorzugen ist.

[0017] Bevorzugterweise wird als die zu messende Phasencharakteristik ein maximaler Phasenwinkel $\theta_{\max}$ verwendet. Bei einer gewöhnlichen Temperatur zeigt die piezoelektrische Keramikvorrichtung bzw. das piezoelektrische Keramikelement die Phasencharakteristik, die durch die durchgezogene Linie P_1 in **Fig. 2** gezeigt ist. Bei einer höheren Temperatur wird die Phase verringert, wie es durch die gestrichelte Linie P_2 gezeigt ist. Je größer der innere Defekt der piezoelektrischen Keramikvorrichtung wird, desto mehr wird der Betrag der Phasenverringung erhöht. Bevorzugterweise wird ein innerer Defekt durch Verwenden der Phasenverringung beurteilt bzw. entschieden.

[0018] **Fig. 3** zeigt die Ergebnisse, die erhalten werden, wenn Vorrichtungen NG, die einen inneren Defekt aufweisen, und Vorrichtungen G, die keinen inneren Defekt aufweisen, in der gleichen Weise erwärmt werden, und die maximalen Phasenwinkel in der Nähe der Oszillationsfrequenz f_{osc} gemessen werden. Wie es in **Fig. 3** gezeigt ist, zeigen die Vorrichtungen NG, die einen inneren Defekt aufweisen, eine größere Verringerung bezüglich des maximalen Phasenwinkels, im Vergleich zu den Vorrichtungen G, die keinen inneren Defekt aufweisen. Somit kann erkannt werden, daß eine Wechselbeziehung zwischen dem inneren Defekt und dem maximalen Phasenwinkel besteht.

[0019] Bei den Vorrichtungen NG, die einen inneren Defekt aufweisen, betragen die Phasen nicht mehr als ungefähr 60° . Auf der anderen Seite betragen die Phasen bei den Vorrichtungen G, die keinen inneren Defekt aufweisen, nicht weniger als ungefähr 70° . In dem Fall dieser Vorrichtungen kann es sicher erfaßt werden, ob ein innerer Defekt vorhanden ist, oder nicht, indem die erhöhte Temperatur zur Verwendung bei der Entscheidung, ob kein Defekt vorliegt oder ob ein Defekt vorliegt, bei ungefähr 150°C oder höher eingestellt wird, und ferner indem der maximale Pha-

senwinkel als eine Schwelle bzw. ein Schwellenwert für die Entscheidung gesetzt wird, ob eine Vorrichtung keinen Defekt aufweist oder, ob sie einen Defekt aufweist.

[0020] Vorzugsweise wird als die zu messende Impedanzcharakteristik die Differenz $Z_a - Z_r$ zwischen einer Antiresonanzimpedanz Z_a und einer Resonanzimpedanz Z_r verwendet. Bei einer gewöhnlichen Temperatur kann die Impedanzcharakteristik dargestellt werden, wie es durch die durchgezogene Linie 11 in **Fig. 2** gezeigt ist. Bei einer höheren Temperatur wird sowohl der Antiresonanzpunkt als auch der Resonanzpunkt auf die Seite der höheren Frequenz hin verschoben, und ferner wird die Impedanzdifferenz $Z_a - Z_r$ verringert. Vorzugsweise wird ein innerer Defekt durch die Verwendung dieser Charakteristik beurteilt bzw. entschieden.

[0021] Zusätzlich zu $Z_a - Z_r$ können die Werte von Z_a und Z_r für sich allein genommen, ein Frequenzwechselverhältnis bzw. ein Frequenzänderungsverhältnis (dZ_a/df) bei einem Antiresonanzpunkt, ein Frequenzänderungsverhältnis (dZ_r/df) bei einem Resonanzpunkt, eine Oszillationsfrequenz f_{osc} , eine Antiresonanzfrequenz f_a , und eine Resonanzfrequenz f_r verwendet werden.

[0022] Es sei zu erwähnen, daß die zu messende Phasencharakteristik und die zu messende Impedanzcharakteristik nicht auf die oben erwähnten beschränkt sind. Andere geeignete Messungen können ebenso verwendet werden.

[0023] Bezugnehmend auf ein Verfahren zum Erwärmen der piezoelektrischen Keramikvorrichtung, um die Temperatur zu erhöhen, wird die Vorrichtung beispielsweise in einer Atmosphäre mit hoher Temperatur angeordnet oder über einen Heizer von außen erwärmt. Gemäß diesen Verfahren dauert es jedoch zumindest mehrere Sekunden, um die Temperatur der Vorrichtung zu erhöhen. Die Wirksamkeit ist sehr gering und ferner ist eine Anlage in großem Maßstab zum Erwärmen erforderlich. Folglich wird das Erwärmen und die Temperaturerhöhung vorzugsweise dadurch durchgeführt, daß ein Hochfrequenzmeßsignal mit einem Pegel, der höher als der Nennpegel der piezoelektrischen Keramikvorrichtung ist, auf die piezoelektrische Keramikvorrichtung angewendet wird, wobei die piezoelektrische Keramikvorrichtung selbst durch die Anwendung des Hochfrequenzsignals eine dielektrische Erwärmung bzw. eine kapazitive Hochfrequenzenerwärmung erfährt, und wird der Schritt des Messens dadurch durchgeführt, daß zumindest die Phasencharakteristik oder die Impedanzcharakteristik der piezoelektrischen Keramikvorrichtung in Übereinstimmung mit der Anwendung des Hochfrequenzsignals gemessen wird.

[0024] Das bedeutet, daß die Erfinder der vorliegen-

den Erfindung erkannt haben, daß durch Erhöhen des Leistungspegels des Meßsignals die Vorrichtung über eine dielektrische Erwärmung schnell erwärmt wird. In diesem Fall wird, wenn das Leistungsniveau bzw. der Leistungspegel übermäßig hoch ist, die Temperatur zu hoch, was in einer Beeinträchtigung bzw. Verschlechterung der Charakteristika der Vorrichtung resultiert. In einem derartigen Fall des Überhitzens bzw. Übererwärmens kann die piezoelektrische Keramikvorrichtung, wenn die Temperatur auf eine gewöhnliche Temperatur zurückgeführt wird, nicht zu der piezoelektrischen Charakteristik vor dem Erwärmen zurückgeführt werden. Aus diesem Grund ist es wünschenswert, ein Hochfrequenzmeßsignal auszuwählen, das einen Pegel aufweist, der höher als der Nennpegel der Vorrichtung ist und der der möglich höchste Pegel in dem Temperaturbereich ist, bei dem die piezoelektrische Charakteristik zu der Charakteristik zurückgeführt werden kann, die vorhanden war, bevor die Vorrichtung erwärmt wurde. Ferner haben Vorrichtungen, die verschiedene Oszillationsfrequenzen aufweisen, verschiedene Dicken. Folglich ist es notwendig, den Leistungspegel entsprechend zu derartigen Dicken auszuwählen.

[0025] Wie es oben beschrieben worden ist, können der Schritt des Erwärmens und der Temperaturerhöhung und der Schritt des Messens gleichzeitig unter Verwendung derselben Vorrichtung bzw. Anlage durchgeführt werden. Als Folge davon ist die Zeit des Erwärmens und des Messens in hohem Maße verringert. Ferner ist es nur nötig, den Leistungspegel eines bestehenden Meßinstruments zu erhöhen und zu steuern. Somit können diese Schritte unter Verwendung einer sehr einfach und relativ kostengünstigen Vorrichtung bzw. Anlage durchgeführt werden.

[0026] **Fig. 4** zeigt Temperaturanstiegskurven (Berechnungswerte), die erhalten werden, indem die Vorrichtung durch eine dielektrische Erwärmung erwärmt wird. Die jeweiligen Kurven werden erhalten, indem der Leistungspegel von ungefähr 30 dBm bis auf ungefähr 40 dBm schrittweise verändert wird. Wie es in **Fig. 4** zu sehen ist, erreicht die Temperatur annähernd die maximale Temperatur, wenn eine Zeitperiode bzw. ein Zeitintervall von ungefähr 400 Millisekunden von dem Start des Anwendens der Wärme an verstreicht.

[0027] Wie es oben beschrieben worden ist, kann die Temperatur, wenn die Vorrichtung durch eine dielektrische Erwärmung erwärmt wird, auf eine Solltemperatur in ungefähr mehreren hundert Millisekunden erhöht werden. Somit wird die Temperaturanstiegszeit bedeutend verringert, und außerdem wird die Zeit, die für die Erfassung eines inneren Defekts erforderlich ist, in hohem Maße verringert. Ferner kann die Temperatur der Vorrichtung vorteilhafterweise schnell auf ihren Anfangswert zurückgeführt werden, da das Erwärmen lokal und spontan bzw. plötzlich er-

folgt.

[0028] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird die piezoelektrische Keramikvorrichtung unter Verwendung der dielektrischen Erwärmung durch Anwenden des Hochfrequenzsignals mit einem hohen Pegel von der Innenseite bzw. von dem Inneren her erwärmt. Es sind ungefähr 400 Millisekunden zum Untersuchen der Defekte erforderlich. Dann kann gleichzeitig zu dieser inneren Erwärmung, wenn die piezoelektrische Keramikvorrichtung extern bzw. von außen erwärmt wird, die Meßzeit weiter verkürzt werden, weil die piezoelektrische Keramikvorrichtung schnell auf die vorbestimmte Temperatur erwärmt werden kann. So ist es zu bevorzugen, die innere Erwärmung und die äußere Erwärmung zu kombinieren, um die Meßzeit zu verringern.

[0029] Bei der inneren Erwärmung (dielektrische Erwärmung) erzeugt die piezoelektrische Keramikvorrichtung Wärme bei Abschnitten von Vibrationselektroden und die erzeugte Wärme wird an die äußeren Randabschnitte bzw. Peripherieabschnitte übertragen. Auf der anderen Seite wird bei der externen bzw. äußeren Erwärmung die erzeugte Wärme von der piezoelektrischen Keramikvorrichtung von den äußeren Randabschnitten bzw. Peripherieabschnitten zu dem Inneren bzw. der Innenseite übertragen. Somit kann, wenn die innere Erwärmung und die äußere Erwärmung zur gleichen Zeit verwendet werden, nicht nur die Meßzeit verringert werden, sondern die piezoelektrische Keramikvorrichtung kann auch erwärmt werden, um die Temperatur gleichförmig über die Vorrichtung zu erhöhen.

[0030] Als ein Verfahren zum äußeren Erwärmen kann ein Verfahren unter Verwendung der Konvektion, ein Verfahren unter Verwendung der Wärmestrahlung, ein Verfahren unter Verwendung der Wärmeleitung, usw. vorgesehen werden. Um ein Erwärmen und ein Erhöhen der Temperatur in einem kurzen Intervall und mit einer einfachen Vorrichtung bzw. Anlage durchzuführen, ist das Wärmeleitungsverfahren bevorzugt.

[0031] Wenn die Phasencharakteristik und die Impedanzcharakteristik der piezoelektrischen Keramikvorrichtung in einem Zustand, bei dem die Vorrichtung erwärmt ist, gemessen werden, können die Defekte, die bei der normalen Temperatur nicht untersucht werden könnten, untersucht werden. Es gibt jedoch einige piezoelektrische Keramikvorrichtungen, deren Phasencharakteristik den Standardwertbereich in Übereinstimmung mit der Temperaturerhöhung überschreitet, und in den Standardwertbereich zurückkehrt, nachdem die inneren Defekte untersucht werden, wenn die Temperatur weiter erhöht wird. Derartige piezoelektrische Keramikvorrichtungen sind auch Defektprodukte.

[0032] Fig. 5 zeigt die Beziehung zwischen der Temperatur und dem maximalen Phasenwinkel $\theta_{\max}$ bei dem Erwärmungsprozeß, wenn die piezoelektrische Keramikvorrichtung bzw. das piezoelektrische Keramikelement von außen erwärmt wird.

[0033] In Fig. 5 bezeichnet G eine gute Durchschnittsphasencharakteristik. NG1 und NG2 sind Phasencharakteristika der Defektprodukte, die innere Defekte aufweisen. Bei den Fällen von NG1 und NG2 weichen die Phasencharakteristika von der Standardcharakteristik (der Charakteristik von G) bei einer vorbestimmten Temperatur (70°C oder 120°C) ab, und die inneren Defekte können untersucht bzw. beobachtet werden. Wenn jedoch die Temperatur weiter erhöht wird, dann unterscheiden sich die Phasencharakteristika hiervon nicht von der Standardcharakteristik, und die inneren Defekte können nicht untersucht werden.

[0034] Fig. 6 zeigt die Beziehung zwischen der verstrichenen Zeit und dem maximalen Phasenwinkel $\theta_{\max}$, wenn die piezoelektrische Keramikvorrichtung dielektrisch erwärmt wird.

[0035] Wie es in Fig. 6 gezeigt ist, wird der Defekt bei der verstrichenen Zeit von ungefähr 150 Millisekunden untersucht bzw. beobachtet und danach kehrt die Charakteristik in dem Fall von NG1 zu dem normalen Wert zurück. Bei NG2 ist die Charakteristik vor der verstrichenen Zeit von 300 Millisekunden normal, wobei danach jedoch der Defekt untersucht bzw. beobachtet wird.

[0036] Es sei festzustellen, daß die piezoelektrischen Keramikvorrichtungen von NG1 und NG2 in Fig. 6 die gleichen wie NG1 und NG2 in Fig. 5 sind.

[0037] Es wird ferner angenommen, daß der Grund, warum der Zustand der Defekte von NG1 verschieden zu dem von NG2 ist, in den Unterschieden beim Erzeugen von Positionen von Mikrorissen liegt.

[0038] Auf diese Weise kann, wenn die Untersuchung nur bei einer vorbestimmten Temperatur und bei einer vorbestimmten verstrichenen Zeit durchgeführt wird, ein Defekt der piezoelektrischen Keramikvorrichtung, dessen Charakteristik zu dem Standardwert zurückkehrt, nicht untersucht werden.

[0039] Somit wird gemäß der vorliegenden Erfindung zumindest entweder die Phasencharakteristik oder die Impedanzcharakteristik der piezoelektrischen Keramikvorrichtung bei einer Mehrzahl von verschiedenen Temperaturen innerhalb der Vorrichtung gemessen. Wenn die Messung bei der Mehrzahl von Temperaturwerten durchgeführt wird, können innere Defekte der piezoelektrischen Keramikvorrichtung, deren Charakteristik von dem Standardwert abweicht und zu dem Standardwert zurückkehrt, unter-

sucht werden.

[0040] Bezugnehmend auf das Temperaturintervall für die Messung ist es unter Bezugnahme auf **Fig. 5** bevorzugt, das Intervall kleiner als 50°C einzustellen.

[0041] Gemäß der vorliegenden Erfindung werden die Charakteristika bei verschiedenen Temperaturwerten innerhalb der piezoelektrischen Keramikvorrichtung gemessen. Wenn jedoch die piezoelektrische Keramikvorrichtung intern bzw. von innen her durch Anwenden des Hochfrequenzsignals erwärmt wird, würde es schwierig sein, die innere Temperatur der piezoelektrischen Keramikvorrichtung direkt zu untersuchen. In einem derartigen Fall werden die Charakteristika bei einer Mehrzahl von verstrichenen Zeiten bzw. Zeitpunkten gemessen, nachdem das Hochfrequenzsignal angewendet wird, das höher als der Standardpegel ist.

[0042] Wenn das Hochfrequenzsignal mit höherem Pegel angewendet wird, steigt, wie es in **Fig. 4** gezeigt ist, die innere Temperatur der Vorrichtung in Übereinstimmung mit der verstrichenen Zeit. Wenn deshalb die Charakteristika bei einer Mehrzahl von verstrichenen Zeiten bzw. Zeitpunkten gemessen werden, können die inneren Defekte der piezoelektrischen Keramikvorrichtung, deren Defekte sich nur in einem bestimmten Temperaturbereich befinden, sicher inspiziert bzw. untersucht werden. Wenn ferner das Timing bzw. die Zeitabstimmung für die Messung durch die verstrichene Zeit bestimmt wird, ist es nicht notwendig, die innere Temperatur der Vorrichtung zu untersuchen, wodurch die Messung vereinfacht wird.

Ausführungsbeispiel

[0043] Bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend bezugnehmend auf die beiliegenden Zeichnungen ausführlich erläutert. Es zeigen:

[0044] **Fig. 1** ein Diagramm, das die Änderungen bezüglich einer Oszillationsspannung der Oszillatoren mit und ohne einem inneren Defekt darstellt, wobei die Änderungen bewirkt werden, wenn die Temperaturen der Oszillatoren erhöht werden;

[0045] **Fig. 2** ein Diagramm, das die Impedanz- und Phasencharakteristika eines keramischen Oszillators darstellt;

[0046] **Fig. 3** ein Diagramm, das die Änderungen bezüglich des maximalen Phasenwinkels von Vorrichtungen mit und ohne einem inneren Defekt darstellt, wobei die Änderungen bewirkt werden, wenn die Temperaturen der Vorrichtungen erhöht werden;

[0047] **Fig. 4** ein Diagramm, das die zeitabhängigen Änderungen zeigt, die bewirkt werden, wenn die

Temperatur der Vorrichtungen über ein dielektrisches Erwärmen bzw. kapazitives Hochfrequenzwärmen erhöht wird;

[0048] **Fig. 5** ein Diagramm, das die Schwankung von maximalen Phasenwinkeln der Vorrichtungen mit und ohne einem inneren Defekt darstellt, wenn die Temperatur aufgrund der äußeren Erwärmung erhöht wird.

[0049] **Fig. 6** ein Diagramm, das die Schwankung von maximalen Phasenwinkeln der Vorrichtungen mit und ohne einem inneren Defekt darstellt, wenn die Temperatur aufgrund der dielektrischen Erwärmung erhöht wird;

[0050] **Fig. 7** die Konfiguration eines Instruments zum Durchführen des Untersuchungsverfahrens gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und

[0051] **Fig. 8** ein Diagramm, das eine Korrelation bzw. Wechselbeziehung zwischen den Oszillationsstopptemperaturen bzw. Oszillationsanhaltetemperaturen der Vorrichtungen mit und ohne einem inneren Defekt und den maximalen Phasenwinkeln der Vorrichtungen darstellt, wenn diese durch Anwenden eines Signals mit hohem Pegel dielektrisch erwärmt werden;

[0052] **Fig. 9** ein Ablaufdiagramm, das ein Verfahren zum Unterscheiden darstellt, ob die Vorrichtungen gut bzw. in Ordnung sind, oder nicht, indem mehrere Zeiten bzw. Zeitpunkte untersucht werden;

[0053] **Fig. 10** eine Ansicht, die ein Untersuchungsverfahren darstellt, wenn sowohl die innere Erwärmung als auch die äußere Erwärmung durchgeführt werden;

[0054] **Fig. 11** ein Diagramm, das die Schwankung der Phasenwinkel im Bezug zur Zeit von den Vorrichtungen mit und ohne Defekte darstellt, wenn sowohl die innere Erwärmung als auch die äußere Erwärmung durchgeführt werden.

[0055] Es sei nun auf **Fig. 7** verwiesen, die ein Beispiel eines Untersuchungsinstruments zur Verwendung bei der Durchführung des Untersuchungsverfahrens gemäß bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung darstellt. In **Fig. 5** wird als die piezoelektrische Keramikvorrichtung vorzugsweise ein keramischer Oszillator **2** verwendet.

[0056] Es ist ein Netzwerkanalysator **1** gezeigt, der eine elektrische Charakteristik als eine Funktion von einer Frequenz des keramischen Oszillators **2** mißt und analysiert. Es wird ein Hochfrequenzmeßsignal von einem Ausgangsanschluß **1a** eines Sinuswellen-Kippschwingungsozillators ("sine wave sweep

oscillator"), der in dem Instrument vorgesehen ist, ausgegeben, und wird über Meßanschlüsse **3a** und **3b** auf den keramischen Oszillator **2** angewendet, wodurch die Phasen- oder Impedanzcharakteristik des keramischen Oszillators gemessen wird. In **Fig. 7** ist das Untersuchungsinstrument entsprechend einem Kanal dargestellt. Das Untersuchungsinstrument kann jedoch für eine Mehrzahl von Kanälen angepaßt werden.

[0057] Ein RF-Leistungsverstärker **4** ist zwischen den Ausgangsanschluß **1a** des Netzwerkanalysators **1** und den Meßanschluß **3a** geschaltet. Die verstärkte Leistung wird dem keramischen Oszillator **2** über den Meßanschluß **3a** zugeführt. Genauer gesagt beträgt ein Signalpegel, der gewöhnlicherweise für die Messung der Impedanzcharakteristik verwendet wird, ungefähr 0 dBm. Bei bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung liegt der Ausgangspegel des Leistungsverstärkers **4** vorzugsweise bei ungefähr 20 dBm bis ungefähr 40 dBm. Ein Signal, das durch den keramischen Oszillator **2** fließt, wird von dem Meßanschluß **3b** zu einem Dämpfungsglied **5** übertragen bzw. geleitet und wird über das Dämpfungsglied **5** auf die ursprüngliche Leistung abgeschwächt, und in einen Eingangsanschluß **1b** des Netzwerkanalysators **1** eingegeben.

[0058] Der Netzwerkanalysator **1** wendet ein Hochfrequenzmeßsignal auf einen keramischen Oszillator **2** für ungefähr mehrere hundert Millisekunden an. Zumindest eine der Impedanzcharakteristik und der Phasencharakteristik werden gemessen, während der keramische Oszillator **2** durch dielektrische Erwärmung auf eine vorbestimmte Temperatur erwärmt wird. In dem Fall beispielsweise, in dem der keramische Oszillator **2** auf ungefähr 200°C erwärmt wird, erreicht die Temperatur ungefähr 200°C in ungefähr 200 Millisekunden, wenn der Ausgangspegel des keramischen Oszillators **2** ungefähr 34 dBm beträgt, wie in **Fig. 4** gezeigt ist. Die Phasencharakteristik ist eine Frequenzcharakteristik der Phasendifferenzen (Phasenwinkel), die die Durchschnitte der Messungen von Phasendifferenzen zwischen Strömen und Spannungen sind. Es wird der maximale Phasenwinkel $\theta_{\max}$ in der Nähe von beispielsweise einer Oszillationsfrequenz f_{OSC} auf der Grundlage der Phasencharakteristik bestimmt. Wenn der maximale Phasenwinkel $\theta_{\max}$ nicht geringer als ein Standardwert ist, wird entschieden, daß die Vorrichtung nicht fehlerhaft ist bzw. keine Defekte aufweist. Wenn maximale Phasenwinkel $\theta_{\max}$ geringer als der Standardwert ist, wird entschieden, daß die Vorrichtung eine fehlerhafte Vorrichtung ist, die einen inneren Defekt hat, der mit herkömmlichen Verfahren nicht erfaßbar war.

[0059] **Fig. 8** veranschaulicht eine Beziehung zwischen den $\theta_{\max}$ -Werten in der Nähe von f_{OSC} , die erhalten werden, wenn ein Meßsignal bei ungefähr 34 dBm auf die Vorrichtung von **Fig. 1** angewendet wird,

und Oszillationsstopptemperaturen bzw. Oszillationsanhaltetemperaturen. Durch Bezugnahme auf **Fig. 1** ist es zu verstehen, daß der Standardwertbereich ungefähr 40°C bis ungefähr 50°C sein kann.

[0060] Wie es unter Bezugnahme auf **Fig. 5** und auf **Fig. 6** erklärt worden ist, gibt es einige piezoelektrische Keramikvorrichtungen, deren Phasencharakteristik oder Impedanzcharakteristik von dem Standardwertbereich in Übereinstimmung mit der Temperaturerhöhung abweicht und später zu dem Standardwertbereich zurückkehrt. Ein Verfahren zum Untersuchen von einer derartigen piezoelektrischen Keramikvorrichtung ist in **Fig. 9** gezeigt.

[0061] Wenn in **Fig. 9** die Messung gestartet wird, wird ein erstes Hochfrequenzmeßsignal auf die piezoelektrische Keramikvorrichtung für T_0 Sekunden (Schritt S1) angewendet. Aufgrund dessen wird, da die Temperatur der piezoelektrischen Keramikvorrichtung durch die dielektrische Erwärmung erhöht wird, der maximale Phasenwinkel θ und der Standardwert θ_s nach T_0 Sekunden (Schritt S2) verglichen. Wenn das Vergleichsergebnis $\theta < \theta_s$ ist, wird es bestimmt, daß es sich um ein fehlerhaftes Produkt (Schritt S3) handelt.

[0062] In Schritt S2 wird, wenn das Vergleichsergebnis $\theta \geq \theta_s$ ist, ein zweites Hochfrequenzmeßsignal auf die piezoelektrische Vorrichtung für T_0 Sekunden (Schritt S4) angewendet.

[0063] Aufgrund dessen werden, da die piezoelektrische Keramikvorrichtung weiter erwärmt wird, der maximale Phasenwinkel θ und der Standardwert θ_s nach T_0 Sekunden (Schritt S5) verglichen. Wenn das Vergleichsergebnis $\theta < \theta_s$ ist, wird es bestimmt, daß es sich um ein fehlerhaftes Produkt handelt (Schritt S6). Danach werden die gleichen Schritte wiederholt.

[0064] Schließlich wird das n-te Hochfrequenzmeßsignal auf die piezoelektrische Keramikvorrichtung für T_0 Sekunden (Schritt S7) angewendet. Bei diesem Punkt werden, da die piezoelektrische Keramikvorrichtung auf ungefähr die maximale Temperatur erwärmt wird, der maximale Phasenwinkel θ und der Standardwert θ_s nach T_0 Sekunden (Schritt S8) verglichen. Hier wird es bestimmt, wenn das Vergleichsergebnis $\theta < \theta_s$ ist, daß es sich um einen Defekt handelt (Schritt S9). Wenn das Vergleichsergebnis $\theta \geq \theta_s$ ist, wird es bestimmt, daß keine Defekte vorhanden sind (Schritt S10).

[0065] Es sei festzustellen, daß es keine Stopperiode bzw. kein Stoppintervall gibt, während das erste bis zu dem n-ten Hochfrequenzsignal angewendet wird, d. h., das Signal wird auf die piezoelektrische Keramikvorrichtung kontinuierlich angewendet.

[0066] Obwohl in **Fig. 9** die Anwendungszeit (Unter-

suchungszeit) T_0 des ersten bis zu dem n-ten Hochfrequenzsignal konstant ist, kann die Anwendungszeit T_0 willkürlich verändert werden. Insbesondere, während die Defekte nicht häufig erscheinen bzw. beobachtet werden, kann die Anwendungszeit T_0 lange sein. Ferner kann, wenn die Defekte häufig auftreten, die Anwendungszeit T_0 kurz sein.

[0067] Zusätzlich dazu ist, wenn die Untersuchungszeit T_0 kurz ist, das Untersuchungsergebnis im wesentlichen das gleiche wie bei der kontinuierlichen Untersuchung. Deshalb können die Defekte sicher untersucht werden, sogar wenn der Phasenwinkel der piezoelektrischen Keramikvorrichtung von dem Standardwert bei einer beliebigen Temperatur abweicht.

[0068] Fig. 10 zeigt eine zweite Ausführungsform der Untersuchungsvorrichtung zum Durchführen des Verfahrens zur Untersuchung gemäß der vorliegenden Erfindung. Bei dieser Ausführungsform werden sowohl die innere Erwärmung durch die dielektrische Erwärmung als auch die äußere Erwärmung verwendet, um die Meßzeit zu verkürzen.

[0069] Fig. 10 zeigt die piezoelektrische Keramikkvorrichtung 2 in dem Zustand, daß die Elektroden 2a und 2b mit einem Paar von Meßanschlüssen 3a und 3b in Kontakt gebracht sind. Wie in Fig. 7 ist einer (3a) der Meßanschlüsse mit dem RF-Leistungsverstärker 4 verbunden, und ist der andere Meßanschluß (3b) mit dem Dämpfungsglied 5 verbunden.

[0070] Die piezoelektrische Keramikvorrichtung 2 ist an der wärmeübertragenden bzw. wärmeleitenden Platte 6 durch Luftabsorption (nicht dargestellt) aufgenommen. Die wärmeleitende Platte 6 wird auf die vorbestimmte Temperatur erwärmt.

[0071] Wenn das Hochfrequenzsignal mit höherem Pegel auf die piezoelektrische Keramikvorrichtung 2 über die Meßanschlüsse 3a und 3b angewendet wird, wird die Vorrichtung 2 erwärmt und die Vorrichtung 2 wird extern bzw. von außen durch die wärmeleitende Platte 6 erwärmt. In diesem Zustand kann der Phasenwinkel oder die Impedanz durch den Netzwerkanalysator (in Fig. 7 dargestellt), der mit den Meßanschlüssen 3a und 3b verbunden ist, gemessen werden.

[0072] Fig. 11 zeigt einen Vorteil der Zeitverringierung, wenn sowohl die innere Erwärmung als auch die äußere Erwärmung durchgeführt werden. Es ist nämlich unter den Atmosphären temperaturwerten von 20°C, 40°C und 60°C ein Hochfrequenzsignal (der Signalpegel beträgt 0,9 W) auf gute Produkte G und defekte Produkte NG bei der dielektrischen Erwärmung angewendet werden, um die Phasencharakteristik zu messen.

[0073] Bezüglich den guten Produkten G und den defekten Produkten NG wurden jeweils die gleichen piezoelektrischen Vorrichtungen verwendet.

[0074] Wie es deutlich in Fig. 11 zu sehen ist, kann, wenn die Atmosphärentemperatur steigt, die Untersuchungszeit von Defekten verkürzt werden. Genauer gesagt erscheinen, wenn die Temperatur 20°C beträgt, die Defekte bei 350 Millisekunden. In dem Fall von 40°C erscheinen die Defekte bei 100 bis 150 Millisekunden. Wenn die Temperatur 60°C beträgt, erscheinen die Defekte bei 50 Millisekunden.

[0075] Auf diese Weise kann, wenn sowohl die dielektrische Erwärmung als auch die äußere Erwärmung durchgeführt werden, die Meßzeit verkürzt werden, im Vergleich zu dem Fall, wenn nur die innere Erwärmung durchgeführt wird.

[0076] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die oben beschriebenen Beispiele von bevorzugten Ausführungsformen beschränkt.

[0077] Bei einer Ausführungsform von Fig. 9 wurde die Messung mehrere Male unter Vergleichen des Phasenwinkels mit dem Standardwert bei der Zeit von T_0 durch Durchführen der dielektrischen Erwärmung durchgeführt. Wenn jedoch die innere Temperatur der piezoelektrischen Keramikvorrichtung gemessen werden kann, kann die Messung mehrere Male unter Messen des Phasenwinkels bei verschiedenen Temperaturwerten und unter Vergleichen dieser Phasenwinkel mit dem Standardwert durchgeführt werden.

[0078] Bei den oben beschriebenen Beispielen wird es entschieden, daß ein innerer Defekt vorliegt, indem der maximale Phasenwinkel, der erhalten wird, wenn eine piezoelektrische Keramikvorrichtung mit der erhöhten Temperatur erwärmt wird, mit dem Standardwert verglichen wird. Der innere Defekt kann auf der Grundlage der Impedanzen Z_a und Z_r oder auf der Grundlage von sowohl dem Phasenwinkel als auch den Impedanzen beurteilt bzw. entschieden werden.

[0079] Ferner wird als ein Verfahren zum äußeren Erwärmen ein Verfahren unter Verwendung der Wärmeleitung durch den Kontakt mit einer wärmeübertragenden bzw. wärmeleitenden Platte verwendet. Die piezoelektrische Keramikvorrichtung kann jedoch in einer Flüssigkeit oder in einer Atmosphäre angeordnet werden, in denen die Temperatur gesteuert wird, oder es kann ein Heizdraht und eine Wärmestrahlung verwendet werden.

[0080] Die piezoelektrische Keramikvorrichtung, die durch die Verfahren der bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung untersucht wird, ist nicht auf einen keramischen Oszillator bzw. Kera-

mikoszillator beschränkt, und kann ein keramischer Filter bzw. Keramikfilter, ein Diskriminator bzw. Entscheider, ein Fallenfilter bzw. Bandsperrfilter ("trap filter") oder eine andere geeignete elektronische Komponente sein.

[0081] Ferner kann ein innerer Defekt unter Verwendung der Verfahren der bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ungeachtet von verschiedenen Schwingungsmodi, wie einer Dickenausdehnungsschwingung, einer Dickenschersungsschwingung, einer Bereichsschwingung, usw., erfaßt werden.

[0082] Wie es anhand der oben dargestellten Beschreibung offensichtlich wird, wird gemäß den bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung eine piezoelektrische Keramikvorrichtung erwärmt und wird, während sich die Vorrichtung bei der maximalen Temperatur befindet, zumindest entweder die piezoelektrische Charakteristik oder die Impedanzcharakteristik der piezoelektrischen Keramikvorrichtung gemessen, und wird die Messung mit einer Standardcharakteristik verglichen, wodurch entschieden wird, ob die piezoelektrische Keramikvorrichtung einen inneren Defekt hat, oder nicht. Folglich kann ein innerer Defekt, sogar, wenn er bei einer gewöhnlichen Temperatur nicht erfaßt werden kann, genau und zuverlässig auf zerstörungsfreie Weise erfaßt werden.

[0083] Vorzugsweise wird ein Hochfrequenzmeßsignal mit einem Pegel, der höher als der Nennpegel der piezoelektrischen Keramikvorrichtung ist, angewendet, und gleichzeitig dazu wird, während die piezoelektrische Keramikvorrichtung durch die Anwendung des Hochfrequenzsignals dielektrisch erwärmt wird, zumindest entweder die Phasencharakteristik oder die Impedanzcharakteristik der piezoelektrischen Keramikvorrichtung gemessen. Deshalb wird die Zeit, die für das Erwärmen und die Temperaturerhöhung, und für das Messen erforderlich ist, beträchtlich verringert. Zusätzlich dazu kann das Erwärmen, das Erhöhen der Temperatur und das Messen unter Verwendung eines einfachen Instruments durchgeführt werden.

[0084] Gemäß der vorliegenden Erfindung können, wenn sowohl die innere Erwärmung (dielektrische Erwärmung) als auch die äußere Erwärmung bezüglich der piezoelektrischen Keramikvorrichtung durchgeführt werden, die inneren Defekte der piezoelektrischen Keramikvorrichtung in einer kürzeren Zeit untersucht werden.

[0085] Wenn gemäß der vorliegenden Erfindung die Phasencharakteristik oder die Impedanzcharakteristik der piezoelektrischen Keramikvorrichtung bei einer Mehrzahl von Temperaturwerten innerhalb der piezoelektrischen Keramikvorrichtung gemessen wird,

kann eine derartige piezoelektrische Keramikvorrichtung, dessen Charakteristik von der Standardcharakteristik abweicht und zu der Standardcharakteristik zurückkehrt, sicher untersucht werden.

[0086] Wenn die Charakteristik bei einer Mehrzahl von verstrichenen Zeitpunkten bzw. Ablaufzeitpunkten gemessen wird, nachdem das Hochfrequenzsignal auf die piezoelektrische Keramikvorrichtung angewendet wird, kann eine derartige piezoelektrische Keramikvorrichtung, deren Charakteristik von der Standardcharakteristik abweicht und zu der Standardcharakteristik zurückkehrt, untersucht werden. Da ferner das Timing bzw. die Zeitabstimmung der Messung nur durch die Zeit bestimmt werden kann, wird dadurch die Messung vereinfacht.

[0087] Während die Erfindung mit Bezug auf bevorzugte Ausführungsformen von ihr beschrieben worden ist, sind viele Abwandlungen und Variationen der vorliegenden Erfindung im Licht der vorerwähnten Lehre möglich. Es sei deshalb zu verstehen, daß die Erfindung innerhalb des Umfangs der beigefügten Ansprüche, anders als hierin auf spezifische Weise beschrieben, ausgeführt werden kann.

[0088] Erfindungsgemäß wird ein piezoelektrisches Keramikelement bzw. eine piezoelektrische Keramikvorrichtung erwärmt, so daß die Temperatur auf eine Temperatur in der Nähe der maximalen Temperatur erhöht wird, bei der die Vorrichtung, wenn die Temperatur auf eine gewöhnliche Temperatur zurückgeführt wird, im wesentlichen auf die gleiche piezoelektrische Keramikvorrichtung wie vor dem Erwärmen zurückgeführt wird. In dem Zustand, bei dem die piezoelektrische Keramikvorrichtung erwärmt wird und die Temperatur erhöht wird, wird zumindest entweder die piezoelektrische Phasencharakteristik oder die Impedanzcharakteristik der piezoelektrischen Keramikvorrichtung gemessen. Die Messung wird mit einer Standardcharakteristik verglichen, wobei ein innerer Defekt der piezoelektrischen Keramikvorrichtung auf der Grundlage von Ergebnissen des Vergleichs erfaßt wird. Für das Erwärmen und Temperaturerhöhen sowie für das Messen wird ein Hochfrequenzmeßsignal mit einem Leistungspegel, der höher als der Nennpegel der piezoelektrischen Keramikvorrichtung ist, angewendet, und gleichzeitig, während die piezoelektrische Keramikvorrichtung selbst durch die Anwendung des Hochfrequenzsignals dielektrisch erwärmt wird, wird zumindest entweder die piezoelektrische Phasencharakteristik oder die Impedanzcharakteristik gemessen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Untersuchen eines piezoelektrischen Keramikelements mit folgenden Schritten:
Messen (S1; S4; S7) von zumindest der piezoelektrischen Phasencharakteristik oder der Impedanzcha-

rakteristik des piezoelektrischen Keramikelements (2);

Vergleichen (S2; S5; S8) von zumindest der piezoelektrischen Phasencharakteristik oder der Impedanzcharakteristik, die in dem Schritt des Messens gemessen wird, mit einer Standardcharakteristik; und Erfassen des Vorhandenseins oder des Nichtvorhandenseins eines inneren Defekts (S3; S6; S9; S10) in dem piezoelektrischen Keramikelement (2) basierend auf den Ergebnissen des Schritts des Vergleichens;

gekennzeichnet durch folgenden Schritt vor dem Schritt des Messens:

Erwärmen und Erhöhen der Temperatur (S1; S4; S7) die piezoelektrischen Keramikelements (2), wobei die piezoelektrische Phasencharakteristik oder die Impedanzcharakteristik des piezoelektrischen Keramikelements (2) gemessen wird, wenn das piezoelektrische Keramikelement die erhöhte Temperatur aufweist.

2. Verfahren zum Untersuchen eines piezoelektrischen Keramikelements nach Anspruch 1, bei dem die erhöhte Temperatur in dem Schritt des Erwärmens und des Erhöehens der Temperatur in der Nähe der maximalen Temperatur liegt, bei der die piezoelektrische Charakteristik des piezoelektrischen Elements zu im wesentlichen der gleichen Charakteristik zurückkehrt, die vorhanden war, bevor das piezoelektrische Element (2) erwärmt wurde, wenn das piezoelektrische Element (2) zum Erhöhen der Temperatur erwärmt wird und veranlaßt wird, zu der normalen Temperatur zurückzukehren.

3. Verfahren zum Untersuchen eines piezoelektrischen Keramikelements nach einem der Ansprüche 1 oder 2, bei dem die zu messende Phasencharakteristik ein maximaler Phasenwinkel $\theta_{\max}$ ist.

4. Verfahren zum Untersuchen eines piezoelektrischen Keramikelements nach einem der Ansprüche 1 oder 2, bei dem die zu messende Impedanzcharakteristik eine Differenz $Z_a - Z_r$ zwischen der Antiresonanzimpedanz Z_a und der Resonanzimpedanz Z_r des piezoelektrischen Keramikelements (2) ist.

5. Verfahren zum Untersuchen eines piezoelektrischen Keramikelements nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem in dem Schritt des Erwärmens und Erhöehens der Temperatur ein Hochfrequenzmeßsignal mit einem Pegel, der höher als der Nennpegel des piezoelektrischen Keramikelements (2) ist, auf das piezoelektrische Keramikelement angewendet wird, wobei während des dielektrischen Erwärmens des piezoelektrischen Keramikelements durch die Anwendung des Hochfrequenzsignals in dem Schritt des Messens zumindest entweder die Phasencharakteristik oder die Impedanzcharakteristik des piezoelektrischen Keramikelements in Übereinstimmung mit der Anwendung des Hochfrequenzsignals

gemessen wird.

6. Verfahren zum Untersuchen eines piezoelektrischen Keramikelements nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem:

in dem Schritt des Erwärmens und Erhöehens der Temperatur ein Hochfrequenzuntersuchungssignal, das höher als ein Standardpegel des piezoelektrischen Elements ist, angewendet wird, wobei aufgrund der Anwendung dieses Hochfrequenzsignals das piezoelektrische Keramikelement (2) selbst dielektrisch erwärmt wird, wobei zur gleichen Zeit das piezoelektrische Keramikelement von außen her erwärmt wird;

in dem Schritt des Messens zumindest entweder die Phasencharakteristik oder die Impedanzcharakteristik des piezoelektrischen Elements in Übereinstimmung mit der Anwendung des Hochfrequenzsignals gemessen wird.

7. Verfahren zum Untersuchen eines piezoelektrischen Keramikelements nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem in dem Schritt des Messens zumindest entweder die Phasencharakteristik oder die Impedanzcharakteristik des piezoelektrischen Keramikelements (2) bei verschiedenen Temperaturwerten in dem piezoelektrischen Keramikelement gemessen wird.

8. Verfahren zum Untersuchen eines piezoelektrischen Keramikelements nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem in dem Schritt des Messens zumindest entweder die Phasencharakteristik oder die Impedanzcharakteristik des piezoelektrischen Keramikelements (2) bei einer Mehrzahl von Ablaufzeitpunkten nach der Anwendung des Hochfrequenzsignals, das höher als der Standardpegel ist, gemessen wird.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

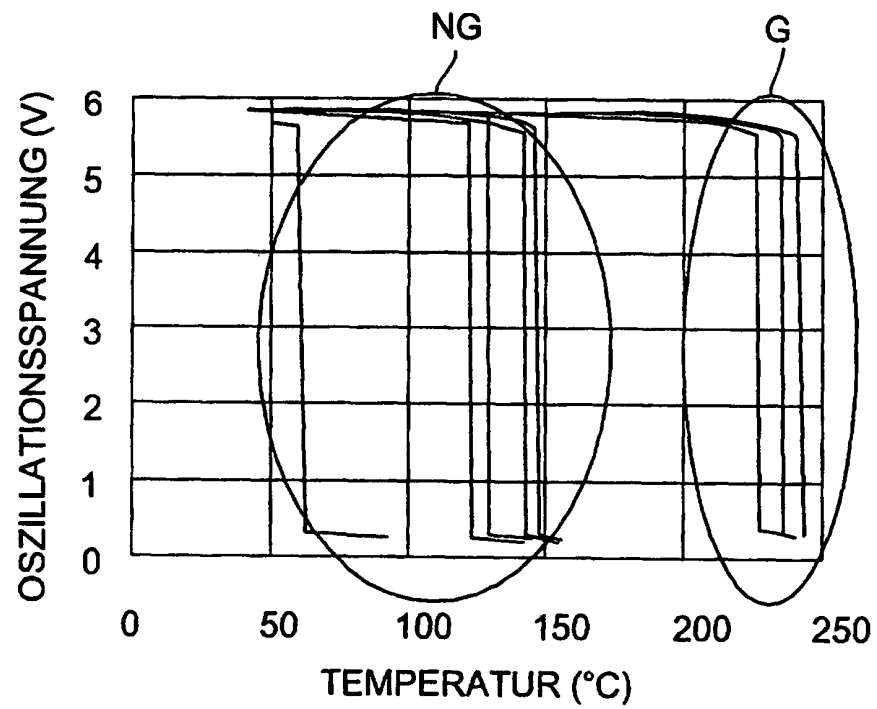


FIG. 2

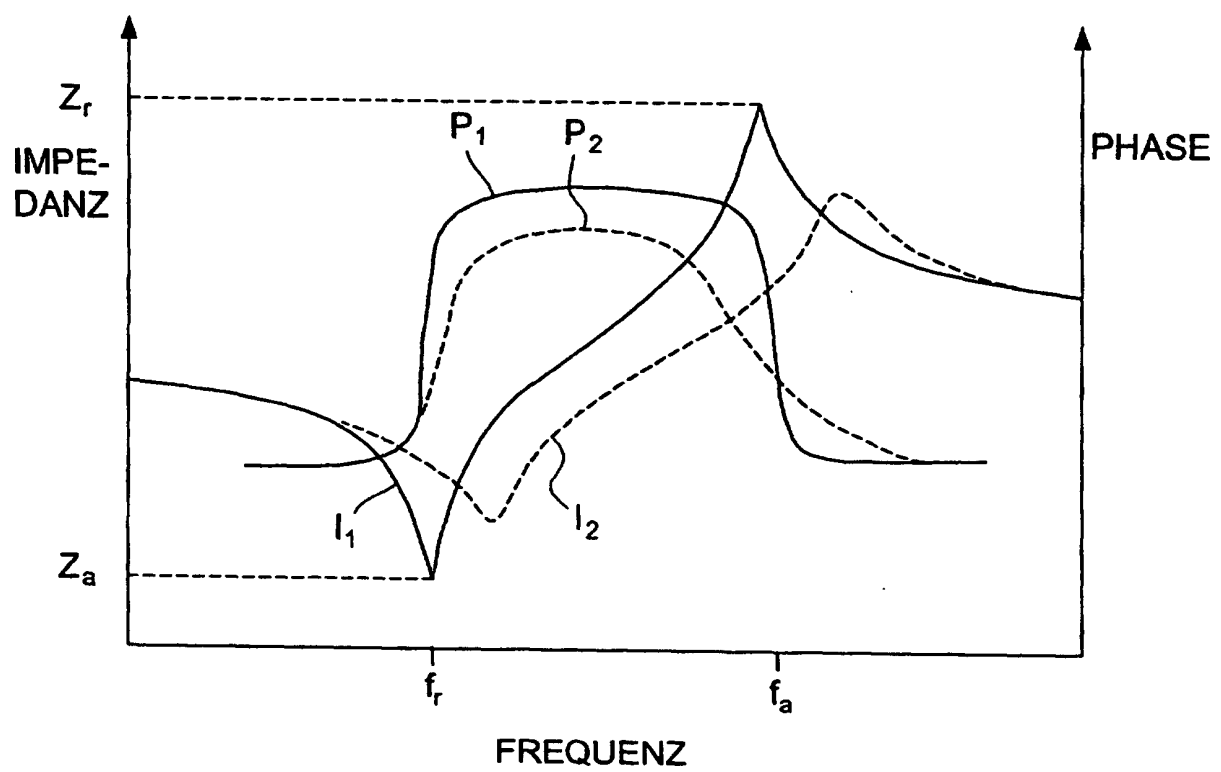


FIG. 3

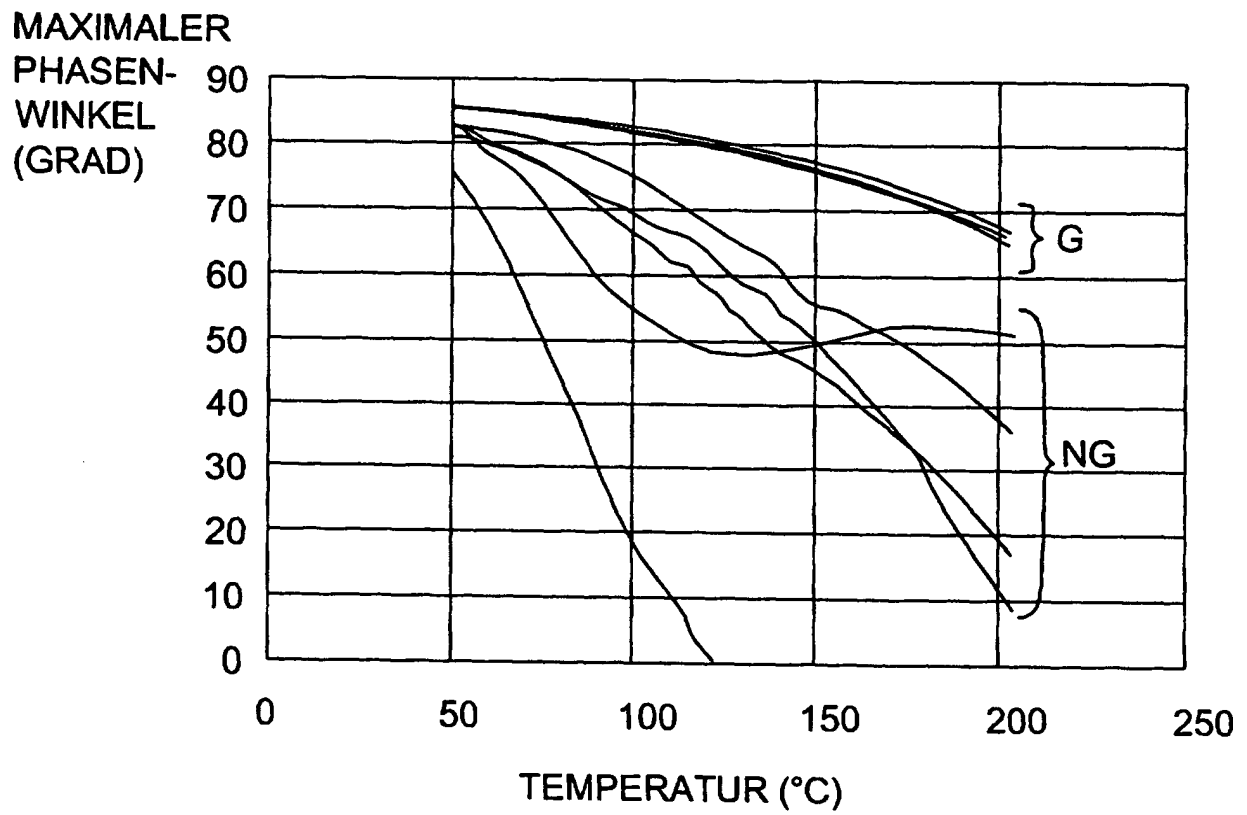


FIG. 4

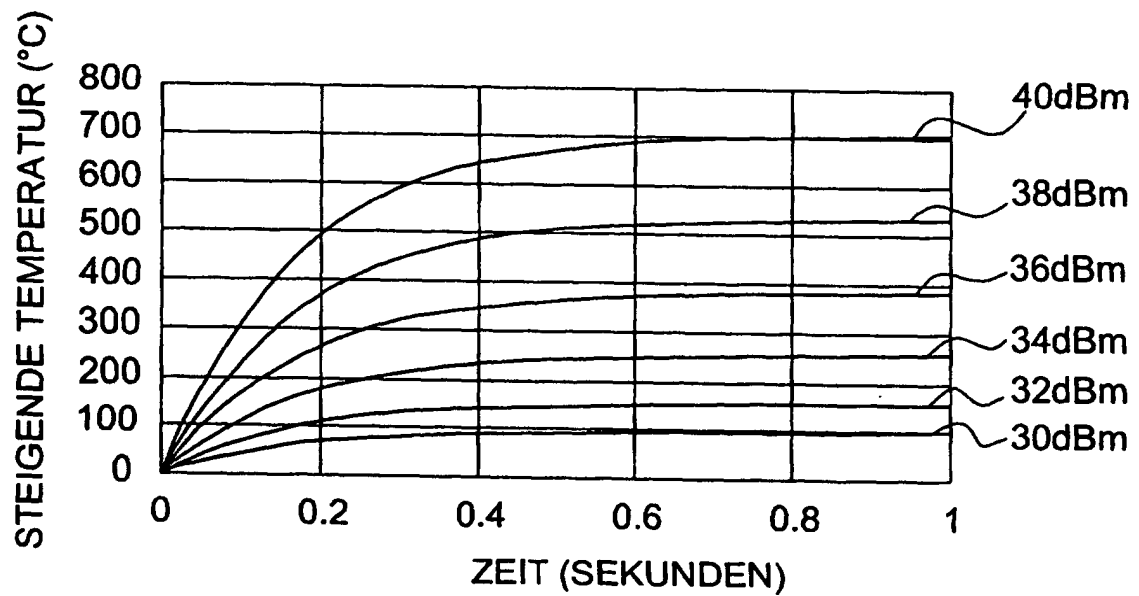


FIG. 5

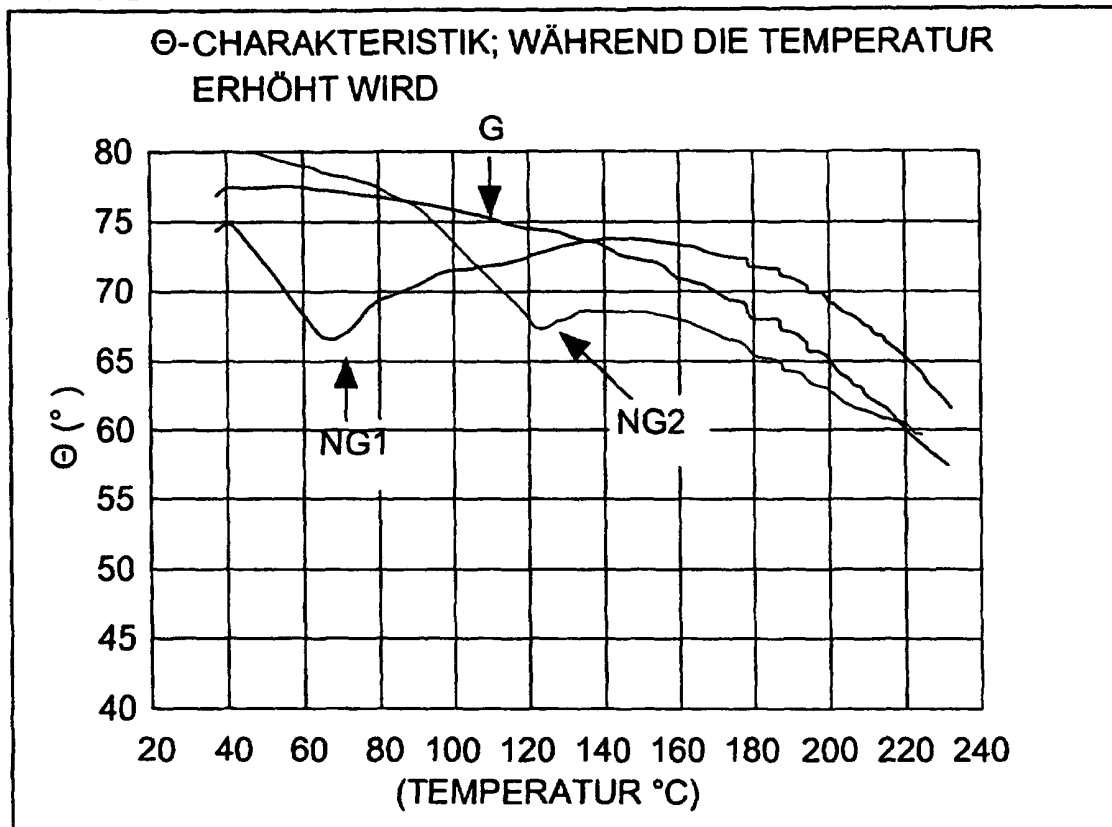


FIG. 6

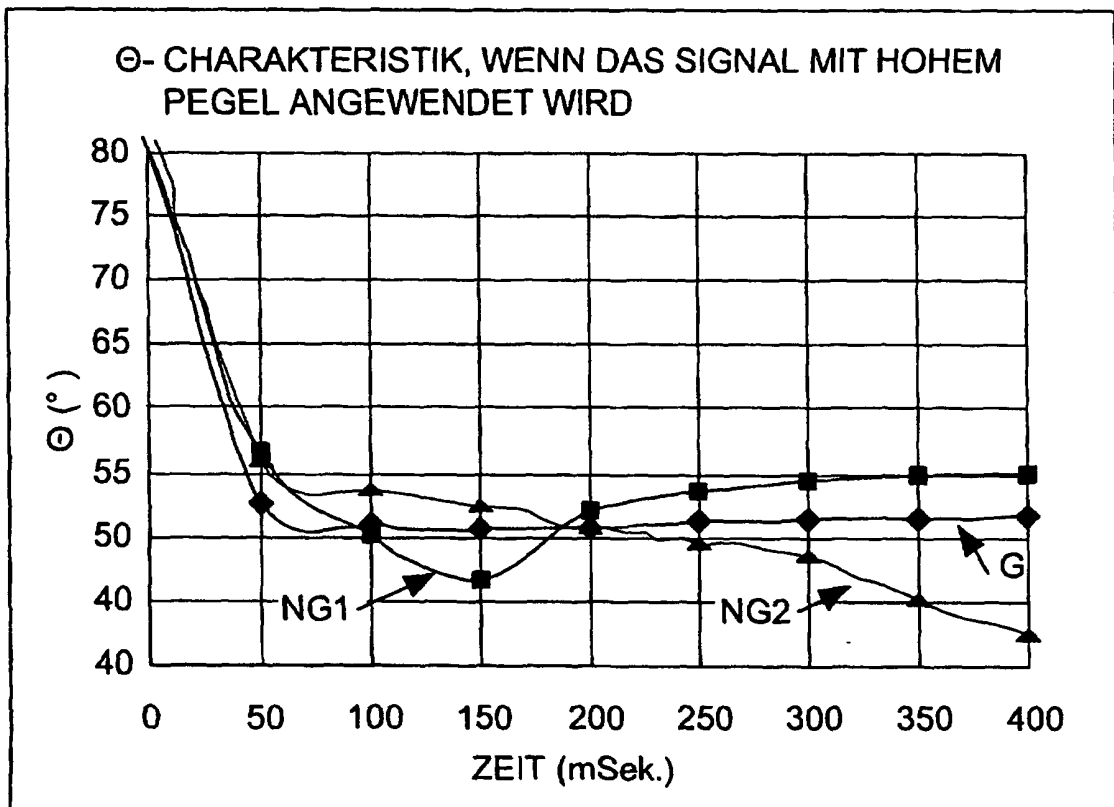


FIG. 7

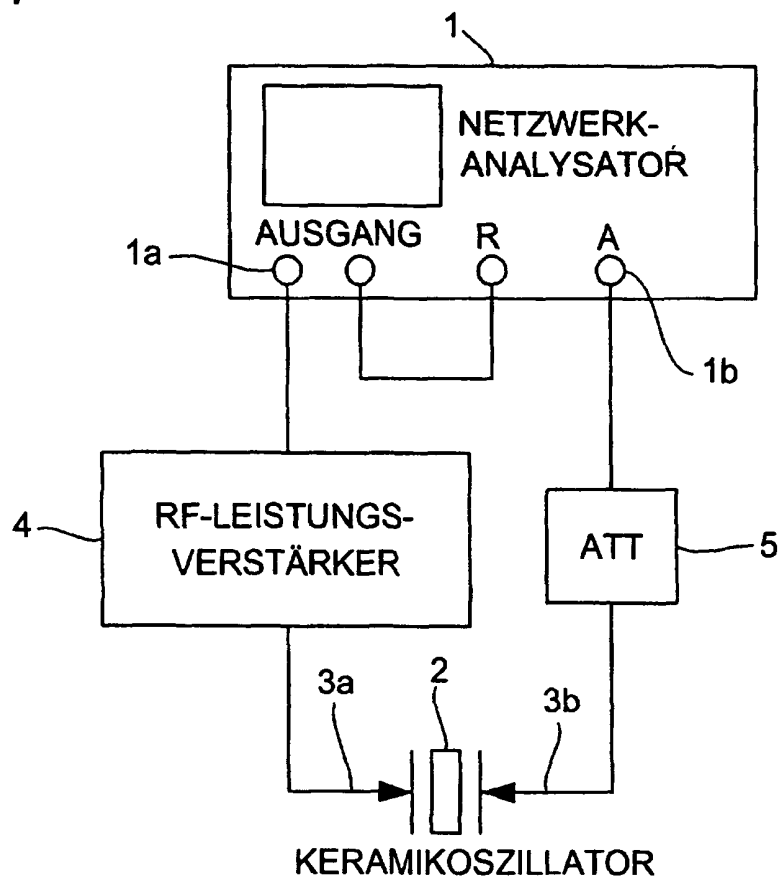


FIG. 8

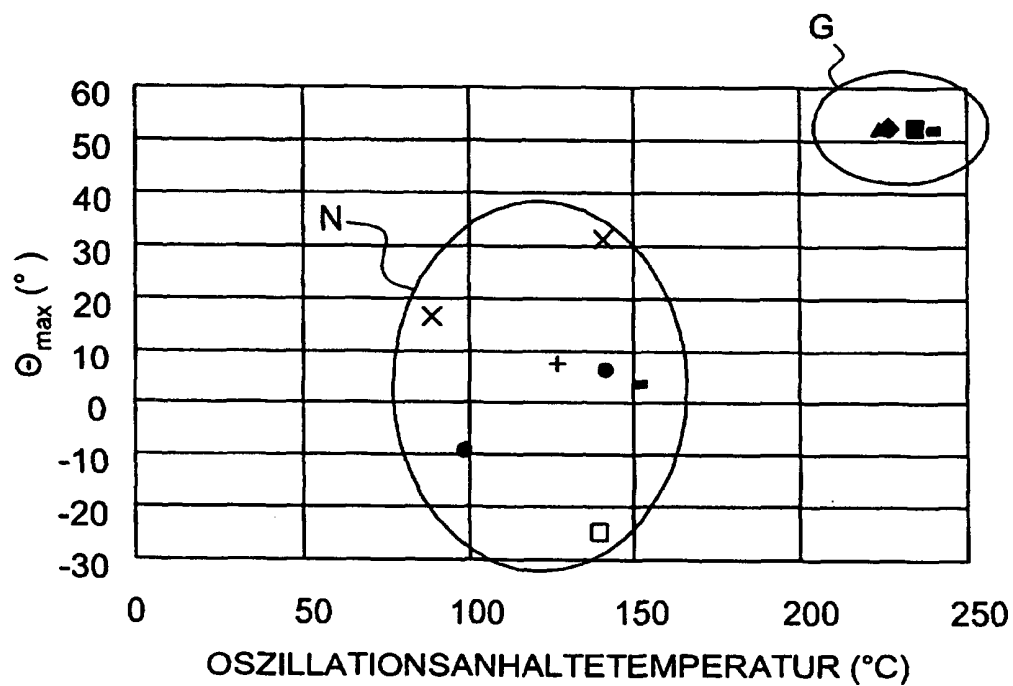


FIG. 9

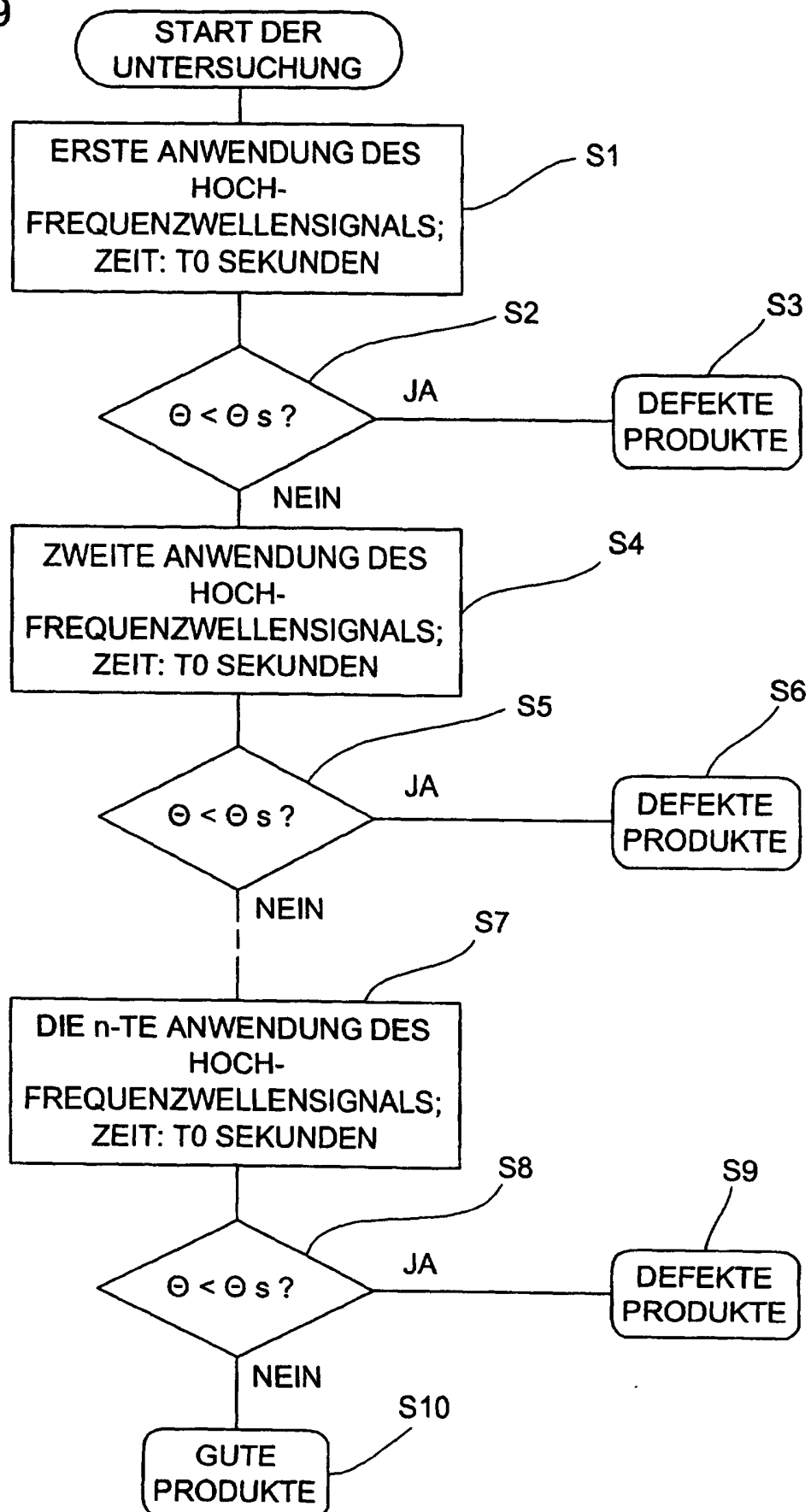


FIG. 10

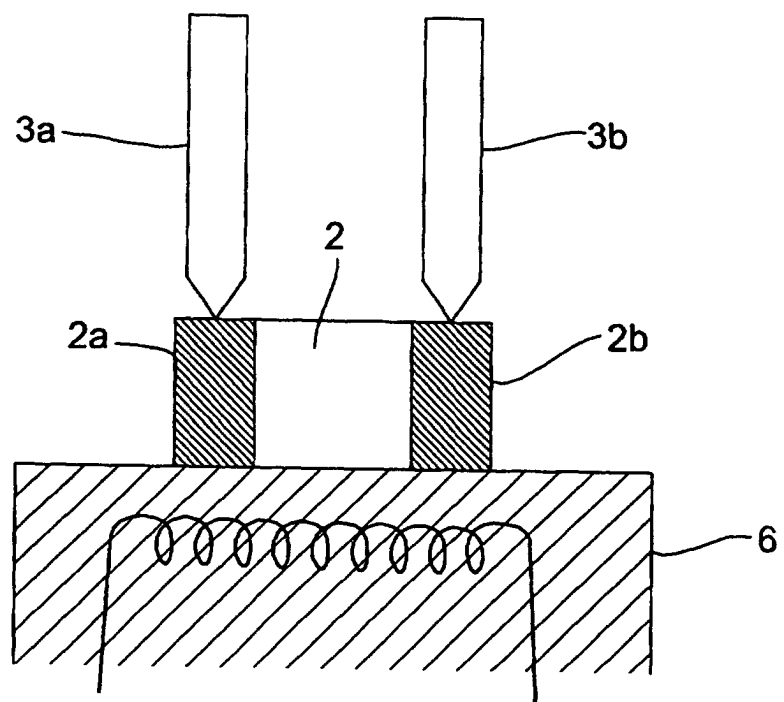


FIG. 11

Θ-CHARAKTERISTIK, WENN DAS SIGNAL MIT HOHEM
PEGEL ANGEWENDET WIRD
(UMGEBUNGSTEMPERATUR: 20°C, 40°C, 60°C; SIGNALANWENDUNGSPEGEL: 0,9W KONSTANT)

