



(10) **DE 11 2023 000 508 T5** 2024.11.07

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2023/190558**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2023 000 508.7**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2023/012593**
(86) PCT-Anmeldetag: **28.03.2023**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **05.10.2023**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **07.11.2024**

(51) Int Cl.: **C04B 35/497** (2006.01)
F25B 21/00 (2006.01)
H10N 15/10 (2023.01)

(30) Unionspriorität:
2022-059401 **31.03.2022** **JP**

(71) Anmelder:
MURATA MANUFACTURING CO., LTD.,
Nagaokakyo-shi, Kyoto-fu, JP

(74) Vertreter:
Lorenz Seidler Gossel Rechtsanwälte
Patentanwälte Partnerschaft mbB, 80538
München, DE

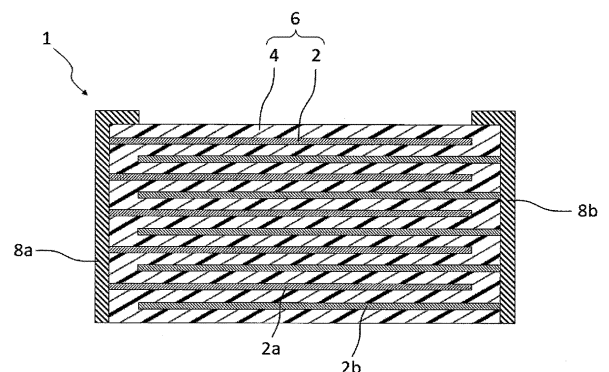
(72) Erfinder:
Hirose, Sakyo, Nagaokakyo-shi, Kyoto-fu, JP

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **KERAMIK**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Offenbarung stellt eine Keramik bereit, die durch die Formel (1) repräsentiert wird: $(1-m) \text{PbSc}_{0.5-x}\text{Ta}_{0.5+x}\text{O}_3\text{mPbMg}_{0.5-y}\text{W}_{0.5+y}\text{O}_3$ (1) wobei $m > 0$, $0.60 \leq m \leq 0.95$ erfüllt, wenn $0 \leq x, y, x, y \leq 0,1$ und $0 \leq x + y \leq 0,13$ erfüllt sind, wenn $0 > x$ und $0 \leq y$, $-0,1 \leq x < 0$ und $0 \leq y \leq 0,1$ erfüllt sind, wenn $0 \geq x$ und $0 > y$, $-0,1 \leq x, y$ und $-0,13 \leq x + y < 0$ erfüllt sind, und wenn $0 < x$ und $0 > y$, $0 < x \leq 0,1$ und $-0,1 \leq y < 0$ erfüllt sind.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Offenbarung betrifft eine Keramik.

TECHNISCHER HINTERGRUND

[0002] In den letzten Jahren haben ein neues Festkörper-Kühlelement und ein neues Kühlsystem, das einen elektrokalendarischen Effekt nutzt, als Kühlelement Aufmerksamkeit erregt, und es wurde aktiv daran geforscht und entwickelt. Im Vergleich zu einem bestehenden Kühlsystem, das ein Kältemittel verwendet, bei dem es sich um ein Treibhausgas handelt, bietet es den Vorteil einer hohen Effizienz und eines geringen Energieverbrauchs, ohne dass ein Kältemittel benötigt wird, und es hat auch den Vorteil, dass es leise ist, weil kein Kompressor verwendet wird. Um einen ausgezeichneten elektrokalendarischen Effekt zu erzielen, ist ein Material erforderlich, das eine Übergangstemperatur in einem gewünschten Temperaturbereich aufweist und das Anlegen eines großen elektrischen Feldes ermöglicht. Als ein solches Material sind $\text{PbSc}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_3$ (im Folgenden wird eine Keramik, die Pb, Sc und Ta enthält, auch als „PST“ bezeichnet) (Patentschrift 1, Nicht-Patentschriften 1 und 2) und $\text{PbMg}_{0.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_3$ (im Folgenden wird eine Keramik, die Pb, Mg und W enthält, auch als „PMW“ bezeichnet) als vielversprechende Materialien bekannt. In Nicht-Patentschrift 3 wird berichtet, dass $\text{PbMg}_{0.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_3$ große positive und negative elektrokalendarische Effekte zeigt.

DRUCKSCHRIFTEN AUS DEM STAND DER TECHNIK

PATENTDOKUMENT

[0003] Patentdokument 1: WO 2021/131142

NICHT-PATENTDOKUMENTE

Nicht-Patentdokument 1: Nature, Aufl. 575, Seite 468 bis 472 (2019)

Nicht-Patentdokument 2: Ferroelectrics, 184, 239 (1996)

Nicht-Patentdokument 3: Adv. Funct. Mater. 31, 2101176 (2021).

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Durch die Erfindung zu lösende Aufgabe

[0004] Das PMW ist ein Antiferroelektrikum und kann durch Anlegen einer Spannung, die gleich oder höher als eine Schwellenspannung ist, in ein Ferroelektrikum überführt werden. Der elektrokalendarische Effekt des PMW ist bei einer Spannung, die kleiner gleich dieser Schwellenspannung ist, sehr gering, und wenn die Spannung die Schwellenspannung überschreitet, zeigt das PMW entsprechend der Größe der angelegten Spannung einen elektrokalendarischen Effekt. Das bedeutet, wenn das PMW als Festkörper-Kühlelement verwendet wird, ist es notwendig, eine große Spannung anzulegen, die die Schwellenspannung des PMW übersteigt, und somit steigt auch die Stärke des elektrischen Feldes, die erforderlich ist, um den elektrokalendarischen Effekt zu zeigen.

[0005] Ein Aufgabe der vorliegenden Offenbarung ist es, eine Keramik bereitzustellen, die bei einem niedrigeren elektrischen Feld einen größeren elektrokalendarischen Effekt aufweist als bisher. Genauer geht es bei der vorliegenden Erfindung darum, eine Keramik bereitzustellen, die bei einem niedrigeren elektrischen Feld einen größeren elektrokalendarischen Effekt aufweist als ein PMW aus dem Stand der Technik.

Mittel zum Lösen der Aufgabe

[0006] Die vorliegende Offenbarung betrifft eine Keramik der Formel (1):



wobei

m erfüllt $0,60 \leq m \leq 0,95$,

wenn $0 \leq x, y$, sind $x, y \leq 0,1$ und $0 \leq x + y \leq 0,13$ erfüllt,

wenn $0 > x$ und $0 \leq y$, sind $-0,1 \leq x < 0$ und $0 \leq y \leq 0,1$ erfüllt,

wenn $0 \geq x$ und $0 > y$, sind $-0,1 \leq x, y$ und $-0,13 \leq x + y < 0$ erfüllt, und

wenn $0 < x$ und $0 > y$, sind $0 < x \leq 0,1$ und $-0,1 \leq y < 0$ erfüllt.

[0007] Die vorliegende Offenbarung beinhaltet die folgenden Aspekte.

[1] Eine Keramik, repräsentiert durch Formel (1):



wobei

m $0,60 \leq m \leq 0,95$ erfüllt,

wenn $0 \leq x, y$, sind $x, y \leq 0,1$ und $0 \leq x + y \leq 0,13$ erfüllt,

wenn $0 > x$ und $0 \leq y$, sind $-0,1 \leq x < 0$ und $0 \leq y \leq 0,1$ erfüllt,

wenn $0 \geq x$ und $0 > y$, sind $-0,1 \leq x, y$ und $-0,13 \leq x + y < 0$ erfüllt, und

wenn $0 < x$ und $0 > y$, sind $0 < x \leq 0,1$ und $-0,1 \leq y < 0$ erfüllt.

[2] Die Keramik nach Punkt [1], wobei in Formel (1), wenn $0 \leq x, y$, ist $0 \leq x + y \leq 0,1$ erfüllt, und wenn $0 \geq x$ und $0 > y$, ist $-0,1 \leq x + y < 0$ erfüllt.

[3] Die Keramik nach Punkt [1] oder [2], wobei in Formel (1) x gleich 0 und y gleich 0 ist.

[4] Die Keramik nach einem der Punkte [1] bis [3], wobei in Formel (1) m $0,6 \leq m \leq 0,9$ erfüllt.

[5] Die Keramik nach einem der Punkte [1] bis [4], wobei eine Kristallstruktur der Keramik eine Perowskitstruktur aufweist.

[6] Ein Element mit elektrokalischem Effekt, wobei eine Edelmetallelektrode und die Keramik gemäß einem der Punkte [1] bis [5] abwechselnd gestapelt sind.

[7] Das Element mit elektrokalischem Effekt nach [6], wobei die Edelmetall-Elektrode aus Pt gebildet ist.

[8] Ein elektronisches Bauteil, das das Element mit elektrokalischem Effekt nach [6] oder [7] aufweist.

[9] Eine elektronische Vorrichtung, die das Element mit elektrokalischem Effekt nach [6] oder [7] oder das elektronische Bauteil gemäß [8] aufweist.

Vorteilhafte Wirkung der Erfindung

[0008] Gemäß der vorliegenden Offenbarung ist es möglich, eine Keramik bereitzustellen, die bei einem niedrigen elektrischen Feld einen großen elektrokalischem Effekt aufweist. Genauer gesagt ist es möglich, eine Keramik bereitzustellen, die bei einem niedrigeren elektrischen Feld einen größeren elektrokalischem Effekt aufweist als ein PMW aus dem Stand der Technik.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Fig. 1 zeigt eine Kurve der elektrischen Polarisierung und der elektrischen Feldstärke von PMW bei 15°C .

Fig. 2 zeigt eine Kurve der elektrischen Polarisierung und der elektrischen Feldstärke einer Probe im Rahmen der vorliegenden Erfindung bei -18°C .

Fig. 3 ist eine schematische Schnittansicht eines Elements mit elektrokalischem Effekt gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung.

Fig. 4 zeigt Diagramme zum Erläutern einer Messequenz für einen elektrokalischem Effekt.

Fig. 5 zeigt eine Kurve der elektrischen Polarisierung und der elektrischen Feldstärke eines PMW der Probe Nr. 1 bei 15°C .

Fig. 6 zeigt die Beziehung zwischen dem elektrokalischem Effekt und der Stärke des elektrischen Feldes eines PMW der Probe Nr. 1 bei 15°C .

Fig. 7 zeigt die Beziehung zwischen einem elektrokalendarischen Effekt und einer Temperatur bei einer elektrischen Feldstärke von 20 MV/m für das PMW der Probe Nr. 1.

Fig. 8 zeigt die Beziehung zwischen einem elektrokalendarischen Effekt und einer Temperatur bei einer elektrischen Feldstärke von 15 MV/m für eine PST der Probe Nr. 2.

Fig. 9 zeigt die Beziehung zwischen einem elektrokalendarischen Effekt und einer Temperatur bei einer elektrischen Feldstärke von 15 MV/m für die PST der Probe Nr. 2 und eine Probe der Probe Nr. 6.

Fig. 10 ist ein Diagramm, das die Ergebnisse eines charakteristischen Tests für Zusammensetzungen mit verschiedenen x und y zeigt.

AUSFÜHRUNGSFORM DER ERFINDUNG

[0009] Nachfolgend werden eine Keramik der vorliegenden Offenbarung und ein Element mit elektrokalendarischem Effekt, das diese Keramik verwendet, ausführlich unter Bezugnahme auf die Zeichnungen i beschrieben. Es wird angemerkt, dass die Formen und Anordnungen des Elements mit elektrokalendarischem Effekt und der jeweiligen Bestandteile gemäß der vorliegenden Ausführungsform nicht auf die in den abgebildeten Beispielen dargestellten beschränkt sind.

[Keramik]

[0010] Die Keramik gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung enthält als Hauptbestandteile Pb, Sc, Ta, Mg und W. Die Keramik ist ein Mischoxid, das Pb, Sc, Ta, Mg und W enthält.

[0011] Der Pb-Gehalt ist im Wesentlichen gleich dem Gesamtgehalt an Sc, Ta, Mg und W.

[0012] Wenn der Gehalt an Sc „0,5 - x“ ist, ist der Gehalt an Ta „0,5 + x“, und wenn der Gehalt an Mg „0,5 - y“ ist, ist der Gehalt an W „0,5 + y“.

[0013] Die Bereiche von x und y werden so festgelegt, dass

wenn $0 \leq x, y$, sind $x, y \leq 0,1$ und $0 \leq x + y \leq 0,13$ erfüllt,

wenn $0 > x$ und $0 \leq y$, sind $-0,1 \leq x < 0$ und $0 \leq y \leq 0,1$ erfüllt,

wenn $0 \geq x$ und $0 > y$, sind $-0,1 \leq x, y$ und $-0,13 \leq x + y < 0$ erfüllt, und

wenn $0 < x$ und $0 > y$, sind $0 < x \leq 0,1$ und $-0,1 \leq y < 0$ erfüllt.

[0014] Wenn der Gesamtgehalt an Mg und W mit „m“ bezeichnet wird, ist der Gesamtgehalt an Sc und Ta „1 - m“, und die Spanne von m ist $0,60 \leq m \leq 0,95$. Alle oben genannten Gehalte sind Molverhältnisse. Wenn die Zusammensetzung in den oben genannten Bereichen verwendet wird, kann bei niedrigem elektrischen Feld ein großer elektrokalendarischer Effekt erzielt werden.

[0015] Der Ausdruck „der Pb-Gehalt ist im Wesentlichen gleich dem Gesamtgehalt an Sc, Ta, Mg und W“ ist nicht auf den Fall beschränkt, dass der Pb-Gehalt genau gleich dem Gesamtgehalt an Sc, Ta, Mg und W ist. Das bedeutet, der Ausdruck „der Pb-Gehalt ist im Wesentlichen gleich dem Gesamtgehalt an Sc, Ta, Mg und W“ schließt einen Fall ein, in dem der Unterschied zwischen dem Pb-Gehalt und dem Gesamtgehalt an Sc, Ta, Mg und W beispielsweise 3 % oder weniger in Bezug auf das Molverhältnis beträgt.

[0016] Die Zusammensetzung der Keramik der vorliegenden Offenbarung kann analysiert und gemessen werden, indem man eine Zusammensetzungsanalyse durchführt, z. B. mit Hilfe der Hochfrequenz-Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma oder der Röntgenfluoreszenzspektroskopie.

[0017] Der elektrokalendarische Effekt ist ein endothermes und exothermes Phänomen, das durch eine Änderung der Entropie verursacht wird, wenn elektrische Dipolmomente in einer Substanz durch eine Änderung des elektrischen Feldes fluchten oder ungeordnet werden. Ein Leistungsindikator für den elektrokalendarischen Effekt im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann eine adiabatische Temperaturänderung (ΔT) sein. Das bedeutet, dass der Ausdruck „der elektrokalendarische Effekt ist groß“ bedeuten kann, dass die adiabatische Temperaturänderung (ΔT) groß ist. Bei der vorliegenden Erfindung ist eine größere adiabatische Temperaturänderung (ΔT) stärker bevorzugt.

[0018] Die adiabatische Temperaturänderung ΔT ist eine Temperaturänderung der Keramik, die durch das Anlegen des elektrischen Feldes an die Keramik und/oder das Entfernen des an die Keramik angelegten elektrischen Feldes verursacht wird. Insbesondere kann die adiabatische Temperaturänderung ΔT eine Differenz zwischen der Temperatur der Keramik vor dem Anlegen des elektrischen Feldes und der Temperatur der Keramik unmittelbar nach dem Anlegen des elektrischen Feldes sein, oder sie kann eine Differenz zwischen der Temperatur der Keramik vor dem Entfernen des elektrischen Feldes und der Temperatur der Keramik unmittelbar nach dem Entfernen des elektrischen Feldes sein.

[0019] Im Allgemeinen steigt die adiabatische Temperaturänderung ΔT mit zunehmender Stärke des elektrischen Feldes, das an die Keramik angelegt wird. Die adiabatische Temperaturänderung ΔT nimmt tendenziell zu, wenn sich die Temperatur der Keramik zum Zeitpunkt des Anlegens des elektrischen Feldes der Übergangstemperatur (oder ferroelektrischen Übergangstemperatur) des Antiferroelektrikums annähert. Beispielsweise nimmt der elektrokalorische Effekt rasch ab, wenn die Temperatur der Keramik unter die Übergangstemperatur fällt. Insbesondere bei einem PMW aus dem Stand der Technik mit einer Übergangstemperatur von etwa 20 bis 30 °C nimmt der elektrokalorische Effekt deutlich ab, wenn die Temperatur der Keramik 0 °C oder weniger beträgt.

[0020] In einem anderen Aspekt kann die Keramik eine Keramik sein, die durch die Formel (1) dargestellt wird:



wobei

m erfüllt $0,60 \leq m \leq 0,95$,

wenn $0 \leq x, y$, sind $x, y \leq 0,1$ und $0 \leq x + y \leq 0,13$ erfüllt,

wenn $0 > x$ und $0 \leq y$, sind $-0,1 \leq x < 0$ und $0 \leq y \leq 0,1$ erfüllt,

wenn $0 \geq x$ und $0 > y$, sind $-0,1 \leq x, y$ und $-0,13 \leq x + y < 0$ erfüllt, und

wenn $0 < x$ und $0 > y$, sind $0 < x \leq 0,1$ und $-0,1 \leq y < 0$ erfüllt. Wenn x, y und m innerhalb der oben genannten Bereiche liegen, kann ein großer elektrokalorischer Effekt (z. B. 0,8 K oder mehr, wenn eine elektrische Feldstärke von 8 MV/m angelegt wird) bei einem niedrigen elektrischen Feld erzielt werden.

[0021] Obwohl die vorliegende Offenbarung nicht an eine Theorie gebunden ist, wird ein Mechanismus zur Erzielung des oben genannten Effekts wie folgt betrachtet.

[0022] Beispiele für Stoffe, die einen großen elektrokalorischen Effekt zeigen, umfassen PMW, das antiferroelektrisch ist, und $\text{PbSc}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_3$ (im Folgenden wird eine Keramik, die Pb, Sc und Ta enthält, auch als „PST“ bezeichnet), das ferroelektrisch ist. PMW und PST zeigen Antiferroelektrizität bzw. Ferroelektrizität, die aufgrund der Orientierung der Kationen an der B-Stelle (Mg und W für PMW, Sc und Ta für PST) eine große latente Wärme zum Zeitpunkt des Übergangs aufweisen.

[0023] Im Falle des PMW zeigt das PMW einen negativen elektrokalorischen Effekt (Wärmeabsorption bei Anlegen des elektrischen Feldes und Wärmeerzeugung bei Wegnahme des elektrischen Feldes), der sich aus seiner Antiferroelektrizität bei einer Temperatur ergibt, die kleiner gleich der Phasenübergangstemperatur ist, und zeigt einen großen positiven elektrokalorischen Effekt (Wärmeerzeugung bei Anlegen des elektrischen Feldes und Wärmeabsorption bei Wegnahme des elektrischen Feldes) in der Nähe der Übergangstemperatur. Das bedeutet, dass der positive und der negative elektrokalorische Effekt sich in Abhängigkeit der Temperatur umkehren. Als elektrokalorischer Effekt für die praktische Anwendung können sowohl ein positiver als auch ein negativer elektrokalorischer Effekt verwendet werden. Im Falle des PMW ist eine große elektrische Feldstärke von 10 MV/m oder mehr erforderlich, um einen großen negativen elektrokalorischen Effekt zu erzielen, und wenn die elektrische Feldstärke weniger als 10 MV/m beträgt, hat das PMW nur einen sehr geringen elektrokalorischen Effekt.

[0024] Es ist allgemein bekannt, dass sich Kationen an der B-Stelle leicht fluchten, da die Differenz im Ionenradius zwischen zwei Kationen an der B-Stelle größer ist. Im PMW ist der Unterschied im Ionenradius zwischen Mg und W größer als im PST, so dass die B-Stelle leicht zu fluchten ist. Dementsprechend hat das PMW im Gegensatz zum PST die Eigenschaft, dass die Ionen an der B-Stelle ohne lange Wärmebehandlung fluchten. In der vorliegenden Offenbarung wurde die Schwellenspannung des Antiferroelektrikums durch

Zugabe von PST zum PMW erfolgreich gesenkt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Orientierung der B-Stelle des PMW geringfügig verringert wurde.

[0025] Die Schwellenspannung ist eine Spannung (etwa 18 MV/m), bei der die elektrische Polarisation rasch zunimmt, wie in **Fig. 1** dargestellt. Wenn die Spannung kleiner gleich der Schwellenspannung ist, sind die elektrischen Polarisationen so angeordnet, dass sie sich gegenseitig aufheben. Wenn die Spannung größer gleich der Schwellenspannung ist, beginnen die elektrischen Polarisationen, in Richtung des elektrischen Feldes zu fluchten. In einem stärkeren elektrischen Feld fluchten die Polarisationen alle in eine Richtung, ähnlich wie bei allgemeinen Ferroelektrika. Das bedeutet, das Antiferroelektrikum wird durch Anlegen einer Spannung, die größer gleich der Schwellenspannung ist, dazu gebracht, eine elektrische Polarisation ähnlich der des Ferroelektrikums aufzuweisen. Wenn die Spannung kleiner gleich der Schwellenspannung ist, weist das Antiferroelektrikum keinen elektrokalendarischen Effekt auf, da die elektrischen Polarisationen so angeordnet sind, dass sie sich gegenseitig aufheben (Zustand A in **Fig. 1**). Wenn die Spannung die Schwellenspannung übersteigt, zeigt das Antiferroelektrikum je nach Höhe der Spannung einen positiven oder negativen elektrokalendarischen Effekt, da die elektrischen Polarisationen fluchten (Zustand B in **Fig. 1**).

[0026] Wie in **Fig. 2** gezeigt, sinkt bei der Keramik gemäß der vorliegenden Offenbarung die Schwellenspannung. Im Ergebnis kann die Keramik der vorliegenden Offenbarung einen elektrokalendarischen Effekt bei einem geringen elektrischen Feld haben. Im Ferroelektrikum verbleibt nach dem Anlegen eines elektrischen Feldes ein Teil der Polarisation (als Restpolarisation bezeichnet), und die Entropieänderung zum Zeitpunkt des Anlegens und Entfernens des elektrischen Feldes wird um den Betrag der Restpolarisation verringert, was zum Verlust des elektrokalendarischen Effekts führt. Im Falle des Antiferroelektrikums hingegen kehrt die elektrische Polarisation auf Null zurück, wenn das elektrische Feld weggenommen wird, so dass der Verlust des elektrokalendarischen Effekts nicht auftritt.

[0027] Bei der vorliegenden Erfindung wird durch die Zugabe von PST zum PMW nicht nur die Schwellenspannung des Antiferroelektrikums herabgesetzt, sondern auch die Übergangstemperatur des PMW erfolgreich auf Raumtemperatur oder darunter gesenkt. Das bedeutet, dass die Keramik der vorliegenden Offenbarung im Vergleich zu den herkömmlichen PMW einen ausgezeichneten elektrokalendarischen Effekt bei 0 ° C oder niedriger (zum Beispiel -15 ° C) bereitstellen kann.

[0028] Darüber hinaus ist es bei der vorliegenden Erfindung auch möglich, eine Umkehrung des positiven und negativen elektrokalendarischen Effekts im Temperaturbereich der tatsächlichen Verwendung (z. B. -20 bis 0 °C) bei einer relativ geringen elektrischen Feldstärke von 8 MV/m oder mehr zu verhindern. Daher hat die Keramik der vorliegenden Offenbarung im Vergleich zum herkömmlichen PMW eine verbesserte Kontrollierbarkeit des elektrokalendarischen Effekts und erfordert keine komplizierte Steuerung, wenn sie als Kühlsystem verwendet wird.

[0029] Bei einem Aspekt werden die Bereiche von x und y so festgelegt, dass

- wenn $0 \leq x, y, x, y \leq 0,1$ und $0 \leq x + y \leq 0,12$ erfüllt sind,
- wenn $0 > x$ und $0 \leq y$, sind $-0,1 \leq x < 0$ und $0 \leq y \leq 0,1$ erfüllt,
- wenn $0 \geq x$ und $0 > y$, sind $-0,1 \leq x, y$ und $-0,12 \leq x + y < 0$ erfüllt, und
- wenn $0 < x$ und $0 > y$, sind $0 < x \leq 0,1$ und $-0,1 \leq y < 0$ erfüllt.

[0030] Bei einem Aspekt werden die Bereiche von x und y so festgelegt, dass

- wenn $0 \leq x, y, x, y \leq 0,1$ und $0 \leq x + y \leq 0,11$ erfüllt,
- wenn $0 > x$ und $0 \leq y$, sind $-0,1 \leq x < 0$ und $0 \leq y \leq 0,1$ erfüllt,
- wenn $0 \geq x$ und $0 > y$, sind $-0,1 \leq x, y$ und $-0,11 \leq x + y < 0$ erfüllt, und
- wenn $0 < x$ und $0 > y$, sind $0 < x \leq 0,1$ und $-0,1 \leq y < 0$ erfüllt.

[0031] Bei einem Aspekt werden die Bereiche von x und y so festgelegt, dass

- wenn $0 \leq x, y$, ist $0 \leq x + y \leq 0,1$ erfüllt,
- wenn $0 > x$ und $0 \leq y$, sind $-0,1 \leq x < 0$ und $0 \leq y \leq 0,1$ erfüllt,
- wenn $0 \geq x$ und $0 > y$, ist $-0,1 \leq x + y < 0$ erfüllt, und

wenn $0 < x$ und $0 > y$, sind $0 < x \leq 0,1$ und $-0,1 \leq y < 0$ erfüllt.

[0032] Bei einem Aspekt werden die Bereiche von x und y so festgelegt, dass

wenn $0 \leq x, y$, ist $0 \leq x + y \leq 0,08$ erfüllt,

wenn $0 > x$ und $0 \leq y$, sind $-0,08 \leq x < 0$ und $0 \leq y \leq 0,08$ erfüllt,

wenn $0 \geq x$ und $0 > y$, ist $-0,08 \leq x + y < 0$ erfüllt, und

wenn $0 < x$ und $0 > y$, sind $0 < x \leq 0,08$ und $-0,08 \leq y < 0$ erfüllt.

[0033] Bei einem Aspekt werden die Bereiche von x und y so festgelegt, dass

wenn $0 \leq x, y$, sind $0 \leq x \leq 0,05$ und $0 \leq y \leq 0,05$ erfüllt,

wenn $0 > x$ und $0 \leq y$, sind $-0,05 \leq x < 0$ und $0 \leq y \leq 0,05$ erfüllt,

wenn $0 \geq x$ und $0 > y$, sind $-0,05 \leq x < 0$ und $-0,05 \leq y < 0$ erfüllt, und

wenn $0 < x$ und $0 > y$, sind $0 < x \leq 0,05$ und $-0,05 \leq y < 0$ erfüllt.

[0034] Bei einem weiteren Aspekt werden die Bereiche von x und y so festgelegt, dass

wenn $0 \leq x, y$, ist $0 \leq x + y \leq 0,05$ erfüllt,

wenn $0 > x$ und $0 \leq y$, sind $-0,05 \leq x < 0$ und $0 \leq y \leq 0,05$ erfüllt,

wenn $0 \geq x$ und $0 > y$, ist $-0,05 \leq x + y < 0$ erfüllt, und

wenn $0 < x$ und $0 > y$, sind $0 < x \leq 0,05$ und $-0,05 \leq y < 0$ erfüllt.

[0035] Bei einem Aspekt können die Bereiche von x und y durch optionale Kombination der Bereiche von x und y in den oben beschriebenen Fällen „ $0 \leq x, y$ “, „ $0 > x, 0 \leq y$ “, „ $\geq x, 0 > y$ “ und „ $0 < x, 0 > y$ “ bestimmt werden.

[0036] In einem bevorzugten Aspekt sind x und y 0. Das bedeutet, die Formel, die durch $(1-m) \text{PbSc}_{0.5-x}\text{Ta}_{0.5+x}\text{O}_3$ - $m\text{PbMg}_{0.5-y}\text{W}_{0.5+z}\text{O}_3$ repräsentiert wird, ist $(1-m) \text{PbSc}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_3$ - $m\text{PbMg}_{0.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_3$.

[0037] Bei einem Aspekt kann m $0,60 < m \leq 0,95$ sein.

[0038] Unter dem Gesichtspunkt der Verbesserung des elektrokalorischen Effekts bei einem niedrigen elektrischen Feld ist die Spanne von m bevorzugt $0,60 \leq m \leq 0,90$, noch bevorzugter $0,70 \leq m \leq 0,90$ und ferner bevorzugt $0,70 \leq m \leq 0,80$.

[0039] Unter dem Gesichtspunkt der Verbesserung des elektrokalorischen Effekts bei niedriger Temperatur ist die Spanne von m bevorzugt $0,60 \leq m \leq 0,90$, noch bevorzugter $0,65 \leq m \leq 0,90$ und ferner bevorzugt $0,65 \leq m \leq 0,85$.

[0040] Die Spanne von m kann $0,90 \leq m \leq 0,95$ betragen, um einen negativen elektrokalorischen Effekt zu erzielen.

[0041] Die Spanne von m kann $0,60 \leq m \leq 0,80$ betragen, um einen positiven elektrokalorischen Effekt zu erzielen.

[0042] Die Kristallstruktur der Keramik gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann eine Perowskit-Struktur sein. Die Keramik mit einer Perowskit-Struktur bedeutet nicht nur eine Keramik mit einer „Perowskit-Kristallstruktur“, sondern auch eine Keramik mit einer „der Perowskit-Kristallstruktur ähnlichen Kristallstruktur“. So kann die Keramik mit Perowskit-Struktur beispielsweise eine Kristallstruktur aufweisen, die von einem Fachmann auf dem Gebiet der Röntgenbeugung als Perowskit-Kristallstruktur erkannt werden kann.

[Element mit elektrokalischem Effekt]

[0043] Ein Element mit elektrokalischem Effekt der vorliegenden Offenbarung weist ein Laminat auf, in dem eine Elektrodenschicht und eine Keramikschicht, die die Keramik der vorliegenden Offenbarung als Hauptbestandteil enthält, abwechselnd gestapelt sind.

[0044] Wie in **Fig. 3** gezeigt, weist ein Element mit elektrokalischem Effekt 1 gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ein Laminat 6, in dem Elektrodenschichten 2a und 2b (im Folgenden auch gemeinsam als „Elektrodenschicht 2“ bezeichnet) und eine Keramikschicht 4 abwechselnd gestapelt sind, sowie Außenelektroden 8a und 8b (im Folgenden auch gemeinsam als „Außenelektrode 8“ bezeichnet) auf, die mit der Elektrodenschicht 2 verbunden sind. Die Elektrodenschichten 2a und 2b sind elektrisch mit den externen Elektroden 8a und 8b verbunden, die jeweils an einer Endfläche des Laminats 6 angeordnet sind. Wenn eine Spannung von den externen Elektroden 8a und 8b angelegt wird, bildet sich ein elektrisches Feld zwischen den Elektrodenschichten 2a und 2b. Dieses elektrische Feld bewirkt, dass die Keramikschicht 4 aufgrund des elektrokalischen Effekts Wärme erzeugt. Wird die Spannung weggenommen, verschwindet das elektrische Feld, und die Keramikschicht 4 absorbiert aufgrund des elektrokalischen Effekts Wärme.

[0045] Die Elektrodenschicht 2 ist eine sogenannte Innenelektrode. Die Elektrodenschicht 2 kann neben der Funktion, das elektrische Feld an die Keramikschicht 4 anzulegen, auch die Funktion haben, eine Wärmemenge zwischen der Keramikschicht 4 und der Außenseite zu übertragen.

[0046] Die Elektrodenschicht kann eine Elektrodenschicht sein, die als Hauptbestandteil ein Edelmetall enthält. Dabei bedeutet der „Hauptbestandteil“ in der Elektrodenschicht, dass die Elektrodenschicht aus 80 Massenprozent oder mehr Edelmetall gebildet ist, und bedeutet beispielsweise, dass 95 Massenprozent oder mehr, bevorzugter 98 Massenprozent oder mehr, weiter bevorzugt 99% oder mehr, noch bevorzugter 99,5 Massenprozent oder mehr und besonders bevorzugt 99,9 Massenprozent oder mehr der Elektrodenschicht Edelmetall sind.

[0047] In der vorliegenden Beschreibung kann das „Edelmetall“ zum Beispiel Au, Ag, Pt oder Pd sein. Unter dem Gesichtspunkt der Verbesserung des elektrokalischen Effekts bei niedrigen Temperaturen kann der Hauptbestandteil der in der vorliegenden Offenbarung verwendeten Elektrodenschicht Pt oder Pd sein. Das bedeutet, die Elektrodenschicht kann eine Pt- oder Pd-Elektrodenschicht sein. Unter dem Gesichtspunkt der Verbesserung der chemischen Beständigkeit und/oder der Kosten kann die Elektrodenschicht aus dem Edelmetall jedoch eine Legierung (z. B. eine Ag-Pd-Legierung und dergleichen) oder ein Gemisch aus Pt und/oder Pd und einem anderen Element (z. B. Ag, Pd, Rh, Au und dergleichen) sein. Wenn die Pt- oder Pd-Elektrodenschicht aus einer Legierung oder einem Gemisch davon gebildet wird, kann ein ähnlicher Effekt erzielt werden. Andere Elemente, die als Verunreinigungen beigemischt werden können, insbesondere unvermeidbare Elemente (z. B. Fe, Al₂O₃, und dergleichen) können enthalten sein. In diesem Fall lassen sich ähnliche Effekte erzielen.

[0048] Die Dicke der Elektrodenschicht 2 kann bevorzugt 0,2 µm oder mehr und 10 µm oder weniger, bevorzugt 1,0 µm oder mehr und 5,0 µm oder weniger, z. B. 2,0 µm oder mehr und 5,0 µm oder weniger, oder 2,0 µm oder mehr und 4,0 µm oder weniger betragen. Wenn die Dicke der Elektrodenschicht 0,5 µm oder mehr beträgt, kann der Widerstand der Elektrodenschicht verringert und die Wärmetransporteffizienz erhöht werden. Wenn die Dicke der Elektrodenschicht 10 µm oder weniger beträgt, kann die Dicke (und damit das Volumen) der Keramikschicht erhöht werden, und die Wärmemenge, die durch den elektrokalischen Effekt des gesamten Elements bewältigt werden kann, kann weiter gesteigert werden. Darüber hinaus kann das Element kleiner gestaltet werden.

[0049] Die Keramikschicht 4 kann eine Art von Keramik als Hauptbestandteil oder zwei oder mehr Arten von Keramik als Hauptbestandteile enthalten.

[0050] Vorliegend meint „Hauptbestandteil“ in der keramischen Schicht, dass die keramische Schicht im Wesentlichen aus einer Zielkeramik gebildet wird, und bedeutet zum Beispiel, dass 90 Massen-% oder mehr, bevorzugter 95 Massen-% oder mehr, weiter bevorzugt 98 Massen-% oder mehr, noch bevorzugter 99 Massen-% oder mehr und besonders bevorzugt 99,5 Massen-% oder mehr der keramischen Schicht die Zielkeramik ist. Die andere Komponente kann eine Kristallphase mit einer von der Perowskitstruktur abweichenden Struktur sein, die eine Pyrochlorstruktur ist, andere Elemente, die als Verunreinigungen beigemischt sind, und insbesondere unvermeidbare Elemente (z.B. Zr, C und dergleichen).

[0051] Die Zusammensetzung der keramischen Schicht 4 kann z. B. durch Hochfrequenz-Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma, Röntgenfluoreszenzspektroskopie oder ein anderes Verfahren bestimmt werden. Die Struktur der keramischen Schicht 4 kann durch Pulver-Röntgendiffraktometrie bestimmt werden.

[0052] Die Dicke der Keramikschiicht 4 kann bevorzugt 5 µm oder mehr und 100 µm oder weniger betragen, noch bevorzugter 5 µm oder mehr und 50 µm oder weniger, weiter bevorzugt 10 µm oder mehr und 50 µm oder weniger, noch bevorzugter 20 µm oder mehr und 50 µm oder weniger, und besonders bevorzugt 20 µm oder mehr und 40 µm oder weniger. Wenn die Dicke der Keramikschiicht weiter erhöht wird, kann die Wärmemenge, die von dem Element verarbeitet werden kann, erhöht werden. Wenn die Dicke der Keramikschiicht weiter verringert wird, kann ein höheres ΔT erzielt werden, und die Stehspannung kann ebenfalls verbessert werden.

[0053] Die Stehspannung der Keramikschiicht 4 kann bevorzugt 15 MV/m oder mehr, bevorzugt 20 MV/m oder mehr und noch bevorzugter 25 MV/m oder mehr betragen. Wenn die Stehspannung der Keramikschiicht weiter erhöht wird, kann eine größere Spannung (elektrisches Feld) angelegt und ein größeres ΔT erzielt werden.

[0054] Das Material, aus dem ein Paar der Außenelektroden 8a und 8b gebildet ist, ist nicht konkret beschränkt, Beispiele hierfür sind Ag, Cu, Pt, Ni, Al, Pd, Au und deren Legierungen (z. B. Ag-Pd und dergleichen), und es kann eine Elektrode aus diesen Metallen und Glas oder eine Elektrode aus Metall und Harz verwendet werden. Unter den Metallen ist Ag bevorzugt.

[0055] In dem Element mit elektrokalischem Effekt 1 sind die Elektrodenschicht 2 und die Keramikschiicht 4 abwechselnd gestapelt. In dem elektrokalischem Element der vorliegenden Offenbarung ist die Anzahl der gestapelten Elektrodenschichten und Keramikschiichten nicht konkret beschränkt. Es kann sein, dass alle Innenelektroden nicht mit den Außenelektroden verbunden sind und Innenelektroden enthalten, die nicht mit den Außenelektroden verbunden sind, wie es für können die Wärmeübertragung, die Spannungsrelaxation aufgrund von Piezoelektrizität und Elektrostriktion und dergleichen erforderlich ist.

[0056] Bei dem Element mit elektrokalischem Effekt 1 sind die Innenelektrode und die Keramikschiicht im Wesentlichen auf der gesamten Oberfläche miteinander in Kontakt. Das Element mit elektrokalischem Effekt der vorliegenden Offenbarung ist jedoch nicht auf eine solche Struktur beschränkt, insbesondere nicht, solange es eine Struktur aufweist, die in der Lage ist, eine Spannung (elektrisches Feld) an die Keramikschiicht anzulegen. Obwohl das Element mit elektrokalischem Effekt 1 eine rechteckige, quaderförmige Blockform aufweist, ist die Form des Elements mit elektrokalischem Effekt der vorliegenden Offenbarung nicht darauf beschränkt. Das Element mit elektrokalischem Effekt 1 kann beispielsweise zylindrisch oder plattenförmig sein und darüber hinaus Unebenheiten, ein Durchgangsloch oder ähnliches aufweisen. Die Innenelektrode kann an einer Oberfläche zur Wärmeübertragung oder zum Wärmeaustausch mit der Außenwelt freiliegen.

[0057] Das oben beschriebene keramische und Element mit elektrokalischem Effekt der vorliegenden Ausführungsform wird z. B. wie folgt hergestellt.

[0058] Als Rohstoffe werden hochreines Bleioxid (Pb_3O_4), Tantaloxid (Ta_2O_5), Scandiumoxid (Sc_2O_3), Magnesiumcarbonat ($MgCO_3$) und Wolframoxid (WO_3) so eingewogen, dass sie nach dem Brennen das gewünschte Zusammensetzungsverhältnis aufweisen. Die oben genannten Rohstoffe werden pulverisiert und mit teilstabilisierten Zirkoniumdioxidkugeln (PSZ), Reinwasser, einem Dispergiermittel und dergleichen in einer Kugelmühle gemischt. Danach wird die durch Pulverisierung und Mischung erhaltene Aufschlämmung getrocknet und kalibriert und dann unter Bedingungen von z.B. 800°C bis 900°C in einer Luftatmosphäre kalziniert. Das erhaltene kalzinierte Pulver wird mit PSZ-Kugeln, Ethanol, Toluol, einem Dispergiermittel und dergleichen gemischt und pulverisiert. Anschließend wird dem pulverisierten Pulver eine gelöste Bindemittellösung zugegeben und gemischt, um eine Aufschlämmung für die Folienbildung herzustellen. Die vorbereitete Aufschlämmung wird auf einer Unterlage zu einer Folie geformt und eine Pt-Elektrodenpaste wird darauf aufgebracht. Eine Folie, auf die die Pt-Elektrodenpaste aufgetragen wurde, und eine Folie, auf die die Pt-Elektrodenpaste nicht aufgetragen wurde, werden so gestapelt, dass sie eine gewünschte Struktur aufweisen, und dann wird der Stapel bei einem Druck von 100 MPa bis 200 MPa druckverfestigt und geschnitten, um einen Grünling herzustellen. Der Grünspan wird bei 500°C bis 600°C in einer Luftatmosphäre wärmebehandelt, um eine Behandlung zur Entfernung des Bindemittels durchzuführen. Anschließend wird der entbinderte Span bei 800°C bis 1.400°C zusammen mit einem $PbZrO_3$ -Pulver gebrannt, um eine

Pb-Atmosphäre zu erzeugen, z. B. mit einer Aluminiumoxid-Dichtungskammer. Danach werden die Endflächen des Spans mit Schleifpapier poliert, eine Außenelektrodenpaste aufgetragen und eine Einbrennbehandlung bei einer vorbestimmten Temperatur durchgeführt, so dass ein Element mit elektrokalischem Effekt, wie in Fig. 3 gezeigt, erhalten werden kann.

[0059] Das Element mit elektrokalischem Effekt der vorliegenden Offenbarung weist einen ausgezeichneten elektrokalischem Effekt auf und kann daher als Wärmemanagementelement, insbesondere als Kühlelement (einschließlich Kühl-/Wärmepumpenelementen einer Luftaufbereitungsrichtung wie etwa einer Klimaanlage, eines Kühlschranks und eines Gefrierschranks), verwendet werden.

[0060] Die vorliegende Offenbarung stellt ferner ein elektronisches Bauteil bereit, das das erfindungsgemäße Element mit elektrokalischem Effekt enthält, sowie eine elektronische Vorrichtung, die das Element mit elektrokalischem Effekt der vorliegenden Offenbarung oder das elektronische Bauteil enthält.

[0061] Das elektronische Bauteil ist nicht konkret beschränkt, und Beispiele dafür sind elektronische Bauteile, die für eine Klimaanlage, einen Kühlschrank oder einen Gefrierschrank verwendet werden, oder elektronische Bauteile (z. B. Batterien), die für eine Klimaanlage von Elektrofahrzeugen und Hybridautos verwendet werden; und Bauteile, die üblicherweise für elektronische Vorrichtungen verwendet werden, wie etwa integrierte Schaltungen (ICs) wie eine Zentraleinheit (CPU), eine Festplatte (HDD), ein Leistungsmanagement-IC (PMIC), ein Leistungsverstärker (PA), ein Transceiver-IC und ein Spannungsregler (VR); lichtemittierende Elemente wie eine Leuchtdiode (LED), eine Glühbirne und ein Halbleiterlaser; Bauteile, die als Wärmequellen dienen können, wie etwa Feldeffekttransistoren (FET); und andere Bauteile, z. B. eine Lithium-Ionen-Batterie, ein Substrat, eine Wärmesenke, ein Gehäuse und dergleichen.

[0062] Die elektronische Vorrichtung ist nicht konkret beschränkt, und Beispiele dafür sind eine Klimaanlage, ein Kühlschrank und ein Gefrierschrank, eine Klimaanlage, die als Wärmepumpe verwendet wird, eine Klimaanlage von Elektrofahrzeugen oder Hybridautos und kleine elektronische Vorrichtungen wie ein Mobiltelefon, ein Smartphone, ein Personal Computer (PC), ein Tablet-Terminal, ein Festplattenlaufwerk und ein Datenserver.

[0063] Das elektrokalischem Element der vorliegenden Offenbarung kann als Wärmemanagementsystem (oder Temperaturmanagementsystem) verwendet werden, das die Wärme (Temperatur) der elektronischen Komponente und der elektronischen Vorrichtung steuert. Beispiele für das Wärmemanagementsystem umfassen ein Kühlsystem, das das elektronische Bauteil und die elektronische Vorrichtung kühlt.

BEISPIELE

<Herstellung eines Elements mit elektrokalischem Effekt>

[0064] Als Rohmaterialien wurden hochreines Bleioxid (Pb_3O_4), Tantaloxid (Ta_2O_5), Scandiumoxid (Sc_2O_3), Magnesiumcarbonat ($MgCO_3$) und Wolframoxid (WO_3) hergestellt. Diese Rohstoffe wurden so eingewogen, dass sie nach dem Brennen ein vorbestimmtes Zusammensetzungsverhältnis gemäß den Tabellen 1 bis 4 aufwiesen, und mit teilstabilisierten Zirkoniumdioxidkugeln (PSZ) mit einem Durchmesser von 2 mm, reinem Wasser und einem Dispersionsmittel in einer Kugelmühle 16 Stunden lang pulverisiert und gemischt. Danach wurde die durch Pulverisieren und Mischen erhaltene Aufschlämmung auf einer Heizplatte getrocknet und kalibriert und dann 2 Stunden lang bei 850°C in einer Luftatmosphäre kalziniert.

[0065] Das erhaltene kalzinierte Pulver wurde 16 Stunden lang mit PSZ-Kugeln mit einem Durchmesser von 5 mm, Ethanol, Toluol und einem Dispersionsmittel gemischt und pulverisiert. Anschließend wurde dem pulverisierten Pulver eine aufgelöste Bindemittellösung zugegeben und 4 Stunden lang gemischt, um eine Aufschlämmung für die Folienbildung herzustellen. Die vorbereitete Aufschlämmung wurde auf einer PET-Folie durch ein Rakelverfahren in einer Dicke, die der Dicke einer vorbestimmten Keramikschiicht entspricht, in Folienform gebracht, in Streifen geschnitten und dann eine Platin-Innenelektrodenpaste durch Siebdruck auf die geschnittenen Streifen aufgebracht. Die Dicke einer Folie des herzustellenden gestapelten Elements wurde durch Veränderung des Spaltes einer bei der Folienbildung verwendeten Rakel gesteuert.

[0066] Eine vorgegebene Anzahl von Folien, auf die die Platinpaste für die Innenelektrode aufgetragen worden war, und Folien, auf die die Platinpaste für die Innenelektrode nicht aufgetragen worden war, wurden gestapelt, und dann wurde der Stapel bei einem Druck von 150 MPa druckgebondet und geschnitten, um einen Grünling herzustellen. Der Grünling wurde 24 Stunden lang bei 550 °C in einer Luftatmosphäre wärme-

behandelt, um das Bindemittel zu entfernen. Anschließend wurde der Grünling zusammen mit einem PbZrO_3 -Pulver zur Erzeugung einer Pb-Atmosphäre in einer Aluminiumoxid-Dichtungskammer versiegelt und 4 Stunden lang bei 900 bis 1.300 °C gebrannt. Die Proben im Rahmen der vorliegenden Erfindung wurden bei einer Temperatur von 900 bis 1.250°C ausreichend gebrannt. Als Vergleichsbeispiel wurde eine Probe der in Tabelle 1 gezeigten Probe Nr. 1 bei einer hohen Temperatur von 1.400°C gebrannt und anschließend bei 1.000°C für 1.000 Stunden wärmebehandelt.

[0067] Danach wurden die Endflächen des Chips mit Schleifpapier poliert, eine Ag-Außenelektrodenpaste aufgetragen und bei einer Temperatur von 750°C eine Einbrennbehandlung durchgeführt, so dass wie in **Fig. 3** dargestellt ein Element mit elektrokalischem Effekt erhalten wurde.

[0068] Die Größe des erhaltenen Elements betrug etwa L 10,2 mm × B 7,2 mm × T 0,88 für das Element, bei dem die Dicke der Keramikschicht 40 µm betrug. Die Anzahl der keramischen Schichten zwischen den inneren Elektrodenschichten betrug 19, die Elektrodenfläche betrug 49 mm² /Schicht, und die Gesamtelektrodenfläche betrug 49 mm² × 19 Schichten. Die Dicke der Keramikschicht des oben genannten Elements wurde mit einem Rasterelektronenmikroskop bestätigt, nachdem ein Abschnitt des Elements poliert worden war.

<Auswertung>

(Zusammensetzung)

[0069] Die keramische Zusammensetzung des erhaltenen Elements wurde durch Hochfrequenz-Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma und Röntgenfluoreszenzspektroskopie bestätigt.

(Kristallstruktur)

[0070] Zur Bewertung der Kristallstruktur des gewonnenen Elements wurde eine Pulver-Röntgenbeugungsmessung durchgeführt. Aus jeder Charge wurde ein Element nach dem Zufallsprinzip ausgewählt und in einem Mörser gemahlen, woraufhin ein Röntgenbeugungsprofil erstellt wurde. Anhand des erhaltenen Röntgenbeugungsprofils konnte bestätigt werden, ob es sich bei der Kristallstruktur der Keramik um die Perowskit-Struktur handelte, und anhand des Intensitätsverhältnisses wurden das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein und die Häufigkeit einer Verunreinigungsphase (hauptsächlich einer Pyrochlorphase) geschätzt. Wenn die Häufigkeit der Perowskit-Struktur 0,95 oder mehr betrug, wurde festgestellt, dass der Hauptbestandteil die Perowskit-Struktur hatte, und wenn die Häufigkeit weniger als 0,95 betrug, wurde festgestellt, dass eine Heterophase vorhanden war.

(Elektrokalischer Effekt)

[0071] Ein ultrafeines K-Thermoelement mit einem Durchmesser von 50 µm wurde mit einem Kapton-Band an einem zentralen Teil der Oberfläche eines Elements befestigt. Die Temperatur wurde durchgehend überwacht, ein Draht für die Spannungsanlegung wurde mit einer Ag-Paste an beide Enden der externen Elektrode geklebt, und eine Spannung wurde mit einem Hochspannungsgenerator an das Element angelegt.

[0072] Der elektrokalische Effekt wurde durch Anlegen einer Spannung an die Probe in einer Sequenz bewertet, wie sie im Diagramm in **Fig. 4(a)** dargestellt ist. Das bedeutet, dass zunächst wurde eine Spannung an die Probe angelegt wurde, die Spannung wurde gehalten, dann wurde die angelegte Spannung weggenommen und die Probe in diesem Zustand gehalten, und dieser Vorgang wurde wiederholt, um eine Änderung des elektrokalischen Effekts zu messen. Wenn in einer solchen Reihenfolge eine Spannung an ein Ferroelektrikum angelegt wird, steigt die Proben temperatur im Schritt des Anlegens einer Spannung gleichzeitig mit dem Anlegen der Spannung, im Schritt des Haltens des angelegten Zustands wird allmählich Wärme diffundiert und die Proben temperatur sinkt auf die gleiche Temperatur wie vor dem Anlegen der Spannung, beim Schritt des Entfernens der angelegten Spannung sinkt die Proben temperatur gleichzeitig mit dem Entfernen der Spannung, und im Schritt des Haltens des nicht angelegten Zustands steigt die Proben temperatur allmählich auf die ursprüngliche Temperatur an (siehe **Fig. 4(b)**). Dies liegt daran, dass die ferroelektrischen Domänen durch das Anlegen und Entfernen der Spannung fluchten oder gestört werden, und ein solcher endothermer und exothermer Effekt (elektrokalischer Effekt) wird durch eine Änderung der Entropie erzielt.

[0073] Wird dagegen eine Spannung an ein Antiferroelektrikum in einer Reihenfolge angelegt, wie sie im Diagramm von **Fig. 4(a)** dargestellt ist, zeigt das Antiferroelektrikum in einem bestimmten Temperaturbereich

einen elektrokalendarischen Effekt, der dem des Ferroelektrikums entgegengesetzt ist, wie in **Fig. 4(c)** dargestellt. Das bedeutet, dass das Antiferroelektrikum einen negativen kalorischen Effekt zeigt, bei dem die Temperatur sinkt (Wärmeaufnahme), wenn die Spannung angelegt wird, und steigt (Wärmeerzeugung), wenn die Spannung weggenommen wird.

[0074] In diesem Beispiel wurde für die adiabatische Temperaturänderung ΔT nach dem Anlegen einer vorgegebenen Spannung die Temperatur gemessen, wobei die Spannung 50 Sekunden lang angelegt blieb, und dann wurde nach dem Entfernen der Spannung die Temperatur 50 Sekunden lang ohne angelegte Spannung gemessen. Diese Sequenz wurde dreimal wiederholt. Während der Sequenz von Anlegen und Wegnehmen der Spannung wurde die Temperatur des Elements ständig gemessen, und aus der Temperaturänderung wurde die adiabatische Temperaturänderung ΔT ermittelt. Proben, bei denen der absolute Wert der adiabatischen Temperaturänderung ΔT beim Anlegen von elektrischen Feldern von 8 MV/m und 15 MV/m bei -15°C 0,8 K oder mehr bzw. 1,5 K oder mehr betrug, wurden mit „Go“ bewertet. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 1 bis 4 dargestellt.

[0075] Nachfolgend werden die oben genannten Bewertungsergebnisse dargestellt. Die in den Tabellen mit „*“ gekennzeichneten Proben sind Vergleichsbeispiele, die anderen Proben sind Beispiele.

[Tabelle 1]

Probe Nr.	(1-m) PbSc _{0.5-x} Ta _{0.5+x} O ₃ -mPbMg _{0.5-y} W _{0.5+y} O ₃			Betrag der adiabatischen Temperaturänderung ΔT (K)		Vorzeichen des kalorischen Effekts bei -20°C bis 0°C und Vorhandensein oder NichtVorhandensein einer Vorzeichenumkehr	Kristallstruktur
	m	x	y	8 MV/m	15 MV/m		
* 1	1	0	0	0,1	0,15	Negativ, keine Inversion	Perovskitstruktur
* 2	0	0	0	0,9	0,3	Positiv, keine Inversion	Perovskitstruktur
* 3	0,55	0	0	0,5	1,2	Positiv, keine Inversion	Perovskitstruktur
4	0,6	0	0	1	2	Positiv, keine Inversion	Perovskitstruktur
5	0,7	0	0	1,3	2,5	Positiv, keine Inversion	Perovskitstruktur
6	0,8	0	0	1,5	2,7	Positiv, keine Inversion	Perovskitstruktur
7	0,9	0	0	1	2,2	Negativ, keine Inversion	Perovskitstruktur
8	0,95	0	0	0,8	1,5	Negativ, keine Inversion	Perovskitstruktur
* 9	0,97	0	0	0,1	0,2	Negativ, Inversion	Perovskitstruktur

[Tabelle 2]

Probe Nr.	(1-m) PbSc _{0.5-x} Ta _{0.5+x} O ₃ -mPbMg _{0.5-y} W _{0.5+y} O ₃			Betrag der adiabatischen Temperaturänderung ΔT (K)		Kristallstruktur
	m	x	y	8 MV/m	15 MV/m	
10	0,6	0	0	1	2	Perovskitstruktur
11	0,6	0,05	0,05	1	1,8	Perovskitstruktur
* 12	0,6	0,08	0,08	-	-	Viele Heterophasen
* 13	0,6	0,1	0,1	0,5	1,4	Perovskitstruktur
14	0,6	0,05	-0,05	1	2	Perovskitstruktur
15	0,6	0,08	-0,08	1,1	1,9	Perovskitstruktur
16	0,6	0,1	-0,1	1,1	2,1	Perovskitstruktur
* 17	0,6	0,1	-0,11	-	-	Viele Heterophasen
* 18	0,6	0,11	-0,1	-	-	Viele Heterophasen

Probe Nr.	(1-m) PbSc _{0.5-x} Ta _{0.5+x} O _{3-y} O ₃ -mPbMg _{0.5-y} W _{0.5}			Betrag der adiabatischen Temperaturänderung ΔT (K)		Kristallstruktur
	m	x	y	8 MV/m	15 MV/m	
19	0,6	-0,05	-0,05	1	1,7	Perovskitstruktur
* 20	0,6	-0,08	-0,08	-	-	Viele Heterophasen
* 21	0,6	-0,1	-0,1	-	-	Viele Heterophasen
						Heterophasen
22	0,6	-0,05	0,05	1	1,8	Perovskitstruktur
23	0,6	-0,08	0,08	1	1,7	Perovskitstruktur
24	0,6	-0,1	0,1	1	1,6	Perovskitstruktur
* 25	0,6	-0,1	0,11	-	-	Viele Heterophasen
* 26	0,6	-0,11	0,1	-	-	Viele Heterophasen
27	0,6	0	0,05	1,1	1,7	Perovskitstruktur
28	0,6	0	0,08	1	1,8	Perovskitstruktur
29	0,6	0	0,1	1,1	1,7	Perovskitstruktur
* 30	0,6	0	0,11	-	-	Viele Heterophasen
31	0,6	0,05	0	1	1,7	Perovskitstruktur
32	0,6	0,08	0	1	1,8	Perovskitstruktur
33	0,6	0,1	0	1	1,9	Perovskitstruktur
* 34	0,6	0,11	0	-	-	Viele Heterophasen
35	0,6	0	-0,05	1	1,9	Perovskitstruktur
36	0,6	0	-0,08	1,1	2,1	Perovskitstruktur
						struktur
37	0,6	0	-0,1	1	2	Perovskitstruktur
* 38	0,6	0	-0,11	-	-	Viele Heterophasen
39	0,6	-0,05	0	1	1,9	Perovskitstruktur
40	0,6	-0,08	0	1	1,8	Perovskitstruktur
41	0,6	-0,1	0	1	2	Perovskitstruktur
* 42	0,6	-0,11	0	-	-	Viele Heterophasen

[Tabelle 3]

Probe Nr.	(1-m) PbSc _{0.5-x} Ta _{0.5+x} O _{3-y} O ₃ -mPbMg _{0.5-y} W _{0.5}			Betrag der adiabatischen Temperaturänderung ΔT (K)		Kristallstruktur
	m	x	y	8 MV/m	15 MV/m	
43	0,8	0	0	1,5	2,7	Perovskitstruktur
44	0,8	0,05	0,05	1,3	2,5	Perovskitstruktur
* 45	0,8	0,08	0,08	-	-	Viele Heterophasen
* 46	0,8	0,1	0,1	0,6	1,4	Perovskitstruktur
47	0,8	0,05	-0,05	1,1	2,3	Perovskitstruktur
48	0,8	0,08	-0,08	1,2	2,5	Perovskitstruktur

Probe Nr.	(1-m) PbSc _{0.5-x} Ta _{0.5+x} O ₃ -mPbMg _{0.5-y} W _{0.5} +yO ₃			Betrag der adiabatischen Temperaturänderung ΔT (K)		Kristallstruktur
	m	x	y	8 MV/m	15 MV/m	
49	0,8	0,1	-0,1	1,2	2,6	Perovskitstruktur
* 50	0,8	0,1	-0,11	-	-	Viele Heterophasen
* 51	0,8	0,11	-0,1	-	-	Viele Heterophasen
52	0,8	-0,05	-0,05	1,1	2,6	Perovskitstruktur
* 53	0,8	-0,08	-0,08	-	-	Viele Heterophasen
* 54	0,8	-0,1	-0,1	-	-	Viele Heterophasen
55	0,8	-0,05	0,05	1	2,2	Perovskitstruktur
56	0,8	-0,08	0,08	1,5	2,4	Perovskitstruktur
57	0,8	-0,1	0,1	1,4	2,6	Perovskitstruktur
* 58	0,8	-0,1	0,11	-	-	Viele Heterophasen
* 59	0,8	-0,11	0,1	-	-	Viele Heterophasen
60	0,8	0	0,05	1,2	2,5	Perovskitstruktur
61	0,8	0	0,08	1,5	2,9	Perovskitstruktur
62	0,8	0	0,1	1,4	2,7	Perovskitstruktur
* 63	0,8	0	0,11	-	-	Viele Heterophasen
64	0,8	0,05	0	1,6	2,6	Perovskitstruktur
65	0,8	0,08	0	1,5	2,6	Perovskitstruktur
66	0,8	0,1	0	1,7	2,8	Perovskitstruktur
* 67	0,8	0,11	0	-	-	Viele Heterophasen
68	0,8	0	-0,05	1,5	2,7	Perovskitstruktur
69	0,8	0	-0,08	1,6	2,6	Perovskitstruktur
70	0,8	0	-0,1	1,7	2,6	Perovskitstruktur
* 71	0,8	0	-0,11	-	-	Viele Heterophasen
72	0,8	-0,05	0	1,5	2,6	Perovskitstruktur
73	0,8	-0,08	0	1,4	2,5	Perovskitstruktur
74	0,8	-0,1	0	1,3	2,4	Perovskitstruktur
* 75	0,8	-0,11	0	-	-	Viele Heterophasen

[Tabelle 4]

Probe Nr.	(1-m) PbSc _{0.5-x} Ta _{0.5+x} O ₃ -mPbMg _{0.5-y} W _{0.5+y} O ₃			Betrag der adiabatischen Temperaturänderung ΔT (K)		Kristallstruktur
	m	x	y	8 MV/m	15 MV/m	
76	0,95	0	0	0,8	1,5	Perovskitstruktur
77	0,95	0,05	0,05	1,5	1,6	Perovskitstruktur
* 78	0,95	0,08	0,08	-	-	Viele Heterophasen
* 79	0,95	0,1	0,1	0,3	Element-Durchschlag trat auf	Viele Heterophasen
80	0,95	0,05	-0,05	1,4	1,9	Perovskitstruktur

Probe Nr.	(1-m) PbSc _{0.5-x} Ta _{0.5+x} O ₃ -mPbMg _{0.5-y} W _{0.5+y} O ₃			Betrag der adiabatischen Temperaturänderung ΔT (K)		Kristallstruktur
	m	x	y	8 MV/m	15 MV/m	
81	0,95	0,08	-0,08	1	1,7	Perovskitstruktur
82	0,95	0,1	-0,1	0,8	1,6	Perovskitstruktur
* 83	0,95	0,1	-0,11	-	-	Viele Heterophasen
* 84	0,95	0,11	-0,1	-	-	Viele Heterophasen
85	0,95	-0,05	-0,05	0,9	1,6	Perovskitstruktur
* 86	0,95	-0,08	-0,08	-	-	Viele Heterophasen
* 87	0,95	-0,1	-0,1	-	-	Viele Heterophasen
88	0,95	-0,05	0,05	1	1,7	Perovskitstruktur
89	0,95	-0,08	0,08	0,9	1,8	Perovskitstruktur
90	0,95	-0,1	0,1	1	1,7	Perovskitstruktur
* 91	0,95	-0,1	0,11	-	-	Viele Heterophasen
* 92	0,95	-0,11	0,1	-	-	Viele Heterophasen
93	0,95	0	0,05	1,1	1,9	Perovskitstruktur
94	0,95	0	0,08	0,9	1,8	Perovskitstruktur
95	0,95	0	0,1	0,9	1,6	Perovskitstruktur
* 96	0,95	0	0,11	-	-	Viele Heterophasen
97	0,95	0,05	0	0,8	1,6	Perovskitstruktur
98	0,95	0,08	0	0,9	1,6	Perovskitstruktur
99	0,95	0,1	0	0,8	1,5	Perovskitstruktur
* 100	0,95	0,11	0	-	-	Viele Heterophasen
101	0,95	0	-0,05	0,8	1,5	Perovskitstruktur
102	0,95	0	-0,08	0,9	1,6	Perovskitstruktur
103	0,95	0	-0,1	0,9	1,6	Perovskitstruktur
* 104	0,95	0	-0,11	-	-	Viele Heterophasen
105	0,95	-0,05	0	0,9	1,6	Perovskitstruktur
106	0,95	-0,08	0	0,8	1,5	Perovskitstruktur
107	0,95	-0,1	0	0,9	1,5	Perovskitstruktur
* 108	0,95	-0,11	0	-	-	Viele Heterophasen

[0076] Die ferroelektrischen Eigenschaften des herkömmlichen PMW in Probe Nr. 1 sind in **Fig. 5** gezeigt, und der elektrokalendarische Effekt ist in **Fig. 6** und **7** gezeigt. Wie in **Fig. 5** gezeigt, hat das herkömmliche PMW die doppelte Hystereseurve eines Antiferroelektrikums, bei dem die elektrische Polarisation ausgehend von der Schwellenspannung (etwa 15 MV/m) mit zunehmender elektrischer Feldstärke schnell ansteigt und die elektrische Polarisation bei einer höheren elektrischen Feldstärke gesättigt ist. Die Schwellenspannung beträgt etwa 15 MV/m bei 15°C, aber die Schwellenspannung steigt mit abnehmender Temperatur, und es ist ein größeres elektrisches Feld erforderlich.

[0077] **Fig. 6** zeigt eine adiabatische Temperaturänderung ΔT , gemessen bei Änderung der elektrischen Feldstärke bei 15°C. **Fig. 7** zeigt eine adiabatische Temperaturänderung ΔT , die gemessen wurde, während die elektrische Feldstärke auf 20 MV/m festgelegt und die Temperatur geändert wurde. Wie in **Fig. 6** gezeigt, wurde bei der Messung bei 15°C ein negativer kalorischer Effekt erzielt, bei dem Wärme absorbiert wurde, wenn ein elektrisches Feld angelegt wurde, und Wärme erzeugt wurde, wenn ein elektrisches Feld weggenommen wurde. Betrachtet man jedoch die Beziehung zwischen der adiabatischen Temperaturänderung ΔT

und der Stärke des elektrischen Feldes, so bestätigt sich, dass bei einem niedrigen elektrischen Feld fast kein elektrokalendarischer Effekt auftritt und die adiabatische Temperaturänderung ΔT ab der Nähe der Schwellenspannung allmählich zunimmt. Das bedeutet, es wurde bestätigt, dass Effekt im PMW ein negativer kalorischer erzielt wurde, aber ein ausreichender elektrokalendarischer Effekt wurde nicht erzielt, es sei denn, es wurde ein großes elektrisches Feld von 12 MV/m oder mehr angelegt. Daher ist bei dem PMW nicht nur eine hohe elektrische Feldstärke erforderlich, sondern es ist auch schwierig, den kalorischen Effekt durch Änderung der elektrischen Feldstärke zu steuern.

[0078] Wie in **Fig. 7** dargestellt, wurde anhand der Temperaturabhängigkeit der adiabatischen Temperaturänderung ΔT bestätigt, dass der kalorische Effekt bei einer elektrischen Feldstärke von 20 MV/m bei einer Temperatur von 0°C oder weniger sehr gering war. Da die Übergangstemperatur des PMW in der Nähe von 20 °C lag, änderte sich das Vorzeichen der adiabatischen Temperaturänderung ΔT bei 20 °C in der Nähe der Übergangstemperatur, und bei 20 °C oder mehr wurde ein positiver kalorischer Effekt erzielt, bei dem Wärme erzeugt wurde, wenn eine Spannung angelegt wurde, und Wärme absorbiert wurde, wenn eine Spannung weggenommen wurde. Wie oben beschrieben, kehrt sich im Falle des Antiferroelektrikums das Vorzeichen des kalorischen Effekts im Temperaturbereich oberhalb der Übergangstemperatur um, so dass es sehr schwierig ist, den kalorischen Effekt zu steuern. Daher kann eine einfache Senkung der Übergangstemperatur des Antiferroelektrikums zu dem Problem führen, dass sich das Vorzeichen des kalorischen Effekts in einem vermutlich verwendeten Temperaturbereich umkehrt.

[0079] **Fig. 8** zeigt einen elektrokalendarischen Effekt des PST in der bekannten Probe Nr. 2. Im Gegensatz zum PMW wurde beim PST in allen Temperaturbereichen ein positiver kalorischer Effekt erzielt, die adiabatische Temperaturänderung ΔT war in der Nähe von 20°C der Übergangstemperatur am größten, und es wurde ein sehr guter kalorischer Effekt erzielt. Allerdings nahm der Effekt bei 0°C oder darunter schnell ab, und bei niedrigen Temperaturen wurde kein ausreichender Effekt erzielt.

[0080] Tabelle 1 zeigt die charakteristischen Testergebnisse der oben hergestellten Proben. Insbesondere zeigt Tabelle 1 die elektrokalendarischen Effekte von Proben, bei denen die Werte von x und y in Formel (1) auf 0 festgelegt sind und m auf verschiedene Werte geändert wird. Die XRD-Messung ergab, dass bei allen Proben mit den in Tabelle 1 dargestellten Zusammensetzungen des Hauptbestandteils die gewünschte Perowskitstruktur aufwies und die Anzahl der Heterophasen gering war.

[0081] Das PMW in der aus der Technik bekannten Probe Nr. 1 und das PST in der Probe Nr. 2 hatten geringen bei -15°C einen elektrokalendarischen Effekt, und die adiabatische Temperaturänderung war kleiner als 1,5 K. Andererseits betrug die absoluten Werte der adiabatischen Temperaturänderung bei den Proben mit den Zusammensetzungen im Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung 0,8 K bzw. 1,5 K oder mehr, wenn elektrische Felder von 8 MV/m bzw. 15 MV/m angelegt wurden.

[0082] Proben, bei denen m im Bereich von $0,6 \leq m \leq 0,8$ lag, zeigten im Bereich von -20°C bis 0°C einen positiven kalorischen Effekt, wenn eine elektrische Feldstärke von 15 MV/m angelegt wurde, und es gab keine Umkehr des Vorzeichens in diesem Temperaturbereich. Proben, bei denen m im Bereich von $0,8 < m \leq 0,95$ lag, wiesen im oben beschriebenen Temperaturbereich und bei der elektrischen Feldstärke einen negativen kalorischen Effekt auf, wobei es jedoch zu keiner Umkehr des Vorzeichens kam.

[0083] **Fig. 9** zeigt die Temperaturabhängigkeit der adiabatischen Temperaturänderung bei Anlegen eines elektrischen Feldes von 15 MV/m für die Probe Nr. 2 und die Probe Nr. 6. (Es wird angemerkt, dass, wie in **Fig. 7** gezeigt, die adiabatische Temperaturänderung der Probe Nr. 1 mit einer höheren elektrischen Feldstärke (20 MV/m) gemessen wurde, und als Ergebnis war der elektrokalendarische Effekt im Temperaturbereich von 0°C oder darunter gering, und daher entfällt an dieser Stelle der Vergleich).

[0084] Wie in **Fig. 9** gezeigt, wurde in der Probe Nr. 6 innerhalb des Schutzzumfangs der vorliegenden Erfindung eine ausgezeichnete adiabatische Temperaturänderung in einem breiten Temperaturbereich von 0°C bis -50°C erzielt, der kleiner gleich der Raumtemperatur ist. Daher kann man sehen, dass die Keramik der vorliegenden Offenbarung für Anwendungen geeignet ist, die einen Antrieb bei einer niedrigen Temperatur erfordern, wie z. B. ein Kühlschranks und ein Gefrierschranks.

[0085] Es wird davon ausgegangen, dass bei einem Wert von m unter 0,6 die ferroelektrische Übergangstemperatur nicht ausreichend gesenkt wurde, und dass bei einem Wert von m über 0,95 nicht nur die Übergangstemperatur nicht ausreichend gesenkt wurde, sondern auch die Schwellenspannung der Antiferroelekt-

rizität nicht gesenkt wurde, so dass die adiabatische Temperaturänderung bei einer niedrigen Temperatur und einem niedrigen elektrischen Feld verringert wurde.

[0086] Die Tabellen 2, 3 und 4 zeigen die Messergebnisse der elektrokalischen Effekte der durch Formel (1) dargestellten Keramiken, wenn m gleich 0,6, m gleich 0,8 bzw. m gleich 0,95 ist.

[0087] Unter den Proben, bei denen m in den Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung fällt, lag der Anteil der Substanz mit der gewünschten Kristallstruktur am stabilsten nahe bei 100 % in den Proben, bei denen sowohl x als auch y in der Nähe von 0 liegen. Selbst wenn sowohl x als auch y nicht in der Nähe von 0 liegen, wurde keine Heterophase erzeugt, aber wenn x und y stark von 0 abweichen, nahm der Anteil der Heterophase zu oder die Isolationseigenschaft ab, und es kam zum Elementdurchbruch, wenn ein elektrisches Feld angelegt wurde (siehe die Spalten der Kristallstruktur in den Tabellen 2 bis 4). In den Zusammensetzungen innerhalb des Schutzzumfangs der vorliegenden Erfindung wies der Hauptbestandteil jedoch eine gewünschte Struktur auf, und die absoluten Werte der adiabatischen Temperaturänderung beim Anlegen elektrischer Felder von 8 MV/m und 15 MV/m bei -15°C betrug 0,8 K bzw. 1,5 K oder mehr.

[0088] Fig. 10 zeigt die Zusammensetzungsbereiche von x und y , die in den Ergebnissen der Merkmalsprüfung in Tabelle 2 mit „Go“ bewertet wurden. Wie in Fig. 10 gezeigt, wurde bestätigt, dass die Keramik im Rahmen der vorliegenden Erfindung im Charakteristik-Test mit „Go“ bewertet wurde. Auch die Tabellen 3 und 4 zeigen, die denen der Fig. 10 ähneln.

INDUSTRIELLE ANWENDBARKEIT

[0089] Das Element mit elektrokalischem Effekt der vorliegenden Offenbarung kann einen hohen elektrokalischen Effekt haben und kann daher als Wärmemanagement-Element beispielsweise in einem Elektrofahrzeug oder einem Hybridauto, einer Klimaanlage (z. B. einer Klimaanlage, die für ein Elektrofahrzeug oder ein Hybridfahrzeug verwendet wird, einer Klimaanlage, die als Wärmepumpe verwendet wird, und dergleichen), einem Kühlschrank, einem Gefrierschrank und dergleichen verwendet werden. Das Element mit elektrokalischem Effekt der vorliegenden Offenbarung kann auch als Kühlvorrichtung für verschiedene elektronische Vorrichtungen verwendet werden, beispielsweise für kleine elektronische Vorrichtungen wie etwa ein Mobiltelefon, ein Smartphone, ein Tablet-Endgerät, ein Festplattenlaufwerk, einen Datenserver und dergleichen, bei denen sich ein Wärmegegenmaßnahmenproblem bemerkbar macht, oder für einen Personal Computer (PC) und dergleichen.

BEZUGSZEICHENLISTE

1	Element mit elektrokalischem Effekt
2a, 2b	Elektrodenschicht
4	keramische Schicht
6	Laminat
8a, 8b	Außenelektrode

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

- WO 2021/131142 [0003]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Nature, Aufl. 575, Seite 468 bis 472 (2019 [0003])
- Ferroelectrics, 184, 239 (1996 [0003])
- Adv. Funct. Mater. 31, 2101176 (2021 [0003])

Patentansprüche

1. Keramik, repräsentiert durch Formel (1):



wobei

m $0,60 \leq m \leq 0,95$ erfüllt,

wenn $0 \leq x$, y , x , $y \leq 0,1$ und $0 \leq x + y \leq 0,13$ erfüllt sind,

wenn $0 > x$ und $0 \leq y$, $-0,1 \leq x < 0$ und $0 \leq y \leq 0,1$ erfüllt sind,

wenn $0 \geq x$ und $0 > y$, $-0,1 \leq x$, y und $-0,13 \leq x + y < 0$ erfüllt sind, und

wenn $0 < x$ und $0 > y$, $0 < x \leq 0,1$ und $-0,1 \leq y < 0$ erfüllt sind.

2. Keramik nach Anspruch 1, wobei in Formel (1),

wenn $0 \leq x$, y , $0 \leq x + y \leq 0,1$ erfüllt ist, und

wenn $0 \geq x$ und $0 > y$, $-0,1 \leq x + y < 0$ erfüllt ist.

3. Keramik nach Anspruch 1 oder 2, wobei in Formel (1) $x = 0$ und $y = 0$ ist.

4. Keramik nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei in Formel (1) m $0,6 \leq m \leq 0,9$ erfüllt ist.

5. Keramik nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei eine Kristallstruktur der Keramik eine Perowskit-Struktur hat.

6. Element mit elektrokalischem Effekt, wobei eine Edelmetallelektrode und die Keramik nach einem der Ansprüche 1 bis 5 abwechselnd gestapelt sind.

7. Element mit elektrokalischem Effekt nach Anspruch 6, wobei die Edelmetall-Elektrode aus Pt gebildet ist.

8. Elektronisches Bauteil, aufweisend das Element mit elektrokalischem Effekt nach Anspruch 6 oder 7.

9. Elektronische Vorrichtung, aufweisend das Element mit elektrokalischem Effekt nach Anspruch 6 oder 7 oder das elektronische Bauteil nach Anspruch 8.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

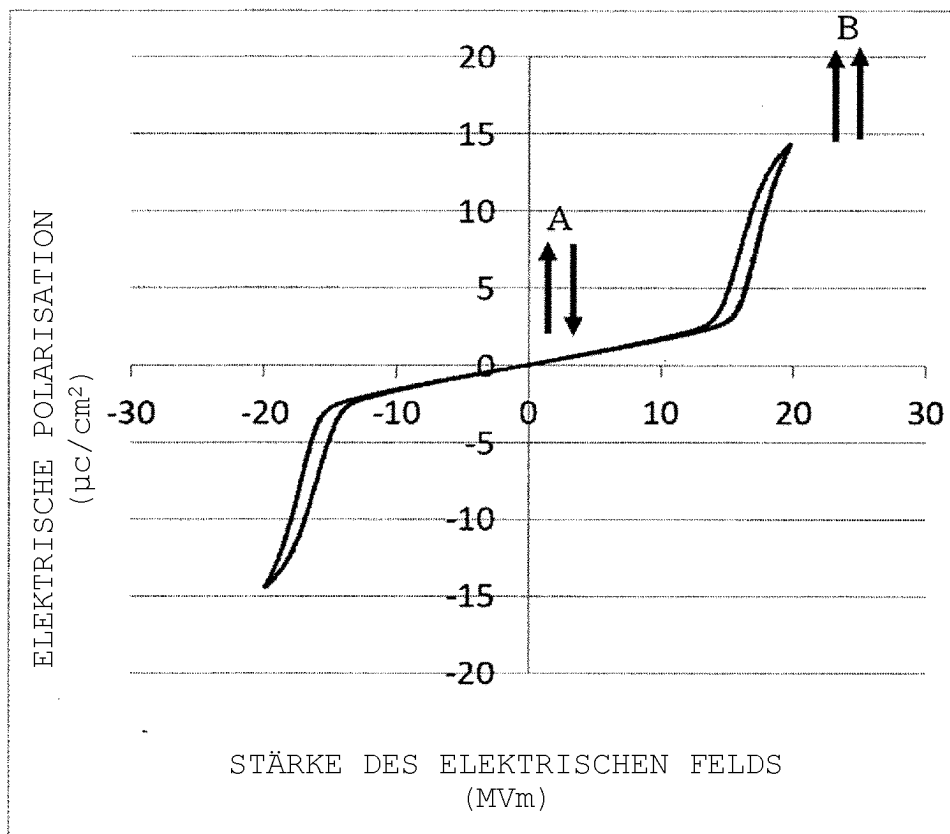


FIG. 2

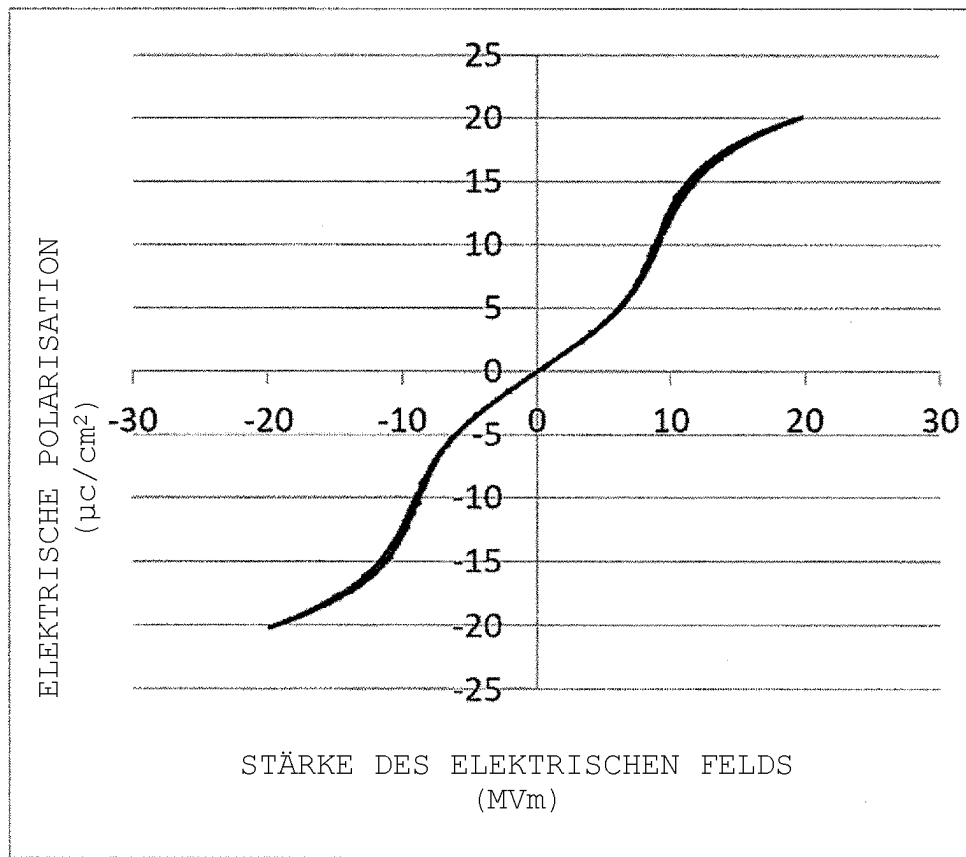


FIG. 3

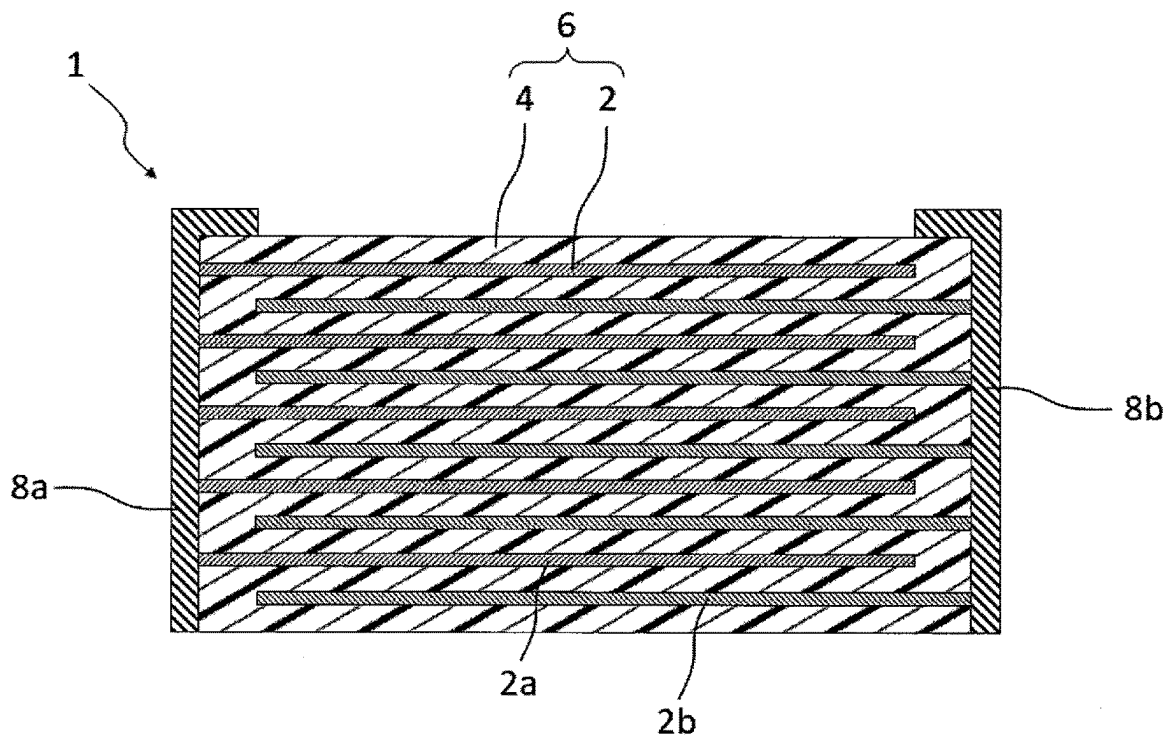


FIG. 4

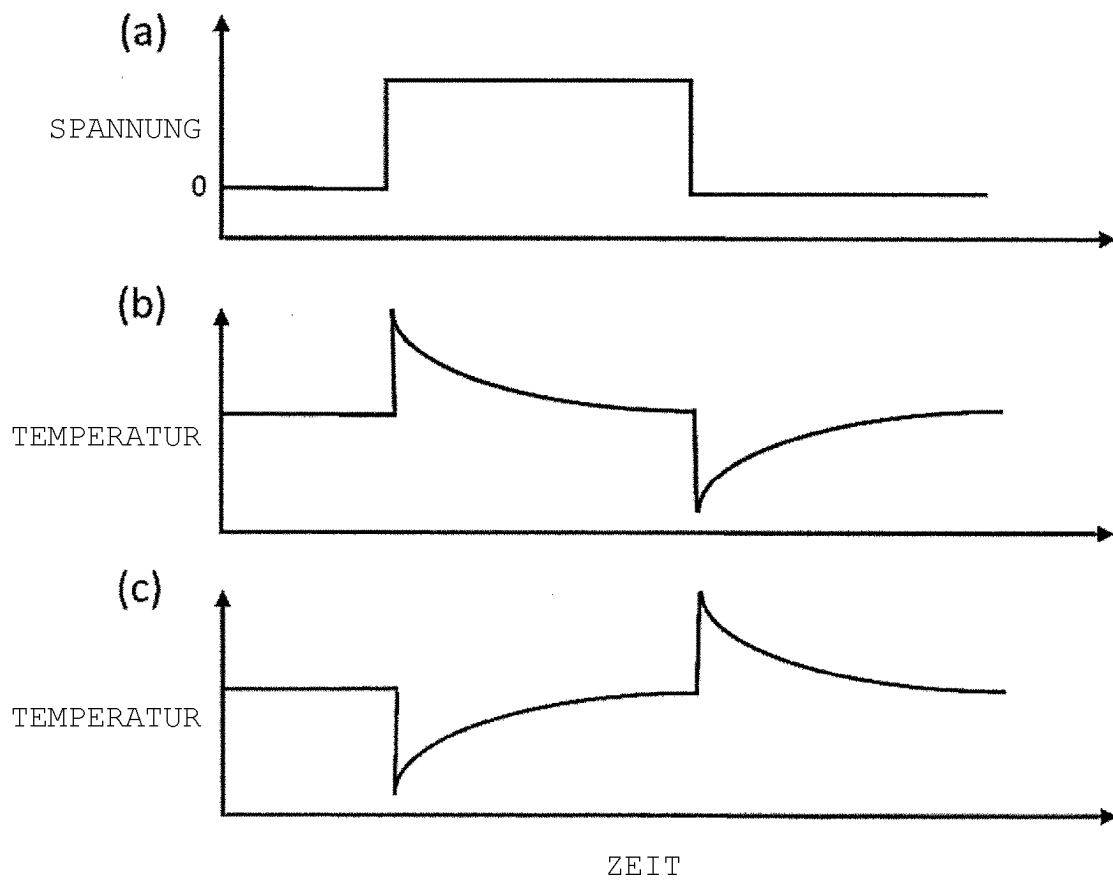


FIG. 5

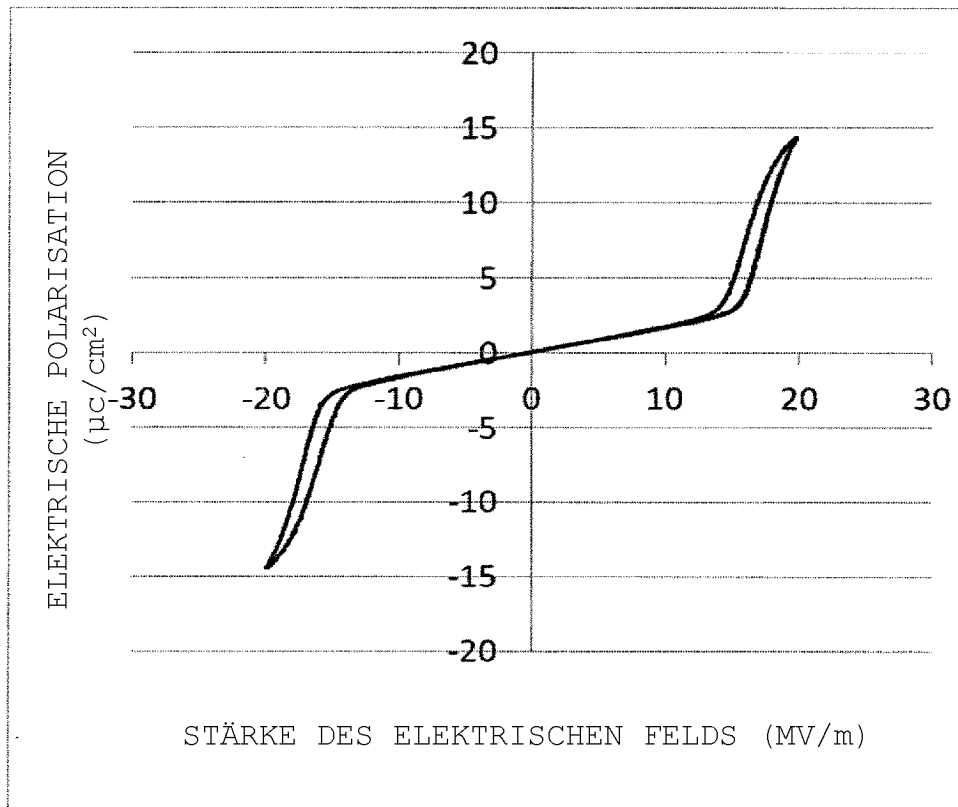


FIG. 6

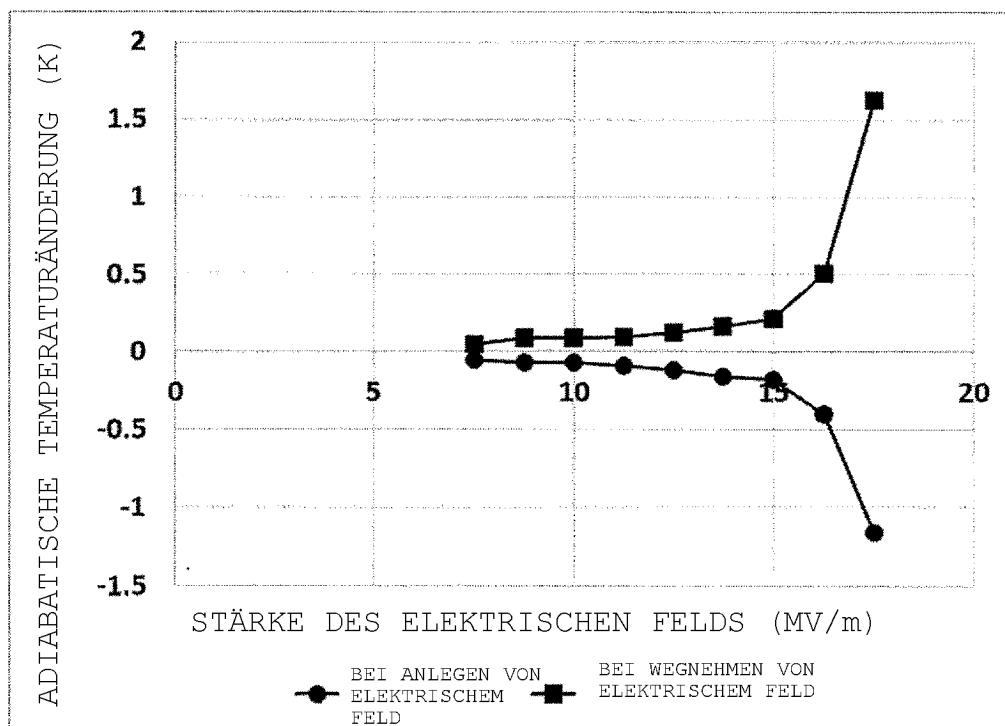


FIG. 7

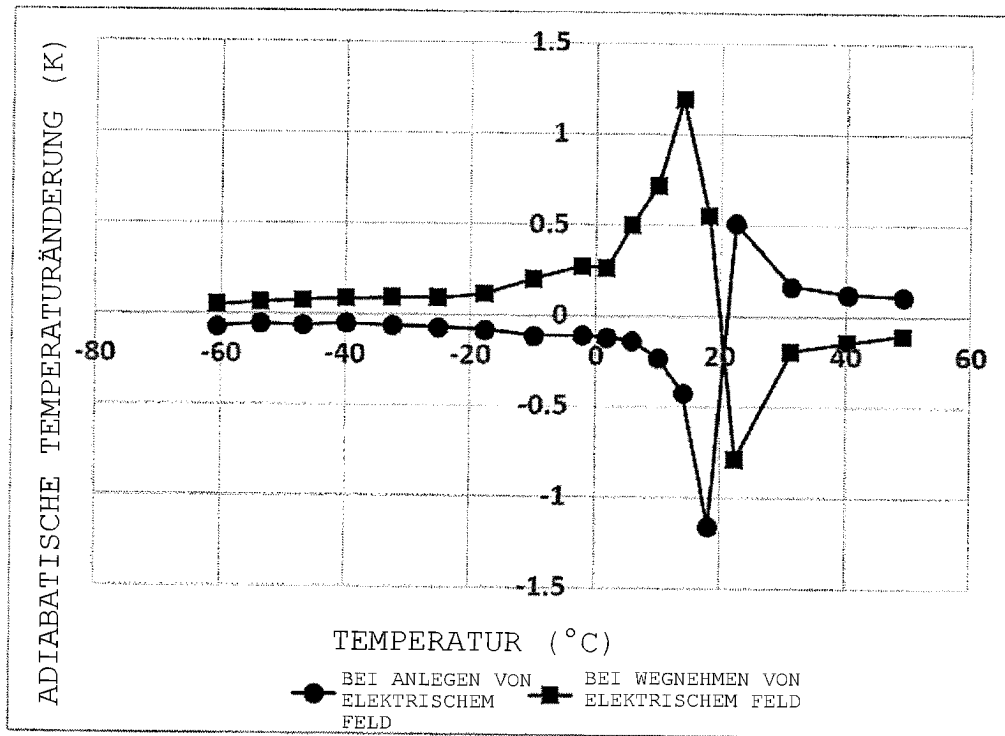


FIG. 8

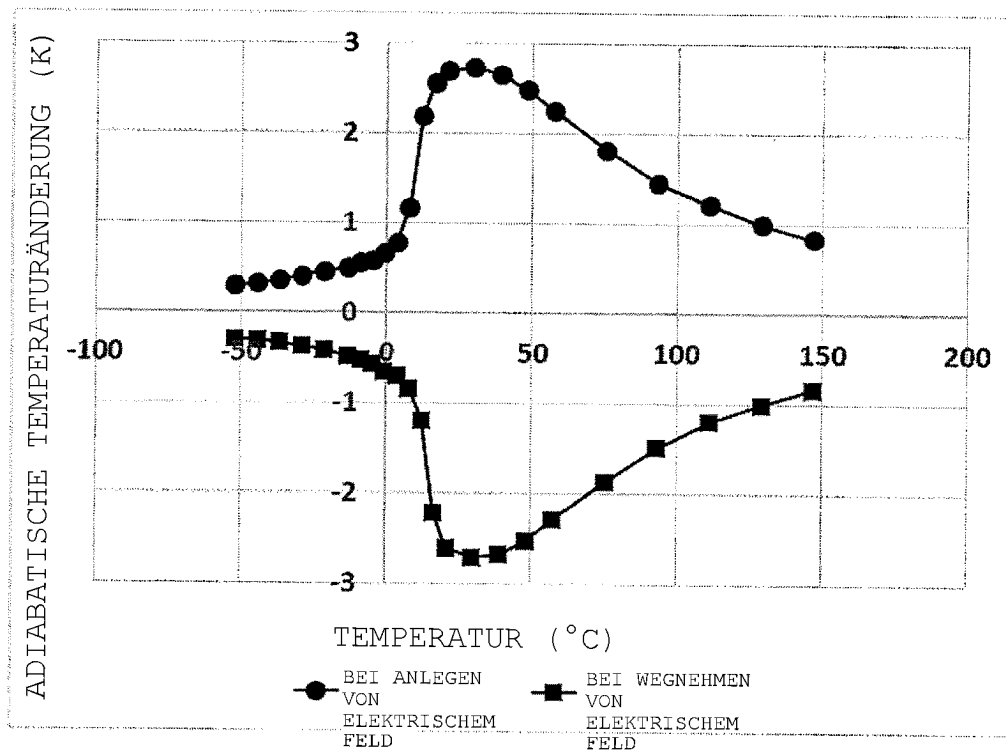


FIG. 9

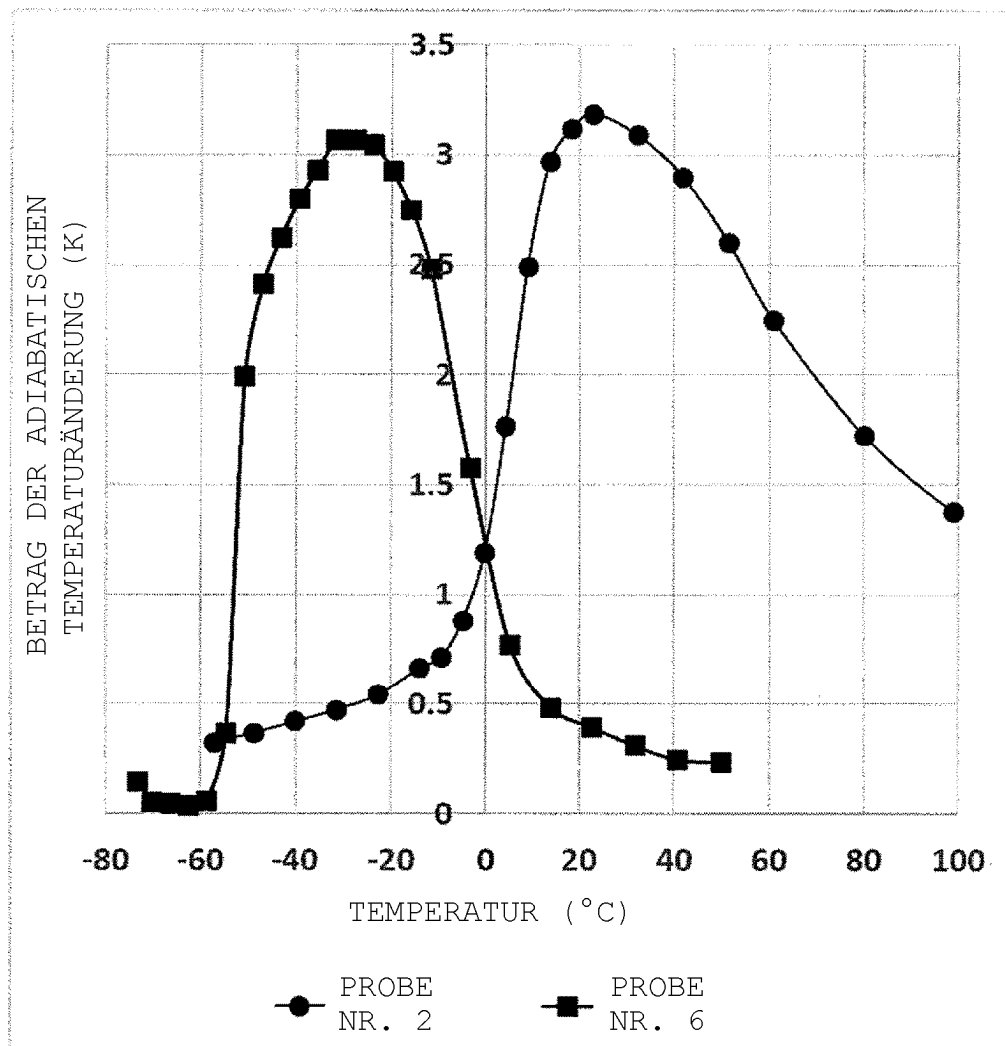


FIG. 10

