



(10) **DE 11 2018 003 319 T5** 2020.03.26

(12)

## Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2019/003984**  
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2  
IntPatÜG)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2018 003 319.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2018/023137**

(86) PCT-Anmeldetag: **18.06.2018**

(87) PCT-Veröffentlichungstag: **03.01.2019**

(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **26.03.2020**

(51) Int Cl.: **H05B 3/12 (2006.01)**  
**C04B 35/16 (2006.01)**  
**F01N 3/20 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

**2017-129229**                      **30.06.2017**    **JP**

**2017-243080**                      **19.12.2017**    **JP**

(71) Anmelder:

**DENSO CORPORATION, Kariya-city, Aichi-pref.,  
JP**

(74) Vertreter:

**KUHNEN & WACKER Patent- und  
Rechtsanwaltsbüro PartG mbB, 85354 Freising,  
DE**

(72) Erfinder:

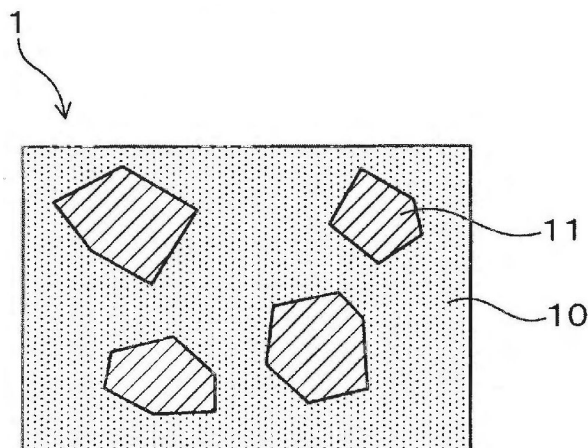
**Tokuno, Takehiro, Kariya-city, Aichi, JP; Naruse,  
Junichi, Kariya-city, Aichi, JP; Hirata, Kazuki,  
Kariya-city, Aichi, JP; Kawakita, Mika, Kariya-shi,  
Aichi, JP; Takayama, Yasushi, Kariya-city, Aichi,  
JP**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Elektrischer Widerstand, Wabenstruktur und elektrisch beheizte Katalysatorvorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Ein elektrischer Widerstand (1) umfasst eine Matrix (10) aus Borosilikat, die mindestens eine Art von Alkaligruppenatomen enthält, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Na, Mg, K, Ca, Li, Be, Rb, Sr, Cs, Ba, Fr und Ra. Der elektrische Widerstand (1) weist vorzugsweise einen elektrisch leitfähigen Füllstoff (11) auf. Eine Wabenstruktur (2) umfasst den elektrischen Widerstand (1). Eine elektrisch beheizte Katalysatorvorrichtung (3) umfasst die Wabenstruktur (2). Der elektrische Widerstand (1) weist vorzugsweise einen spezifischen elektrischen Widerstand in einem Bereich von  $0,0001$  bis  $1 \Omega \cdot m$  und eine elektrische Widerstandserhöhungsrage in einem Bereich von  $0,01 \times 10^{-6}$  bis  $5,0 \times 10^{-4} / K$  in einem Temperaturbereich von  $25^\circ C$  bis  $500^\circ C$  auf.



**Beschreibung**

## Querverweis auf zugehörige Anmeldungen

**[0001]** Diese Anmeldung stützt sich auf die am 30. Juni 2017 eingereichte japanische Patentanmeldung Nr. 2017-129229 und die am 19. Dezember 2017 eingereichte japanische Patentanmeldung Nr. 2017-243080, deren Beschreibungen hierin durch Verweis aufgenommen sind, und beansprucht den Vorteil von deren Prioritäten.

## Technisches Gebiet

**[0002]** Die vorliegende Offenbarung bezieht sich auf einen elektrischen Widerstand, eine Wabenstruktur und eine elektrisch beheizte Katalysatorvorrichtung.

## Stand der Technik

**[0003]** Herkömmlich wurden elektrische Widerstände in verschiedenen Bereichen zur elektrischen Beheizung eingesetzt. So sind beispielsweise im Fahrzeugbereich elektrisch beheizte Katalysatorvorrichtungen öffentlich bekannt, wenn Wabenstrukturen, die Katalysatoren tragen, aus elektrischen Widerständen aus SiC und dergleichen bestehen und die Wabenstrukturen durch elektrische Erwärmung erwärmt werden.

**[0004]** In der Zwischenzeit offenbart die vorangegangene Patentliteratur 1 eine elektrisch leitfähige Keramik, die durch Zugabe von Wasser zu einer Pulvermischung erhalten wird, die 20 bis 35 Gew.-% Metall-Si-Pulver, 5 bis 15 Gew.-% Quarzmehl, 20 bis 30 Gew.-% Borosilikatglas und 30 bis 40 Gew.-% Tonpulver umfasst, gefolgt von Kneten und Formen, und dann durch Wärmebehandlung bei einer Temperatur von 1.200 bis 1.300°C unter der Atmosphäre.

## Liste der Entgegenhaltungen

## Patentliteratur

**[0005]** [PTL 1] JP 2004-131302 A

## [Kurzfassung der Erfindung]

**[0006]** Damit der elektrische Widerstand durch elektrische Erwärmung effizient erwärmt werden kann, gibt es einen optimalen Wert der aktuellen Spannung in Bezug auf den spezifischen elektrischen Widerstand (bzw. der Resistivität) des elektrischen Widerstands. Wie durch SiC dargestellt, ist jedoch bei vielen elektrischen Widerständen die Temperaturabhängigkeit des spezifischen elektrischen Widerstands groß, und der optimale Wert der aktuellen Spannung ändert sich mit der Temperatur des elektrischen Widerstands. Daher ist ein elektrischer Widerstand mit einer geringen Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes erforderlich.

**[0007]** Wenn sich der elektrische spezifische Widerstand eines elektrischen Widerstandes mit der Temperatur stark ändert, z.B. in einem konstanten spannungsgesteuerten Stromkreis, wird der Schwankungsbereich eines durch den elektrischen Widerstand fließenden Stroms groß. So wird die elektrische Schaltung kompliziert, um dies zu vermeiden, und die Kosten für die elektrische Schaltung steigen. Bei einem elektrischen Widerstand, der eine NTC-Charakteristik aufweist, wie beispielsweise SiC, bei dem die Temperaturänderung des spezifischen elektrischen Widerstandes groß ist und der elektrische spezifische Widerstand mit steigender Temperatur abnimmt, fließt ein konzentrierter Strom während der elektrischen Erwärmung durch einen Abschnitt usw., bei dem der Abstand zwischen den Elektroden gering ist und lokal Wärme erzeugt. Daher neigt ein elektrischer Widerstand mit einer NTC-Charakteristik dazu, eine Temperaturverteilung zu erzeugen. Wenn eine Temperaturverteilung im elektrischen Widerstand erzeugt wird, entsteht im Inneren des elektrischen Widerstands eine thermische Ausdehnungsdifferenz, und der elektrische Widerstand ist anfällig für Risse. Weiterhin wird die Eigenschaft, dass der elektrische spezifische Widerstand mit steigender Temperatur zunimmt, als PTC-Charakteristik bezeichnet.

**[0008]** Die vorliegende Offenbarung beabsichtigt, einen elektrischen Widerstand bereitzustellen, bei dem die Temperaturabhängigkeit des elektrischen spezifischen Widerstandes gering ist und der elektrische Widerstand eine PTC-Charakteristik aufweist oder die Temperaturabhängigkeit des elektrischen spezifischen Widerstandes

des kaum vorhanden ist, eine Wabenstruktur unter Verwendung des elektrischen Widerstandes und eine elektrisch beheizte Katalysatorvorrichtung unter Verwendung der Wabenstruktur.

**[0009]** Eine Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ist ein elektrischer Widerstand, der eine Matrix aus Borosilikat mit mindestens einer Art von Alkaligruppenatomen umfasst, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Na, Mg, K, Ca, Li, Be, Rb, Sr, Cs, Ba, Fr und Ra.

**[0010]** Eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ist eine Wabenstruktur, die den elektrischen Widerstand umfasst.

**[0011]** Noch eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ist eine elektrisch beheizte Katalysatorvorrichtung mit der Wabenstruktur.

[Vorteilhafte Auswirkungen der Erfindung]

**[0012]** Der elektrische Widerstand umfasst eine Matrix aus Borosilikat, das mindestens eine Art von Alkali-gruppenatomen enthält, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Na, Mg, K, Ca, Li, Be, Rb, Sr, Cs, Ba, Fr und Ra.

**[0013]** Gemäß dem oben genannten elektrischen Widerstand ist der Bereich, der den elektrischen Widerstand während der elektrischen Erwärmung steuert, die Matrix, die ein Basismaterial ist. In der Matrix ist die Temperaturabhängigkeit des elektrischen spezifischen Widerstandes kleiner als die von SiC, und der elektrische spezifische Widerstand weist eine PTC-Charakteristik auf. Für den Fall, dass der elektrische spezifische Widerstand einer anderen Substanz, die sich von der Matrix unterscheidet, die in den elektrischen Widerstand einbezogen werden kann, eine PTC-Charakteristik aufweist, weist der spezifische elektrische Widerstand des elektrischen Widerstands eine geringe Temperaturabhängigkeit auf und kann eine PTC-Charakteristik aufweisen. Andererseits, wenn der elektrische spezifische Widerstand der anderen Substanz eine NTC-Charakteristik aufweist, kann der elektrische Widerstand des elektrischen Widerstandes so ausgelegt werden, dass die Temperaturabhängigkeit gering ist und eine PTC-Charakteristik aufweist, oder die Temperaturabhängigkeit ist kaum vorhanden, indem der elektrische spezifische Widerstand einer Matrix mit einer PTC-Charakteristik und der elektrische spezifische Widerstand der anderen Substanz mit einer NTC-Charakteristik addiert werden.

**[0014]** Daher, nach dem elektrischen Widerstand, durch die Annahme der Matrix, ein elektrischer Widerstand, bei dem die Temperaturabhängigkeit des elektrischen spezifischen Widerstandes klein ist und der elektrische spezifische Widerstand eine PTC-Charakteristik aufweist, oder die Temperaturabhängigkeit des elektrischen spezifischen Widerstandes ist kaum vorhanden.

**[0015]** Darüber hinaus kann der elektrische Widerstand, wie vorstehend beschrieben, so zusammengesetzt werden, dass der elektrische Widerstand keine NTC-Charakteristik aufweist und somit eine Stromkonzentration beim elektrischen Heizen vermieden werden kann. So ist es unwahrscheinlich, dass im elektrischen Widerstand eine Temperaturverteilung im Inneren entsteht und Risse aufgrund einer thermischen Ausdehnungsdifferenz auftreten. Weiterhin kann SiC durch elektrische Erwärmung mit einem kleinen Strom erwärmt werden, so dass Risse aufgrund einer thermischen Ausdehnungsdifferenz nicht auftreten, aber es braucht Zeit, um das SiC ausreichend zu erwärmen.

**[0016]** Darüber hinaus ist es im elektrischen Widerstand möglich, durch die Anpassung bzw. Übernahme der Matrix den elektrischen spezifischen Widerstand der Matrix zu reduzieren. So kann im Falle, dass der elektrische Widerstand eine andere Substanz enthält, z.B. durch Auswahl einer Substanz mit niedrigem elektrischen spezifischen Widerstand als die andere Substanz und Erhöhung ihres Gehalts, der elektrische spezifische Widerstand des elektrischen Widerstands leicht reduziert werden. Daher hat der elektrische Widerstand den Vorteil, dass er einen niedrigen elektrischen Widerstand haben und die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes klein machen kann, verglichen mit einem Widerstand, dessen gesamtes Volumen aus Matrix, SiC und dergleichen besteht.

**[0017]** Die Wabenstruktur umfasst den elektrischen Widerstand. So ist es unwahrscheinlich, dass in der Wabenstruktur beim elektrischen Erwärmen eine Temperaturverteilung im Inneren der Struktur entsteht und Risse aufgrund einer thermischen Ausdehnungsdifferenz auftreten. Da die Wabenstruktur den elektrischen Widerstand nutzt, ist es außerdem möglich, bei einer niedrigeren Temperatur und in einer frühen Phase der elektrischen Erwärmung zu erwärmen.

**[0018]** Die elektrisch beheizte Katalysatorvorrichtung weist die Wabenstruktur auf. So ist es unwahrscheinlich, dass die Wabenstruktur während der elektrischen Erwärmung reißt, und die Zuverlässigkeit der elektrisch beheizten Katalysatorvorrichtung kann verbessert werden. Da die elektrisch beheizte Katalysatorvorrichtung die Wabenstruktur nutzt, kann die Wabenstruktur zudem auf eine niedrigere Temperatur und in einer frühen Phase der elektrischen Erwärmung erwärmt werden, was für eine frühzeitige Katalysatoraktivierung von Vorteil ist.

**[0019]** Darüber hinaus zeigen die in den Ansprüchen rezierten Bezugszeichen in Klammern entsprechende Beziehungen zu den spezifischen Mitteln, wie sie in den später zu erwähnenden Ausführungsformen beschrieben sind, und schränken den technischen Umfang der vorliegenden Offenbarung nicht ein.

#### Figurenliste

**[0020]** Der vorgenannte Gegenstand und andere Gegenstände, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Offenbarung werden durch die folgende detaillierte Beschreibung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen verdeutlicht.

**[0021]** Die Zeichnungen sind wie folgt:

**Fig. 1** ist eine erklärende Ansicht, die schematisch eine Mikrostruktur eines elektrischen Widerstandes der Ausführungsform 1 darstellt.

**Fig. 2** ist eine erklärende Ansicht, die schematisch eine Mikrostruktur eines elektrischen Widerstandes der Ausführungsform 2 darstellt.

**Fig. 3** ist eine erklärende Ansicht, die schematisch eine Wabenstruktur der Ausführungsform 3 darstellt.

**Fig. 4** ist eine erklärende Ansicht, die schematisch eine elektrisch beheizte Katalysatorvorrichtung der Ausführungsform 4 darstellt.

**Fig. 5** ist ein Diagramm, das den Zusammenhang zwischen Temperatur und dem spezifischen elektrischen Widerstand von Probe 1 und Probe 2 im Experimentalbeispiel 1 zeigt.

**Fig. 6** ist ein Diagramm, das den Zusammenhang zwischen Temperatur und spezifischem elektrischem Widerstand von Probe 2 und Probe 1C im Experimentalbeispiel 1 zeigt.

**Fig. 7** ist ein Diagramm, das den Zusammenhang zwischen dem Additionsverhältnis von Natriumcarbonat und dem elektrischen spezifischen Widerstand von Proben im Versuchsbeispiel 2 zeigt.

**Fig. 8** zeigt (a) ein Atomabbildungsbild von Aluminium der Probe 2 und (b) ein optisches Mikroskopbild eines Umfangs eines Emissionsabschnitts im Experimentalbeispiel 3.

**Fig. 9** zeigt ein Atomabbildungsbild von Aluminium eines Umfangs eines Emissionsabschnitts der Probe 2 im Experimentalbeispiel 4.

**Fig. 10** zeigt die Ergebnisse der Zusammensetzungsanalyse durch SEM-EDX der Probe 2 im Experimentalbeispiel 5.

**Fig. 11** ist ein Diagramm, das den Zusammenhang zwischen Temperatur und elektrischem spezifischen Widerstand von Probe 6 und Probe 7 im Experimentalbeispiel 6 zeigt.

**Fig. 12** zeigt Atomabbildungsbilder von Querschnitten eines Materials der Probe 6 im Experimentalbeispiel 6.

**Fig. 13** zeigt Atomabbildungsbilder von Querschnitten eines Materials der Probe 7 im Experimentalbeispiel 6.

**Fig. 14** ist ein Linienprofil von Ca in Tiefenrichtung von der Oberfläche eines Materials der Probe 6 im Experimentalbeispiel 6.

**Fig. 15** ist ein Linienprofil von Ca in Tiefenrichtung von der Oberfläche eines Materials der Probe 7 im Experimentalbeispiel 6.

**Fig. 16** ist ein Diagramm, das den Zusammenhang zwischen Temperatur und elektrischem spezifischen Widerstand der Proben 8 und 9 (bei 1250°C kalzinierte Produkte) im Experimentierbeispiel 7 zeigt.

**Fig. 17** ist ein Diagramm, das den Zusammenhang zwischen Temperatur und elektrischem spezifischen Widerstand von Probe 10 zu Probe 12 (bei 1300°C kalzinierte Produkte) im Experimentierbeispiel 7 darstellt.

[Beschreibung der Ausführungsformen]

[Ausführungsform 1]

**[0022]** Ein elektrischer Widerstand der Ausführungsform 1 wird nun in **Fig. 1** beschrieben. Wie in **Fig. 1** dargestellt, weist ein elektrischer Widerstand **1** der vorliegenden Ausführungsform eine Matrix **10** auf. Die Matrix **10** ist ein Teil, der ein Basismaterial des elektrischen Widerstandes **1** darstellt. Weiterhin kann die Matrix **10** amorph oder kristallin sein.

**[0023]** Die Matrix **10** besteht aus Borosilikat, das mindestens eine Art von Alkaligruppenatomen enthält, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Na (Natrium), Mg (Magnesium), K (Kalium), Ca (Kalzium), Li (Lithium), Be (Beryllium), Rb (Rubidium), Sr (Strontium), Cs (Caesium), Ba (Barium), Fr (Francium) und Ra (Radium). Jede Art der Alkaligruppenatome kann im Borosilikat allein oder in beliebiger Kombination enthalten sein. Das heißt, das Borosilikat kann eine Art oder mehr als zwei Arten von Alkalimetallatomen, eine Art oder mehr als zwei Arten von Erdalkalimetallatomen oder eine Kombination davon enthalten. Aus der Perspektive, einen geringen elektrischen Widerstand der Matrix **10** und dergleichen leicht zu erreichen, kann das Borosilikat vorzugsweise mindestens eine Art von Alkaligruppenatomen enthalten, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Na, Mg, K und Ca. Vorzugsweise kann das Borosilikat mindestens Na, K oder sowohl Na als auch K enthalten.

**[0024]** Im Borosilikat kann der Gesamtgehalt an Alkaligruppenatomen **10** Massen-% oder weniger betragen. Gemäß dieser Zusammensetzung ist es einfach, den geringen elektrischen Widerstand der Matrix **10** zu unterstützen. Darüber hinaus ist es nach dieser Zusammensetzung möglich, sicherzustellen, dass die Matrix **10** eine geringere Temperaturabhängigkeit des elektrischen spezifischen Widerstandes als die von SiC aufweist und dass der elektrische spezifische Widerstand der Matrix eine PTC-Charakteristik aufweist. Weiterhin bedeutet der „Gesamtgehalt an Alkaligruppenatomen“ für den Fall, dass das Borosilikat eine Art von Alkaligruppenatomen enthält, die Massen-% der einen Art von Alkaligruppenatomen. Darüber hinaus bedeutet der „Gesamtgehalt an Alkaligruppenatomen“ für den Fall, dass das Borosilikat mehr als eine Art von Alkaligruppenatomen enthält, einen Gesamtgehalt (Massen-%), der sich aus der Addition der einzelnen Gehalte (Masse%) der einzelnen der mehr als einen Art von Alkaligruppenatomen (Massen-%) ergibt.

**[0025]** Aus der Perspektive der Unterdrückung von Formänderungen aufgrund der Abnahme des Erweichungspunktes der Matrix **10** und dergleichen kann der Gesamtgehalt an Alkaligruppenatomen vorzugsweise 8 Massen-% oder weniger, vorzugsweise 5 Massen-% oder weniger und noch bevorzugter 3 Massen-% oder weniger betragen. Darüber hinaus kann aus der Perspektive der Unterdrückung der Bildung eines Isolierglasfilms durch Trennung von Alkaligruppenatomen auf der Oberflächenseite des elektrischen Widerstandes **1** beim Kalzinieren in einer oxidierenden Atmosphäre und dergleichen der Gesamtgehalt an Alkaligruppenatomen noch bevorzugter 2 Massen-% oder weniger, noch bevorzugter 1,5 Massen-%, noch bevorzugter 1, 2 Massen-% und am meisten bevorzugter 1 Massen-% oder weniger betragen.

**[0026]** Insbesondere enthält das Borosilikat mindestens eine Art von Alkaligruppenatomen, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Na, Mg, K und Ca, und es kann eine Zusammensetzung aufweisen, bei der der Gesamtgehalt der Alkaligruppenatome 2 Massen-% oder weniger beträgt. Nach dieser Zusammensetzung wird die Bildung eines Isolierglasfilms durch die Elution und Segregation von Alkaligruppenatomen auf der Oberflächenseite des elektrischen Widerstandes **1** und seine Reaktion mit dem Sauerstoff unter der Atmosphäre beim Kalzinieren in einer das Sauerstoffgas enthaltenden Atmosphäre leicht unterdrückt, auch wenn ein Gassperrfilm gebildet wird, der das Sauerstoffgas blockiert. Darüber hinaus ist es bei der Verwendung des elektrischen Widerstandes **1** als Material für die elektrisch leitfähige Wabenstruktur nicht erforderlich, den Isolierglasfilm vor der Elektrodenbildung auf der Oberfläche der Wabenstruktur zu entfernen, und es besteht auch der Vorteil, die Herstellbarkeit der Wabenstruktur zu verbessern. Weiterhin kann aus der Perspektive der Unterdrückung der Bildung einer Isolierglasfolie und dergleichen der Gesamtgehalt der Alkaligruppenatome in diesem Fall vorzugsweise 1,5 Massen-% oder weniger, vorzugsweise 1,2 Massen-% oder weniger und noch bevorzugter 1 Massen-% oder weniger betragen.

**[0027]** Für den Fall, dass die Oxidation des elektrisch leitfähigen Füllstoffs **11** wie Si-Teilchen ein Problem darstellt, um die Oxidation des elektrisch leitfähigen Füllstoffs **11** durch ein Phänomen der Filmbildung auf der Oberfläche eines Materials bei Vorhandensein von Alkaligruppenatomen oder durch ein Phänomen von Alkaligruppenatomen, das die Umgebung des elektrisch leitfähigen Füllstoffs **11** umfasst, wie später zu beschreibende Si-Teilchen, zu unterdrücken, können jedoch absichtlich Alkaligruppenatome hinzugefügt werden. Daher ist es wichtig, dass der Gesamtgehalt der oben genannten Alkaligruppenatome in Abhängigkeit von den Belastungsbedingungen unter Verwendung des Verfahrens und dergleichen angemessen ausgewählt wird.

Alkaligruppenatome sind jedoch Elemente, die relativ leicht aus den Rohstoffen des elektrischen Widerstands **1** gemischt werden können. Daher ist es kosten- und zeitaufwendig, die Alkaligruppenatome vollständig aus den Rohstoffen zu entfernen, so dass das Borosilikat die Alkaligruppenatome nicht enthält. Daher kann der Gesamtgehalt der Alkaligruppenatome vorzugsweise 0,01 Massen-% oder mehr, vorzugsweise 0,05 Massen-% oder mehr, noch bevorzugter 0,1 Massen-% oder mehr und noch bevorzugter 0,2 Massen-% oder mehr betragen. Weiterhin wird es im elektrischen Widerstand **1** möglich, die Alkaligruppenatome zu reduzieren, indem man Borsäure als Rohstoff verwendet, aber kein Borosilikatglas mit Alkaligruppenatomen verwendet. Details sollen später in experimentellen Beispielen beschrieben werden.

**[0028]** Das Borosilikat kann 0,1 Massen-% oder mehr und 5 Massen-% oder weniger B(bor)-Atome enthalten. Nach dieser Zusammensetzung hat man den Vorteil, dass eine PTC-Charakteristik leicht erkennbar ist.

**[0029]** Um den geringen elektrischen Widerstand der Matrix **10** und dergleichen zu erleichtern, kann der Gehalt an B-Atomen vorzugsweise 0,2 Massen-% oder mehr, vorzugsweise 0,5 Massen-% oder mehr, noch bevorzugter 1 Massen-% oder mehr, noch bevorzugter 1,2 Massen-% oder mehr, noch weiter bevorzugt 1,5 Massen-% oder mehr, und aus der Perspektive, dass die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes gering ist, weist der elektrische Widerstand leicht eine PTC-Charakteristik und dergleichen auf, und zwar noch weiter bevorzugt mehr als 2 Massen-%. Darüber hinaus gibt es eine Begrenzung der Dotierungsmenge von B-Atomen in Silikat und, wenn die B-Atome nicht dotiert sind, sind die B-Atome im Material als B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, das ein Isolator ist, ungleichmäßig verteilt, was zu einer Abnahme der elektrischen Leitfähigkeit führt. Aus der Perspektive der Vermeidung dessen und dergleichen kann der Gehalt an B-Atomen vorzugsweise 4 Massen-% oder weniger, vorzugsweise 3,5 Massen-% oder weniger und noch bevorzugter 3 Massen-% oder weniger betragen.

**[0030]** Das Borosilikat kann 5 Massen-% oder mehr und 40 Massen-% oder weniger Si(Silizium)-Atome enthalten. Gemäß dieser Zusammensetzung weist der elektrische spezifische Widerstand bzw. die Resisitivität bzw. der elektrischer Widerstand des Borosilikats wahrscheinlich eine PTC-Charakteristik auf.

**[0031]** Aus der Perspektive der Erhöhung des Erweichungspunktes der Matrix und dergleichen, der die Ausübung der oben genannten Wirkung gewährleistet, kann der Gehalt an Si-Atomen vorzugsweise 7 Massen-% oder mehr, vorzugsweise 10 Massen-% oder mehr und noch bevorzugter 15 Massen-% oder mehr betragen. Darüber hinaus kann der Gehalt an Si-Atomen unter dem Gesichtspunkt der Sicherstellung der Ausübung der oben genannten Wirkung und dergleichen vorzugsweise 30 Massen-% oder weniger, vorzugsweise 26 Massen-% oder weniger und noch bevorzugter 24 Massen-% oder weniger betragen.

**[0032]** Das Borosilikat kann 40 Massen-% oder mehr und 85 Massen-% oder weniger O-Atome (Sauerstoff) enthalten. Nach dieser Zusammensetzung hat man den Vorteil, dass die PTC-Charakteristik tendenziell vorhanden ist.

**[0033]** Aus der Sicht der Sicherstellung der Ausübung der oben genannten Wirkung und dergleichen kann der Gehalt an O-Atomen vorzugsweise 45 Massen-% oder mehr, vorzugsweise 50 Massen-% oder mehr, noch bevorzugter 55 Massen-% oder mehr und noch bevorzugter 60 Massen-% oder mehr betragen. Darüber hinaus kann der Gehalt an O-Atomen unter dem Gesichtspunkt der Sicherstellung der Ausübung der oben genannten Wirkung und dergleichen vorzugsweise 82 Massen-% oder weniger, vorzugsweise 80 Massen-% oder weniger und noch bevorzugter 78 Massen-% oder weniger betragen.

**[0034]** Das Borosilikat kann insbesondere Aluminoborosilikat oder dergleichen sein. Nach dieser Zusammensetzung ist es möglich, die Belastung des elektrischen Widerstandes **1** sicherzustellen, wenn die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes gering ist und der elektrische Widerstand eine PTC-Charakteristik aufweist, oder die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes kaum vorhanden ist.

**[0035]** In dem Fall, dass das Borosilikat Aluminoborosilikat ist, kann das Aluminoborosilikat 0,5 Massen-% oder mehr und 10 Massen-% oder weniger Al-Atome enthalten. Aus der Perspektive der Sicherstellung der Ausübung der oben genannten Wirkung und dergleichen kann der Gehalt an Al(aluminium)atomen vorzugsweise 1 Massen-% oder mehr, vorzugsweise 2 Massen-% oder mehr und noch bevorzugter 3 Masse% oder mehr betragen. Darüber hinaus kann der Gehalt an Al-Atomen unter dem Gesichtspunkt der Sicherstellung der Ausübung der oben genannten Wirkung und dergleichen vorzugsweise 8 Massen-% oder weniger, vorzugsweise 6 Massen-% oder weniger und noch bevorzugter 5 Massen-% oder weniger betragen.

**[0036]** Weiterhin kann der Gehalt jedes der Atome im oben genannten Borosilikat aus dem oben genannten Bereich ausgewählt werden, so dass die Gesamtmenge **100** Massen-% beträgt. Darüber hinaus kann für den

Fall, dass das Borosilikat gleichzeitig alle Bereiche des Gesamtgehalts an Alkaligruppenatomen, des Gehalts an B-Atomen, des Gehalts an Si-Atomen, des Gehalts an O-Atomen und des Gehalts an Al-Atomen erfüllt, die Ausübung des elektrischen Widerstands **1** gewährleistet werden, wenn die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes gering ist und der elektrische Widerstand eine PTC-Charakteristik aufweist oder die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes kaum vorhanden ist. Darüber hinaus können Beispiele für Atome, die in dem Borosilikat enthalten sein können, das die Matrix **10** bildet, neben den oben genannten auch Fe, C und dergleichen beinhalten. Weiterhin werden unter den oben genannten Atomen die Gehalte der Alkaligruppenatome Si, O und Al mit einem Elektronensonden-Mikroanalysator (EPMA) gemessen. Unter den oben genannten Atomen wird der Gehalt an B mit einem induktiv gekoppelten Plasmaanalysator (ICP) gemessen. Gemäß der ICP-Analyse wird jedoch der Gehalt an B im gesamten elektrischen Widerstand **1** gemessen und damit das erhaltene Messergebnis in den Gehalt an B im Borosilikat umgewandelt.

**[0037]** Der elektrische Widerstand **1** darf nur die Matrix **10** aufweisen oder eine Art oder zwei oder mehrere Arten von anderen Substanzen neben der Matrix **10**. Beispiele für die anderen Substanzen können unter anderem ein Füllstoff, ein Material, das den Wärmeausdehnungskoeffizienten reduziert, ein Material, das die Wärmeleitfähigkeit erhöht, und ein Material, das die Festigkeit verbessert, sein.

**[0038]** In der vorliegenden Ausführungsform umfasst der elektrische Widerstand **1** ferner einen elektrisch leitfähigen Füllstoff **11**, wie in **Fig. 1** dargestellt. Gemäß dieser Zusammensetzung werden durch Compoundieren der Matrix **10** und des elektrisch leitenden Füllstoffs **11** der elektrische Widerstand der Matrix **10** und der elektrische Widerstand des elektrisch leitenden Füllstoffs **11** addiert und der elektrische Widerstand des gesamten elektrischen Widerstands **1** bestimmt. Somit ist es gemäß dieser Zusammensetzung möglich, den elektrischen Widerstand des elektrischen Widerstandes **1** durch Einstellen der elektrischen Leitfähigkeit des elektrisch leitenden Füllstoffs **11** und des Inhalts des elektrisch leitenden Füllstoffs **11** zu steuern. Weiterhin kann der elektrische Widerstand des elektrisch leitfähigen Füllstoffs **11** entweder die PTC-Charakteristik oder die NTC-Charakteristik aufweisen, und die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes kann nicht vorhanden sein. Darüber hinaus kann der elektrische Widerstand **1**, wie in **Fig. 1** dargestellt, eine Mikrostruktur einer Meeresinselstruktur aufweisen, wobei die Matrix **10** ein seeförmiger Abschnitt und der elektrisch leitende Füllstoff **11** ein inselartiger Abschnitt ist.

**[0039]** Insbesondere kann der elektrisch leitende Füllstoff **11** Si-Atome enthalten. Gemäß dieser Zusammensetzung werden beim Sintern eines borosilikathaltigen Rohmaterials und des elektrisch leitfähigen Füllstoffs **11** zur Herstellung des elektrischen Widerstandes **1** die Si-Atome des elektrisch leitfähigen Füllstoffs **11** in das Borosilikat diffundiert und die Siliziumanreicherung des Borosilikats gefördert und der Erweichungspunkt der Matrix **10** kann verbessert werden. So ist es nach dieser Zusammensetzung möglich, die Formbeständigkeit des elektrischen Widerstandes **1** zu verbessern, und der elektrische Widerstand **1**, der als Material für die Struktur nützlich ist, kann erhalten werden. Insbesondere ist eine Wabenstruktur eine Struktur mit dünnen Zellwänden. Daher ist der elektrische Widerstand **1** mit der oben genannten Zusammensetzung als Material für eine elektrisch leitfähige Wabenstruktur mit hoher struktureller Zuverlässigkeit geeignet.

**[0040]** Als elektrisch leitfähiger Füllstoff **11** mit Si-Atomen sind diejenigen vorzuziehen, die Si-Atome leicht in Borosilikat diffundieren, und Beispiele dafür sind Si-Partikel, Fe-Si-basierte Partikel, Si-W-basierte Partikel, Si-C-basierte Partikel, Si-Mo-basierte Partikel, Si-Mo-basierte Partikel und Si-Ti-basierte Partikel. Diese Partikel können einzeln oder in Kombination mit zwei oder mehr Arten verwendet werden.

**[0041]** In dem Fall, in dem der elektrische Widerstand die Matrix **10** und den elektrisch leitenden Füllstoff **11** aufweist, kann der elektrische Widerstand **1** insbesondere aus einer Zusammensetzung bestehen, die insgesamt 50 Vol% oder mehr der Matrix **10** und des elektrisch leitenden Füllstoffs **11** enthält. Da der elektrische Widerstand **1** die Matrix **10** aus dem oben genannten Borosilikat verwendet, wird der elektrische Widerstand der Matrix **10** geringer und die Matrix **10** kann auch Elektronen übertragen. Gemäß der oben genannten Zusammensetzung, die zwar von der Form des elektrischen Widerstands **1** abhängt, kann die elektrische Leitfähigkeit des elektrischen Widerstands **1** durch eine öffentlich bekannte Perkolationstheorie sichergestellt werden. Aus Sicht der Elektroleitfähigkeit durch Bildung von Perkolation und dergleichen beträgt der Gesamtgehalt der Matrix **10** und des elektrisch leitfähigen Füllstoffs **11** vorzugsweise 52 Vol% oder mehr, vorzugsweise 55 Vol% oder mehr, noch bevorzugter 57 Vol% oder mehr und noch bevorzugter 60 Vol% oder mehr. Weiterhin fließen Elektronen, wenn der elektrische Widerstand **1** die Matrix **10** und den elektrisch leitenden Füllstoff **11** aufweist, während sie sich durch den elektrisch leitenden Füllstoff **11** und die Matrix **10** ausbreiten. Weiterhin wird angenommen, dass der elektrische Widerstand **1** die PTC-Charakteristik aufweist, weil Elektronen, die sich durch den elektrischen Widerstand **1** bewegen, von Gittervibrationen beeinflusst werden. Insbesondere wird geschätzt, dass große Polaronen, die in einer Substanz von  $\text{Na}_2\text{WO}_3$  und dergleichen berichtet werden,

auch im elektrischen Widerstand **1** erzeugt werden. Es wird geschätzt, dass durch das Ersetzen der Position eines vierwertigen Siliziumatoms durch ein dreiwertiges Bor das Skelett des Atoms negativ geladen wird, die Elektronen des Alkalimetalls einem Einschlusseffekt ausgesetzt werden und große Polaronen erzeugt werden.

**[0042]** Der elektrische Widerstand **1** kann eine Zusammensetzung aufweisen, bei der ein Glasfilm mit Alkaligruppenatomen kaum auf der Oberfläche gebildet wird. Nach dieser Zusammensetzung ist es bei Verwendung des elektrischen Widerstandes **1** als Material für eine elektrisch leitfähige Wabenstruktur nicht erforderlich, den Isolierglasfilm vor der Elektrodenbildung auf der Oberfläche der Wabenstruktur zu entfernen, und die Herstellbarkeit der Wabenstruktur kann mit Sicherheit verbessert werden. Hier hat „ein Glasfilm mit Alkaligruppenatomen wird an der Oberfläche kaum gebildet“ folgende Bedeutung. Selbst wenn auf der Oberfläche des elektrischen Widerstandes **1** eine Glasschicht leicht gebildet wird, kann man sagen, dass die Glasschicht auf der Oberfläche des elektrischen Widerstandes **1** kaum auf der Oberfläche gebildet wird, wenn es kein Problem gibt, den elektrischen Widerstand **1** durch elektrische Erwärmung zu erwärmen, ohne die Glasschicht zu entfernen, wenn man Elektroden auf der Oberfläche des elektrischen Widerstandes **1** bildet.

**[0043]** Der elektrische Widerstand **1** kann eine Zusammensetzung aufweisen, bei der in einem Temperaturbereich von 25°C bis 500°C der elektrische Widerstand in einem Bereich von 0,0001  $\Omega\cdot\text{m}$  oder mehr und 1  $\Omega\cdot\text{m}$  oder weniger liegt und die Erhöhung des elektrischen Widerstands in einem Bereich von  $0,01 \times 10^{-6} / \text{K}$  oder mehr und  $5,0 \times 10^{-4} / \text{K}$  oder weniger liegt. Darüber hinaus kann der elektrische Widerstand **1** eine Zusammensetzung aufweisen, bei der in einem Temperaturbereich von 25°C bis 500°C der elektrische Widerstand in einem Bereich von 0,0001  $\Omega\cdot\text{m}$  oder mehr und 1  $\Omega\cdot\text{m}$  oder weniger liegt und die elektrische Widerstandserhöhungsrates in einem Bereich von 0 oder mehr und weniger als  $0,01 \times 10^{-6} / \text{K}$  liegt. Nach diesen Konfigurationen ist es unwahrscheinlich, dass während der elektrischen Erwärmung eine Temperaturverteilung im Innenraum erzeugt wird, und es ist möglich, die Belastung des elektrischen Widerstands **1** sicherzustellen, wenn Risse aufgrund einer Wärmeausdehnungsdifferenz unwahrscheinlich sind. Darüber hinaus kann der elektrische Widerstand **1** gemäß den oben genannten Konfigurationen auf eine niedrigere Temperatur und in einer frühen Phase der elektrischen Erwärmung erwärmt werden, und ist daher als Material für eine Wabenstruktur nützlich, die in einer frühen Phase für eine frühe Katalysatoraktivierung erwärmt werden muss. Hier, für den Fall, dass die elektrische Widerstandserhöhung in einem Bereich von 0 oder mehr und weniger als  $0,01 \times 10^{-6} / \text{K}$  liegt, kann davon ausgegangen werden, dass die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes kaum vorhanden ist.

**[0044]** Obwohl er je nach den erforderlichen Spezifikationen eines Systems mit dem elektrischen Widerstand **1** unterschiedlich sein kann, kann der elektrische Widerstand des elektrischen Widerstandes **1** unter dem Gesichtspunkt der Verringerung des elektrischen Widerstands des elektrischen Widerstandes **1** beispielsweise vorzugsweise 0,5  $\Omega\cdot\text{m}$  oder weniger, bevorzugter 0,3  $\Omega\cdot\text{m}$  oder weniger, sogar noch bevorzugter 0,1  $\Omega\cdot\text{m}$  oder weniger, weiter noch bevorzugter 0,05  $\Omega\cdot\text{m}$  oder weniger, zudem noch bevorzugter 0,01  $\Omega\cdot\text{m}$  oder weniger, noch bevorzugter weniger als 0,01  $\Omega\cdot\text{m}$  und am meisten bevorzugt 0,005  $\Omega\cdot\text{m}$  oder weniger sein. Aus der Perspektive der zunehmenden Wärmeentwicklung bei elektrischer Erwärmung und dergleichen kann der elektrische Widerstand des elektrischen Widerstandes **1** vorzugsweise 0,0002  $\Omega\cdot\text{m}$  oder mehr, vorzugsweise 0,0005  $\Omega\cdot\text{m}$  oder mehr und noch bevorzugter 0,001  $\Omega\cdot\text{m}$  oder mehr betragen. Gemäß dieser Zusammensetzung kann der elektrische Widerstand **1**, der für ein Material der für die elektrisch beheizte Katalysatorvorrichtung verwendeten Wabenstruktur vorzuziehen ist, erhalten werden.

**[0045]** Aus der Sicht der Erleichterung der Unterdrückung einer durch elektrische Erwärmung verursachten Temperaturverteilung kann die elektrische Widerstandserhöhungsrates des elektrischen Widerstands **1** vorzugsweise  $0,001 \times 10^{-6} / \text{K}$  oder mehr, vorzugsweise  $0,01 \times 10^{-6} / \text{K}$  oder mehr und noch bevorzugter  $0,1 \times 10^{-6} / \text{K}$  oder mehr betragen. Aus der Perspektive, dass es einen optimalen elektrischen Widerstandswert für die elektrische Erwärmung in einem Stromkreis gibt, ist es ideal, dass sich die elektrische Widerstandserhöhung des elektrischen Widerstandes **1** nicht ändert. Aus dieser Perspektive kann die elektrische Widerstandserhöhungsrates des elektrischen Widerstandes **1** vorzugsweise  $100 \times 10^{-6} / \text{K}$  oder weniger, vorzugsweise  $10 \times 10^{-6} / \text{K}$  oder weniger und noch bevorzugter  $1 \times 10^{-6} / \text{K}$  oder weniger betragen.

**[0046]** Weiterhin ist der elektrische Widerstand des elektrischen Widerstandes **1** ein Mittelwert aus den nach dem Vierpolverfahren gemessenen Messwerten ( $n = 3$ ). Darüber hinaus kann die elektrische Widerstandserhöhungsrates des elektrischen Widerstandes **1** nach dem folgenden Berechnungsverfahren nach der Messung des elektrischen Widerstands des elektrischen Widerstandes **1** nach dem oben genannten Verfahren berechnet werden. Zuerst werden die elektrischen Widerstände an drei Punkten von 50°C, 200°C und 400°C gemessen. Der Wert, der sich aus der Subtraktion des elektrischen Widerstands bei 50°C vom elektrischen Wider-

stand bei 400°C ergibt, wird durch eine Temperaturdifferenz von 350°C zwischen 400°C und 50°C dividiert, um die Erhöhung des elektrischen Widerstands zu berechnen.

**[0047]** Der elektrische Widerstand **1** kann z.B. wie folgt hergestellt werden, ist aber nicht darauf beschränkt.

**[0048]** Borsäure, ein Material mit Si-Atomen und Kaolin werden gemischt. Alternativ können Borosilikate mit Alkaligruppenatomen, Material mit Si-Atomen und Kaolin gemischt werden. Weiterhin kann die Form des Borosilikats eine Faserform, Partikelform und dergleichen sein. Aus der Sicht der Verbesserung der Extrusionsfähigkeit des Gemisches und dergleichen ist die Form des Borosilikats vorzugsweise faserförmig. Beispiele für das Si-Atome enthaltende Material sind unter anderem ein elektrisch leitfähiger Füllstoff mit Si-Atomen, wie vorstehend erwähnt. In der obigen Beschreibung kann bei Verwendung von Borsäure das Massenverhältnis der Borsäure beispielsweise 4 oder mehr und 8 oder weniger betragen. Wenn das Massenverhältnis von Borsäure innerhalb des oben genannten Bereichs liegt, ist es einfach, den elektrischen Widerstand **1** mit einer geringen Temperaturabhängigkeit vom elektrischen Widerstand zu erhalten. Darüber hinaus wird es leicht, den Borgehalt im Borosilikat zu erhöhen, indem man die später zu beschreibende Kalzinierungstemperatur erhöht. Darüber hinaus ist es mit zunehmender Bordotierung des Silikats von Vorteil, den elektrischen Widerstand des elektrischen Widerstandes **1** zu senken.

**[0049]** Anschließend werden dem Gemisch ein Bindemittel und Wasser zugegeben. Beispiele für das Bindemittel sind unter anderem ein organisches Bindemittel wie Methylcellulose. Darüber hinaus kann der Gehalt des Bindemittels beispielsweise in der Größenordnung von 2 Massen-% liegen.

**[0050]** Anschließend wird die erhaltene Mischung in eine vorgegebene Form gebracht.

**[0051]** Anschließend wird der erhaltene Formkörper kalziniert. Insbesondere können die Kalzinierungsbedingungen beispielsweise auf eine Kalzinierungstemperatur von 1150°C bis 1350°C, eine Kalzinierungszeit von 0, 1 bis 50 Stunden unter Schutzgasatmosphäre oder eine Luftatmosphäre bei Atmosphärendruck oder niedriger eingestellt werden. Weiterhin kann die Kalzinieratmosphäre beispielsweise eine Schutzgasatmosphäre sein, und der Kalzinierdruck kann ein Normaldruck sein. Um einen niedrigen elektrischen Widerstand des elektrischen Widerstandes **1** zu erreichen, ist es unter dem Gesichtspunkt der Vermeidung von Oxidation und bei der Durchführung von Kalzinationen vorzuziehen, das Restsauerstoffgas zu reduzieren und Inertgas zu spülen, nachdem die innere Atmosphäre während der Kalzinierung auf einen Hochvakuumzustand von  $1,0 \times 10^{-4}$  Pa oder mehr eingestellt ist. Beispiele für die Schutzgasatmosphäre sind unter anderem eine Stickstoffgasatmosphäre, eine Heliumgasatmosphäre und eine Argongasatmosphäre. Darüber hinaus kann der Formkörper vor der oben genannten Kalzinierung je nach Bedarf auch temporär kalziniert werden. Insbesondere können die Bedingungen für das temporäre Kalzinieren eine temporäre Kalzinierungstemperatur von 500°C bis 700°C und eine temporäre Kalzinierungszeit von 1 bis 50 Stunden unter einer Luftatmosphäre oder einer Schutzgasatmosphäre beinhalten. Gemäß der oben genannten Beschreibung kann der elektrische Widerstand **1** bezogen werden.

**[0052]** Gemäß dem elektrischen Widerstand **1** der vorliegenden Ausführungsform ist es möglich, den elektrischen Widerstand **1** dort zu realisieren, wo die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes gering ist und der elektrische Widerstand eine PTC-Charakteristik aufweist, oder die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes kaum vorhanden ist. Darüber hinaus kann der elektrische Widerstand **1** der vorliegenden Ausführungsform so zusammengesetzt sein, dass der elektrische Widerstand keine NTC-Charakteristik wird und somit eine Stromkonzentration beim elektrischen Erwärmen vermieden werden kann. So ist es unwahrscheinlich, dass im elektrischen Widerstand **1** der vorliegenden Ausführungsform eine Temperaturverteilung im Inneren erzeugt wird und Risse aufgrund einer thermischen Ausdehnungsdifferenz auftreten. Darüber hinaus hat der elektrische Widerstand **1** der vorliegenden Ausführungsform den Vorteil, einen niedrigen elektrischen Widerstand und die geringere Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes gegenüber einem Widerstand zu haben, dessen gesamtes Volumen aus der oben genannten Matrix **10**, SiC und dergleichen besteht.

[Ausführungsform 2]

**[0053]** Ein elektrischer Widerstand der Ausführungsform 2 ist mit Bezug auf **Fig. 2** zu beschreiben. Darüber hinaus stellen unter den in Ausführungsform 2 und höher verwendeten Bezugszeichen die gleichen Bezugszeichen wie die in der bereits oben beschriebenen Ausführungsform die gleichen Komponenten dar wie in der bereits oben beschriebenen Ausführungsform, sofern nicht anders angegeben.

**[0054]** Wie in **Fig. 2** dargestellt, unterscheidet sich ein elektrischer Widerstand **1** der vorliegenden Ausführungsform von dem der Ausführungsform 1 dadurch, dass der elektrische Widerstand **1** der vorliegenden Ausführungsform im Gegensatz zu dem der Ausführungsform 1 neben einer Matrix **10** eine weitere Substanz enthält und dass die „andere Substanz“ ein nicht elektrisch leitender Füllstoff **12** ist. Gemäß dieser Zusammensetzung werden durch Zusammensetzen der Matrix **10** und des nicht elektrisch leitfähigen Füllstoffs **12** der elektrische Widerstand der Matrix **10** und der elektrische Widerstand des nicht elektrisch leitfähigen Füllstoffs **12** addiert und der elektrische Widerstand des gesamten elektrischen Widerstands **1** bestimmt. Somit kann gemäß dieser Zusammensetzung der elektrische Widerstand des elektrischen Widerstandes **1** durch Einstellen des Inhalts des nicht elektrisch leitenden Füllstoffs **12** und dergleichen gesteuert werden.

**[0055]** Insbesondere der nicht elektrisch leitfähige Füllstoff **12** enthält vorzugsweise Si-Atome. Gemäß dieser Zusammensetzung werden beim Sintern eines borosilikathaltigen Rohmaterials und des nicht elektrisch leitfähigen Füllstoffs **12** zur Herstellung des elektrischen Widerstands **1** die Si-Atome des nicht elektrisch leitfähigen Füllstoffs **12** in das Borosilikat diffundiert und die Siliziumanreicherung des Borosilikats gefördert und der Erweichungspunkt der Matrix **10** kann verbessert werden. Daher ist es nach dieser Zusammensetzung möglich, die Formbeständigkeit des elektrischen Widerstands **1** zu verbessern, und der elektrische Widerstand **1**, der als Material für die Struktur nützlich ist, kann erhalten werden.

**[0056]** Der nicht elektrisch leitfähige Füllstoff **12** mit Si-Atomen ist nicht besonders begrenzt, solange Si-Atome in das Borosilikat diffundiert werden können, und Beispiele hierfür sind unter anderem  $\text{SiO}_2$ -Partikel und  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -Partikel. Diese Partikel können einzeln oder in Kombination mit zwei oder mehr Arten verwendet werden. Darüber hinaus kann der elektrische Widerstand **1** spezifisch aus einer Zusammensetzung bestehen, die insgesamt 50 Vol% oder mehr der Matrix **10** und des nicht elektrisch leitfähigen Füllstoffs **12** enthält.

**[0057]** Andere Zusammensetzungen und funktionelle Effekte sind im Wesentlichen die gleichen wie bei der Ausführungsform 1.

[Ausführungsform 3]

**[0058]** Eine Wabenstruktur der Ausführungsform 3 wird mit Bezug auf **Fig. 3** beschrieben. Wie in **Fig. 3** dargestellt, umfasst eine Wabenstruktur **2** der vorliegenden Ausführungsform den elektrischen Widerstand **1** der Ausführungsform 1. In der vorliegenden Ausführungsform besteht die Wabenstruktur **2** insbesondere aus dem elektrischen Widerstand **1** der Ausführungsform 1. Insbesondere veranschaulicht **Fig. 3** in einer Wabenquerschnittsansicht senkrecht zur Mittelachse der Wabenstruktur **2** eine Struktur mit einer Vielzahl von aneinander angrenzenden Zellen **20**, Zellwänden **21**, die die Zellen **20** bilden, und einer äußeren Umfangswand **22**, die im äußeren Umfangsabschnitt der Zellwände **21** vorgesehen ist und die Zellwände **21** in einem Stück hält. Weiterhin kann auf die Wabenstruktur **1** eine öffentlich bekannte Struktur aufgebracht werden, die sich nicht auf die Struktur von **Fig. 3** beschränkt. Obwohl **Fig. 3** ein Beispiel zeigt, bei dem jede Zelle **20** einen quadratischen Querschnitt hat, kann die Zelle **20** einen hexagonalen Querschnitt aufweisen.

**[0059]** Die Wabenstruktur **2** der vorliegenden Ausführungsform umfasst den elektrischen Widerstand **1** der vorliegenden Ausführungsform. Daher ist es unwahrscheinlich, dass in der Wabenstruktur **2** der vorliegenden Ausführungsform während der elektrischen Erwärmung eine Temperaturverteilung im Inneren der Struktur erzeugt wird und Risse aufgrund einer thermischen Ausdehnungsdifferenz unwahrscheinlich sind. Darüber hinaus nutzt die Wabenstruktur **2** der vorliegenden Ausführungsform den elektrischen Widerstand **1** der vorliegenden Ausführungsform und kann daher bei einer niedrigeren Temperatur und in einer frühen Phase der elektrischen Erwärmung erwärmt werden.

[Ausführungsform 4]

**[0060]** Eine elektrisch beheizte Katalysatorvorrichtung der Ausführungsform 4 wird unter Bezugnahme auf **Fig. 4** dargestellt. Wie in **Fig. 4** dargestellt, umfasst eine elektrisch beheizte Katalysatorvorrichtung **3** der vorliegenden Ausführungsform die Wabenstruktur **2** der Ausführungsform 3. In der vorliegenden Ausführungsform umfasst die elektrisch beheizte Katalysatorvorrichtung **3** insbesondere die Wabenstruktur **2**, einen in den Zellwänden **21** der Wabenstruktur **2** getragenen Dreiwegekatalysator (in der Abbildung nicht dargestellt), ein in der Außenumfangswand **22** der Wabenstruktur **2** einander zugewandt angeordnetes Elektrodenpaar **31** und **32** und eine Spannungsanlegungseinheit **33**, die die Elektroden **31** und **32** mit Spannung versorgt. Weiterhin kann eine öffentlich bekannte Struktur auf die elektrisch beheizte Katalysatorvorrichtung **3** aufgebracht werden, und die Struktur ist nicht auf die von **Fig. 4** beschränkt.

**[0061]** Die elektrisch beheizte Katalysatorvorrichtung **3** der vorliegenden Ausführungsform weist die Wabenstruktur **2** der vorliegenden Ausführungsform auf. Daher ist es in der elektrisch beheizten Katalysatorvorrichtung **3** der vorliegenden Ausführungsform unwahrscheinlich, dass die Wabenstruktur **2** während der elektrischen Erwärmung bricht, und ihre Zuverlässigkeit kann verbessert werden. Darüber hinaus verwendet die elektrisch beheizte Katalysatorvorrichtung **3** der vorliegenden Ausführungsform die Wabenstruktur **2** der vorliegenden Ausführungsform, so dass die oben genannte Wabenstruktur **2** bei einer niedrigeren Temperatur und in einer frühen Phase der elektrischen Erwärmung erwärmt werden kann und für eine frühzeitige Katalysatoraktivierung vorteilhaft ist.

[Experimentelle Beispiele]

[Experimentelles Beispiel 1]

[Probe 1]

**[0062]** Borosilikatglaspartikel, die Na, Mg, K und Ca enthalten, und Si-Partikel wurden in einem Massenverhältnis von 48:52 gemischt. Anschließend wurden der Mischung 2 Massen-% Methylcellulose als Bindemittel zugesetzt, Wasser hinzugefügt und die Mischung geknetet. Anschließend wurde die erhaltene Mischung mit einer Extrusionsformmaschine zu Pellets geformt und die Pellets einer Primärkalzinierung unterzogen. Die Bedingungen für die Primärkalzinierung waren wie folgt: eine Kalzinierungstemperatur von 700°C, eine Temperaturanstiegsrate von 100°C/Stunde, eine Haltezeit von 1 Stunde unter Luftatmosphäre und Normaldruck. Anschließend wurde der kalzinierte Körper, der einer Primärkalzinierung unterzogen wurde, einer Sekundärkalzinierung unterzogen. Die Bedingungen für das sekundäre Kalzinieren waren wie folgt: eine Kalzinierungstemperatur von 1300°C, eine Kalzinierungszeit von 30 Minuten, eine Temperaturanstiegsrate von 200°C/Stunde unter N<sub>2</sub>-Gasatmosphäre und Normaldruck. Als Ergebnis wurde die Probe **1** mit einer Form von 5 mm × 5 mm × 18 mm erhalten. Gemäß einer EPMA-Messung enthielt die Matrix in Probe **1** insgesamt 2,9 Massen-% Alkaligruppenatome (Na, Mg, K und Ca), 24,7 Massen-% Si, 69,5 Massen-% O und 1,1 Massen-% Al. Darüber hinaus enthielt die Matrix in Probe **1** nach einer ICP-Messung 0,8 Massen-% B. Für den EPMA-Analysator wurde „JXA-8500F“ der Firma JEOL Ltd. verwendet. Darüber hinaus wurde wie beim ICP-Analysator „SPS-3520UV“ der Hitachi High-Tech Science Corporation verwendet. Gleiches gilt im Folgenden.

[Probe 2]

**[0063]** Die Probe **2** wurde auf die gleiche Weise erhalten wie die Vorbereitung der Probe **1**, mit der Ausnahme, dass Borosilikatglaspartikel, Si-Partikel und Kaolin in einem Massenverhältnis von 29:31:40 gemischt wurden. Weiterhin enthielt eine Matrix in Probe **2** gemäß der EPMA-Messung insgesamt 2,4 Massen-% Alkaligruppenatome (Na, Mg, K und Ca), 22,7 Massen-% Si, 68,1 Massen-% O und 5,4 Massen-% Al. Darüber hinaus enthielt die Matrix in Probe **2** gemäß der ICP-Messung 0,6 Massen-% B.

(Probe 1C)

**[0064]** SiC wurde als Probe **1C** bestimmt.

**[0065]** Der elektrische Widerstand wurde für jede der erhaltenen Proben gemessen. Weiterhin wurde der elektrische Widerstand für eine 5 mm × 5 mm × 18 mm Prismenprobe nach dem Vierpolverfahren mit einem thermoelektrischen Eigenschaftsauswertegerät („ZEM-2“ von ULVAC-RIKO INC.) gemessen. Wie in **Fig. 5** und **Fig. 6** dargestellt, kann man verstehen, dass jede der Proben **1** und **2** eine wesentlich geringere Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes im Vergleich zu dem von SiC der Probe **1C** aufweist und dass der elektrische Widerstand eine PTC-Charakteristik aufweist. Darüber hinaus kann auch verstanden werden, dass jeder der Proben **1** und **2** einen kleineren elektrischen Widerstand im gemessenen Temperaturbereich aufweist als der von SiC der Probe **1C**. Darüber hinaus kann nach Probe **1** auch verstanden werden, dass der elektrische Widerstand ohne Kaolin eine PTC-Charakteristik aufweist. Weiterhin kann verstanden werden, dass jedes von Probe **1** und Probe **2** einen elektrischen Widerstand in einem Bereich von 0,0001 Ω-m oder mehr und 1 Ω-m oder weniger und eine elektrische Widerstandserhöhungsrate in einem Bereich von  $0,01 \times 10^{-6} / \text{K}$  oder mehr und  $5,0 \times 10^{-4} / \text{K}$  oder weniger in einem Temperaturbereich von 25°C bis 500°C aufweist.

## [Experimentelles Beispiel 2]

## [Probe 3]

**[0066]** Borosilikatglaspartikel, die Na, Mg, K und Ca enthalten, Si-Partikel und Kaolin wurden in einem Massenverhältnis von 29:31:40 gemischt. Anschließend wurden dieser Mischung 0,4 Massen-% Natriumcarbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) und 2 Massen-% Methylcellulose als Bindemittel zugesetzt, Wasser hinzugefügt und die Mischung geknetet. Anschließend wurde die erhaltene Mischung mit einer Extrusionsformmaschine zu Pellets geformt und die Pellets kalziniert. Die Kalzinierungsbedingungen waren wie folgt: eine Kalzinierungstemperatur von  $1300^\circ\text{C}$ , eine Kalzinierungszeit von 30 Minuten, eine Temperaturanstiegsrate von  $200^\circ\text{C}/\text{Stunde}$  unter Argon-gasatmosphäre und Atmosphärendruck. Als Ergebnis wurde die Probe **3** mit einer Form von  $5\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 18\text{ mm}$  erhalten. Gemäß der EPMA-Messung enthielt eine Matrix in Probe **3** insgesamt 3,1 Massen-% Alkaligruppenatome (Na, Mg, K und Ca), 22,3 Massen-% Si, 67,7 Massen-% O und 5,3 Massen-% Al. Darüber hinaus enthielt die Matrix in Probe **3** gemäß der ICP-Messung 0,6 Massen-% B.

## [Probe 4]

**[0067]** Die Probe **4** wurde auf die gleiche Weise erhalten wie die Vorbereitung der Probe **3**, mit der Ausnahme, dass die zugesetzte Menge an Natriumcarbonat 0,8 Massen-% betrug. Gemäß der EPMA-Messung enthielt eine Matrix in Probe **4** insgesamt 3,5 Massen-% Alkaligruppenatome (Na, Mg, K und Ca), 22,4 Massen-% Si, 66,7 Massen-% O und 5,5 Massen-% Al. Darüber hinaus enthielt eine Matrix in Probe **4** gemäß der ICP-Messung 0,6 Massen-% B.

## [Probe 5]

**[0068]** Die Probe **5** wurde auf die gleiche Weise erhalten wie die Vorbereitung der Probe **3**, nur dass Natriumcarbonat nicht zugesetzt wurde. Gemäß der EPMA-Messung enthielt eine Matrix in der Probe **5** insgesamt 2,4 Massen-% Alkaligruppenatome (Na, Mg, K und Ca), 22,7 Massen-% Si, 68,1 Massen-% O und 5,7 Massen-% Al. Darüber hinaus enthielt eine Matrix in Probe **5** gemäß der ICP-Messung 0,6 Massen-% B.

**[0069]** Der elektrische Widerstand jeder der erhaltenen Proben bei Raumtemperatur wurde gemessen. Wie in **Fig. 7** dargestellt, wurde der elektrische Widerstand jeder der Proben durch Zugabe einer Verbindung, die Alkaligruppenatome enthält, wie beispielsweise Natriumcarbonat, reduziert. Der Grund dafür, dass der elektrische Widerstand jeder Probe durch Zugabe einer Verbindung mit Alkaligruppenatomen reduziert wurde, liegt darin, dass die Oxidation von Si-Partikeln unterdrückt wurde. Weiterhin wurde bestätigt, dass der Gesamtgehalt an Alkaligruppenatomen in Probe **3** und Probe **4**, in denen Natriumcarbonat zugesetzt wurde, im Vergleich zu Probe **5**, in der Natriumcarbonat nicht zugesetzt wurde, gestiegen ist. Denn in dem als Rohstoff verwendeten Borosilikatglas wurden Na-Atome durch Zugabe von Natriumcarbonat dotiert und der Gesamtgehalt an Alkaligruppenatomen erhöht.

## [Experimentelles Beispiel 3]

**[0070]** Unter Verwendung der oben genannten Probe **2** wurde ein Experiment zum Spezifizieren eines elektrisch leitfähigen Abschnitts in Probe **2** durchgeführt. Insbesondere wurden ein Paar Au-Elektrodenpads **9** an der Oberfläche der Probe **2** befestigt, die einer elektrischen Erwärmung unterzogen wurde, und ein Atomabbild von Aluminium um die Au-Elektrodenpads **9** (**Fig. 8 (a)**) herum wurde mit einem Emissionsmikroskop („PHE-MOS-1000“, hergestellt von Hamamatsu Photonics K.K.) erhalten. In der oben genannten Atomabbildung wird die Farbe des durch elektrische Erwärmung erwärmten Bereichs (Emissionsteil **E**) als verändert dargestellt. Darüber hinaus zeigt **Fig. 8 (b)** ein optisches Mikroskopbild um den Emissionsteil **E** in Probe **2**. In **Fig. 8** bezeichnet das Bezugszeichen **101** eine Matrix und das Bezugszeichen **111** Si-Partikel. Darüber hinaus bezeichnet ein Pfeil **Y** einen geschätzten elektrisch leitfähigen Weg.

**[0071]** Gemäß **Fig. 8** kann man verstehen, dass Elektronen durch Si und die Matrix fließen. Darüber hinaus kann verstanden werden, dass Wärme nicht im Si-Bereich erzeugt wird, sondern im Abschnitt der Matrix aus Borosilikatglas. Aus diesem Ergebnis wurde bestätigt, dass der Bereich, der den elektrischen Widerstand beim elektrischen Erwärmen steuert, die Matrix ist, die ein Basismaterial ist.

## [Experimentelles Beispiel 4]

**[0072]** Um die Zusammensetzung des Emissionsteils in Probe 2 von [Experimentelles Beispiel 3], wie vorstehend erwähnt, im Detail zu untersuchen, wurde durch die EPMA-Messung ein Atomabbild um den Emissionsteil herum erhalten. **Fig. 9** zeigt ein Atomabbildungsbild von Aluminium um den Emissionsteil der Probe 2. Weiterhin ist in **Fig. 9** der kreisförmige Teil der Emissionsteil. Darüber hinaus wurden chemische Zusammensetzungen in Bereichen gemessen, die durch die Bezugszeichen „a“ bis „l“ in **Fig. 9** gekennzeichnet sind. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt. Weiterhin ist das durch das Bezugszeichen „a“ bezeichnete Teil eine Elektrode.

(TABELLE 1)

Regionen	Chemische Zusammensetzungen (Massen-%)									
	B	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
a (Elektrode)	-	13,3	-	-	-	-	-	-	-	68,2
b	-	-	80,0	-	0,2	1,5	18,2	0,1	0,1	0,1
c	7,5	-	74,4	-	-	0,8	17,3	-	-	-
d	7,5	-	75,7	-	-	0,6	16,2	-	-	-
e	-	3,6	69,9	-	0,2	3,9	20,9	0,4	0,1	0,2
f	-	-	76,1	-	0,2	4,2	18,9	0,3	0,1	0,1
g	-	17,5	11,5	-	-	1,0	69,5	0,2	-	0,3
h	-	20,4	8,5	-	-	0,6	70,5	-	-	-
i	-	-	77,8	-	0,3	2,9	18,7	0,3	0,2	-
j	-	-	79,3	-	0,3	2,9	17,2	0,1	0,2	-
k	-	2,6	73,8	-	0,4	6,8	15,4	0,2	0,1	0,5
l	-	2,1	74,6	-	0,3	8,8	13,8	0,2	0,1	0,1

**[0073]** Wie in Tabelle 1 dargestellt, waren nach diesem Experiment die den Emissionsanteilen entsprechenden Bereiche „i“ und „j“ Alumosilikate. Darüber hinaus waren die Region „b“, die Region „e“, die Region „f“, die Region „k“ und die Region „l“ ebenfalls Alumosilikate. Region „c“ und Region „d“ waren Borosilikatglas. Region „g“ und Region „h“ waren Silizium. Nach einem weiteren Versuchsbeispiel 5 wurde jedoch festgestellt, dass die Region „i“ und die Region „j“, die den Emissionsteilen entsprechen, B enthalten. Daher wurde davon ausgegangen, dass die Region „i“ und die Region „j“, die den Emissionsteilen entsprechen, Aluminoborosilikat waren. Die Nachweisempfindlichkeit von Bor ist jedoch im EPMA gering, so dass Bor möglicherweise nicht nachgewiesen werden kann. Darüber hinaus wurde eine große Menge an Fe im Bereich „a“ nachgewiesen, es wurde angenommen, dass dies darauf zurückzuführen ist, dass ein Punkt, an dem Fe getrennt wurde, gemessen wurde.

## [Experimentelles Beispiel 5]

**[0074]** Die Zusammensetzungsanalyse mit SEM-EDX wurde an Probe 2 von [Experimentelles Beispiel 3] durchgeführt. Die Ergebnisse sind in **Fig. 10** dargestellt. **Fig. 10 (a)** zeigt einen Basisbereich, der einer Zusammensetzungsanalyse unterzogen wird. **Fig. 10 (b)** zeigt einen Bereich mit einem Zusammensetzungsverhältnis der Phase 1 gemäß Tabelle 2 oder einen Bereich mit nahezu gleichem Zusammensetzungsverhältnis. **Fig. 10 (c)** zeigt einen Bereich mit einem Zusammensetzungsverhältnis der Phase 2 in Tabelle 2 oder einen Bereich mit nahezu gleichem Zusammensetzungsverhältnis. **Fig. 10 (d)** zeigt einen Bereich mit einem Zusammensetzungsverhältnis der in Tabelle 2 dargestellten Phase 5 oder einen Bereich mit nahezu gleichem Zusammensetzungsverhältnis. **Fig. 10 (e)** zeigt einen Bereich mit einem Zusammensetzungsverhältnis der in Tabelle 2 dargestellten Phase 6 oder einen Bereich mit nahezu gleichem Zusammensetzungsverhältnis. Es kann verstanden werden, dass Phase 2 ein Si-Abschnitt ist und die Phasen 1, 5 und 6 Matrixabschnitte sind. Aus den Ergebnissen dieses Experiments kann man verstehen, dass der Matrixabschnitt aus Aluminoborosilikat besteht, das mindestens eine Art enthält, die aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Na, Mg, K und Ca besteht, und dass das Aluminoborosilikat in Bereichen von insgesamt 0,01 Massen-% oder mehr und 10 Massen-% oder weniger der Alkaligruppenatome, 0,1 Massen-% oder mehr und 5 Massen-% oder weniger der B-Atome, 5

Massen-% oder mehr und 40 Massen-% oder weniger der Si-Atome, 40 Massen-% oder mehr und 85 Massen-% oder weniger der O-Atome und 0,5 Massen-% oder mehr und 10 Massen-% oder weniger der Al-Atome enthält. Der Grund dafür, dass der Matrixabschnitt bzw. -anteil zu Aluminoborosilikat mit Alkaligruppenatomen wurde, ist, dass Kaolin als Rohstoff verwendet wird. Für den Fall, dass Kaolin nicht als Rohstoff verwendet wird, kann man also sagen, dass der Matrixabschnitt bzw. -anteil zu Borosilikat mit Alkaligruppenatomen wird.

(TABELLE 2)

	Chemische Zusammensetzungen (Massen-%)									
	B	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Phase 1	0,66	1,35	64,5	1,28	0,34	2,09	29,67	0,01	0,12	0
Phase 2	1,03	2,25	7,11	0,19	0,02	0,45	87,63	0	0	1,3
Phase 5	0,76	1,51	60,5	3,12	0,74	3,98	28,33	0,21	0,29	0,56
Phase 6	1,55	1,87	66,93	1,76	0,34	2,37	24,45	0,06	0,03	0,65

[Experimentelles Beispiel 6]

[Probe 6]

**[0075]** Borosilikatglasfasern, die Na, Mg, K und Ca enthalten, Si-Partikel und Kaolin wurden in einem Massenverhältnis von 29:31:40 gemischt. Weiterhin enthalten die in diesem Versuchsbeispiel verwendeten Borosilikatglasfasern (mit einem durchschnittlichen Durchmesser von 10 µm und einer durchschnittlichen Länge von 25 µm) mehr Ca als die in jedem der oben genannten Versuchsbeispiele verwendeten Borosilikatgaspertikel. Anschließend wurden der Mischung 2 Massen-% Methylcellulose als Bindemittel zugesetzt, Wasser hinzugefügt und die Mischung geknetet. Anschließend wurde die erhaltene Mischung mit einer Extrusionsformmaschine zu Pellets geformt und die Pellets einer Primärkalzinierung unterzogen. Die Bedingungen für die Primärkalzinierung waren wie folgt: eine Kalzinierungstemperatur von 700°C, eine Temperaturanstiegszeit von 100°C/Stunde, eine Haltezeit von 1 Stunde unter Luftatmosphäre und Normaldruck. Anschließend wurde der kalzinierte Körper, der einer Primärkalzinierung unterzogen wurde, einer Sekundärkalzinierung unterzogen. Die Bedingungen für das sekundäre Kalzinieren waren wie folgt: eine Kalzinierungstemperatur von 1300°C, eine Kalzinierungszeit von 30 Minuten, eine Temperaturanstiegsrate von 200°C/Stunde unter N<sub>2</sub>-Gasatmosphäre und Normaldruck. Als Ergebnis wurde die Probe **6** mit einer Form von 5 mm × 5 mm × 18 mm erhalten. Gemäß der EPMA-Messung enthielt die Matrix in Probe **6** insgesamt 6,4 Massen-% Alkaligruppenatome (Na, Mg, K und Ca), 21,4 Massen-% Si, 65,4 Massen-% O und 5,1 Massen-% Al. Darüber hinaus enthielt die Matrix in Probe **6** gemäß der ICP-Messung 0,8 Massen-% B.

[Probe 7]

**[0076]** Borsäure, Si-Partikel und Kaolin wurden in einem Massenverhältnis von 4:42:54 gemischt. Anschließend wurden der Mischung 2 Massen-% Methylcellulose als Bindemittel zugesetzt, Wasser hinzugefügt und die Mischung geknetet. Anschließend wurde die erhaltene Mischung mit einer Extrusionsformmaschine zu Pellets geformt und die Pellets einer Primärkalzinierung unterzogen. Die Bedingungen für die Primärkalzinierung waren wie folgt: eine Kalzinierungstemperatur von 700°C, eine Temperaturanstiegszeit von 100°C/Stunde, eine Haltezeit von 1 Stunde unter Luftatmosphäre und Normaldruck. Anschließend wurde der kalzinierte Körper, der einer Primärkalzinierung unterzogen wurde, einer Sekundärkalzinierung unterzogen. Die Bedingungen für das sekundäre Kalzinieren waren wie folgt: eine Kalzinierungstemperatur von 1250°C, eine Kalzinierungszeit von 30 Minuten, eine Temperaturanstiegsrate von 200°C/Stunde unter N<sub>2</sub>-Gasatmosphäre und Normaldruck. Als Ergebnis wurde die Probe **7** mit einer Form von 5 mm × 5 mm × 18 mm erhalten. Gemäß der EPMA-Messung enthielt die Matrix in Probe **7** insgesamt 0,5 Massen-% Alkaligruppenatome (Na, Mg, K und Ca), 22,7 Massen-% Si, 68,1 Massen-% O und 5,7 Massen-% Al. Darüber hinaus enthielt die Matrix in Probe **7** gemäß der ICP-Messung 0,9 Massen-% B.

**[0077]** Der elektrische Widerstand wurde für jede der erhaltenen Proben auf die gleiche Weise gemessen wie im Versuchsbeispiel **1**. Wie in **Fig. 11** dargestellt, kann verstanden werden, dass jede der Proben **6** und **7** eine

wesentlich geringere Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes aufweist als diejenige der SiC der Probe **1C**, die vorstehend in Experimentalbeispiel **1** erwähnt wurde, und dass der elektrische Widerstand eine PTC-Charakteristik aufweist. Darüber hinaus kann verstanden werden, dass jede der Proben **6** und **7** einen elektrischen Widerstand von  $0,0001 \Omega\cdot\text{m}$  oder mehr und  $1 \Omega\cdot\text{m}$  oder weniger und eine elektrische Widerstandserhöhungsrate von  $0,01 \times 10^{-6}/\text{K}$  oder mehr und  $5,0 \times 10^{-4}/\text{K}$  oder weniger in einem Temperaturbereich von  $25^\circ\text{C}$  bis  $500^\circ\text{C}$  aufweist. Außerdem weist die Probe **7** trotz der Kalzinierung bei einer niedrigeren Temperatur als die Probe **6** vorgegebene Eigenschaften auf. Für den Fall, dass die Kalzinierungstemperatur der Probe **7** derjenigen der Probe **6** entspricht, wird die Dotierung von Bor (B) in Aluminoborosilikat, der Matrix in Probe **7**, erleichtert, und es wird angenommen, dass der elektrische Widerstand weiter reduziert werden kann. Dieser Punkt soll später im Experimentierbeispiel **7** beschrieben werden.

**[0078]** Anschließend wurde die EPMA-Messung an einem Materialquerschnitt jeder Probe durchgeführt. Die Ergebnisse sind in **Fig. 12** und **Fig. 13** dargestellt. Wie in **Fig. 12** dargestellt, kann verstanden werden, dass die Probe **6** unter Verwendung von Borosilikatglas als Ausgangsmaterial viele Alkaligruppenatome wie Na-, Mg-, K- und Ca sowie O-Atome auf der Materialoberfläche aufweist. Das heißt, Probe **6** verwendetes Borosilikatglas, das eine große Menge an Alkaligruppenatomen als Rohstoff enthält, und daher kann verstanden werden, dass Alkaligruppenatome, die auf der Oberfläche des Materials eluiert wurden, mit Sauerstoff reagierten und dass ein Isolierglasfilm auf der Oberfläche des Materials gebildet wurde.

**[0079]** Andererseits wurde, wie in **Fig. 13** dargestellt, in der Probe **7** Borsäure als Rohstoff verwendet und der Gehalt an im Rohstoff enthaltenen Alkaligruppenatomen aktiv reduziert. Daher kann verstanden werden, dass die Menge der Alkaligruppenatome wie Na-, Mg-, K- und Ca- sowie O-Atome auf der Materialoberfläche im Vergleich zu der Menge derjenigen in Probe **6** drastisch reduziert wurde. Das heißt, Probe **7** verwendete Borsäure, die keine Alkaligruppenatome enthielt, als Rohstoff, und daher kann verstanden werden, dass ein Phänomen der Bildung eines Isolierglasfilms auf der Materialoberfläche nicht unterdrückt werden konnte. Weiterhin wurde eine geringe Menge von K auf der Materialoberfläche der Probe **7** nachgewiesen, aber es wurde keine Isolierglasfolie gebildet.

**[0080]** Anschließend wurde ein Linienprofil von Ca in Tiefenrichtung von der Materialoberfläche jeder Probe gemessen. Die Ergebnisse sind in **Fig. 14** und **Fig. 15** dargestellt. Wie in **Fig. 14** dargestellt, kann verstanden werden, dass die Probe **6** eine hohe Ca-Konzentration auf der Materialoberfläche aufweist, die durch Ca eluiert und auf der Materialoberflächenseite getrennt wird. Andererseits wurden in Probe **7** Veränderungen der Ca-Konzentration auf der Materialoberfläche und im Materialinneren kaum wahrgenommen. Aus diesen Ergebnissen wurde in dem Borosilikat, das mindestens eine Art von Alkaligruppenatomen enthält, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Na, Mg, K und Ca, bestätigt, dass durch Steuern des Gesamtgehalts der Alkaligruppenatome auf 2 Massen-% oder weniger ein elektrischer Widerstand erhalten werden kann, der kaum einen Isolierglasfilm auf der Oberfläche aufweist, ohne einen Gassperrfilm zu bilden, der beim Kalzinieren unter einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre Sauerstoffgas blockiert. Da in diesem experimentellen Beispiel ein großer Unterschied in der Ca-Konzentration zwischen Probe **6** und Probe **7** aufgrund des Unterschieds in einer Borquelle bestand, wurde Ca als Beispiel für die Alkaligruppenatome in **Fig. 14** und **Fig. 15** ausgewählt. Aus den oben genannten Ergebnissen kann jedoch leicht davon ausgegangen werden, dass ein gleicher Trend wie oben beschrieben auch für andere Alkaligruppenatome zu beobachten sein wird.

[Experimentelles Beispiel 7]

[Probe 8]

**[0081]** Die Probe **8** wurde auf die gleiche Weise erhalten wie die Vorbereitung der Probe **7** des Versuchsbeispiels **6**, mit der Ausnahme, dass Borsäure, Si-Partikel und Kaolin in einem Massenverhältnis von 6:41:53 gemischt wurden und dass die Kalzinierungstemperatur  $1250^\circ\text{C}$  betrug. Nach der EPMA-Messung enthielt eine Matrix in Probe **8** insgesamt 0,5 Massen-% Alkaligruppenatome, 23,6 Massen-% Si, 66,8 Massen-% O und 5,8 Massen-% Al. Darüber hinaus enthielt die Matrix in Probe **8** gemäß der ICP-Messung 1,3 Massen-% B.

[Probe 9]

**[0082]** Die Probe **9** wurde auf die gleiche Weise erhalten wie die Vorbereitung der Probe **7** des Versuchsbeispiels **6**, mit der Ausnahme, dass Borsäure, Si-Partikel und Kaolin in einem Massenverhältnis von 8:40:52 gemischt wurden und dass die Kalzinierungstemperatur  $1250^\circ\text{C}$  betrug. Nach der EPMA-Messung enthielt eine Matrix in Probe **9** insgesamt 0,4 Massen-% Alkaligruppenatome, 23,9 Massen-% Si, 66,1 Massen-% O und 5,6 Massen-% Al. Darüber hinaus enthielt die Matrix in Probe **9** gemäß der ICP-Messung 2,1 Massen-% B.

[Probe 10]

**[0083]** Die Probe **10** wurde auf die gleiche Weise erhalten wie die Vorbereitung der Probe **7** des Versuchsbeispiels **6**, mit der Ausnahme, dass Borsäure, Si-Partikel und Kaolin in einem Massenverhältnis von 4:42:54 gemischt wurden und dass die Kalzinierungstemperatur 1.300°C betrug. Nach der EPMA-Messung enthielt eine Matrix in Probe **10** insgesamt 0,4 Massen-% Alkaligruppenatome, 24,1 Massen-% Si, 65,9 Massen-% O und 5,9 Massen-% Al. Darüber hinaus enthielt die Matrix in Probe **10** gemäß der ICP-Messung 0,9 Massen-% B.

[Probe 11]

**[0084]** Die Probe **11** wurde auf die gleiche Weise erhalten wie die Vorbereitung der Probe **7** des Versuchsbeispiels **6**, mit der Ausnahme, dass Borsäure, Si-Partikel und Kaolin in einem Massenverhältnis von 6:41:53 gemischt wurden und dass die Kalzinierungstemperatur 1300°C betrug. Nach der EPMA-Messung enthielt eine Matrix in Probe **11** insgesamt 0,4 Massen-% Alkaligruppenatome, 23,0 Massen-% Si, 67,1 Massen-% O und 5,5 Massen-% Al. Darüber hinaus enthielt die Matrix in Probe **11** nach der ICP-Messung 1,4 Massen-% B.

[Probe 12]

**[0085]** Die Probe **12** wurde auf die gleiche Weise erhalten wie die Vorbereitung der Probe **7** des Versuchsbeispiels **6**, mit der Ausnahme, dass Borsäure, Si-Partikel und Kaolin in einem Massenverhältnis von 8:40:52 gemischt wurden und dass die Kalzinierungstemperatur 1300°C betrug. Nach der EPMA-Messung enthielt eine Matrix in Probe **12** insgesamt 0,4 Massen-% Alkaligruppenatome, 22,8 Massen-% Si, 68,2 Massen-% O und 5,4 Massen-% Al. Darüber hinaus enthielt die Matrix in Probe **12** gemäß der ICP-Messung 2,0 Massen-% B.

**[0086]** Der elektrische Widerstand wurde für jede der erhaltenen Proben auf die gleiche Weise gemessen wie im Versuchsbeispiel **1**. Die Ergebnisse sind in **Fig. 16** und **Fig. 17** dargestellt. Wie in **Fig. 16** und **Fig. 17** dargestellt, wurde bestätigt, dass mit steigender Kalzinierungstemperatur und steigender Borsäuremenge die Bordotierung in das Aluminosilikat gefördert und der elektrische Widerstand verringert wurde.

**[0087]** Gemäß jedem der oben genannten experimentellen Ergebnisse können die folgenden Punkte durch die Verwendung von Borosilikat, das mindestens eine oder mehrere Arten von Alkaligruppenatomen wie Na, Mg, K und Ca enthält, als Matrix eines elektrischen Widerstands bestimmt werden. Gemäß dem oben genannten elektrischen Widerstand ist der Bereich, der den elektrischen Widerstand während der elektrischen Erwärmung steuert, die Matrix, die ein Basismaterial ist. In der oben genannten Matrix ist die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes kleiner als die von SiC, und der elektrische Widerstand weist eine PTC-Charakteristik auf. Wenn also der elektrische Widerstand einer anderen Substanz, die sich von der Matrix unterscheidet, die in dem elektrischen Widerstand enthalten sein kann, eine PTC-Charakteristik aufweist, kann der elektrische Widerstand des elektrischen Widerstands so zusammengesetzt sein, dass er eine geringe Temperaturabhängigkeit aufweist und eine PTC-Charakteristik aufweist. Andererseits, wenn der elektrische Widerstand der anderen Substanz eine NTC-Charakteristik aufweist, ist es möglich, einen elektrischen Widerstand eines elektrischen Widerstandes zu entwerfen, der eine geringe Temperaturabhängigkeit aufweist und eine PTC-Charakteristik aufweist, oder der kaum eine Temperaturabhängigkeit aufweist, indem man den elektrischen Widerstand einer Matrix mit einer PTC-Charakteristik und den elektrischen Widerstand der anderen Substanz mit NTC-Charakteristik addiert. Daher ist es durch die Verwendung der oben genannten Matrix möglich, einen elektrischen Widerstand zu erhalten, bei dem die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes gering ist und der elektrische Widerstand eine PTC-Charakteristik aufweist, oder die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes kaum vorhanden ist. Darüber hinaus kann der elektrische Widerstand so zusammengesetzt werden, dass der elektrische Widerstand keine NTC-Charakteristik aufweist, so dass es möglich ist, die Stromkonzentration beim elektrischen Erwärmen zu vermeiden. So ist es möglich, einen elektrischen Widerstand zu erhalten, bei dem eine Temperaturverteilung im Innenraum unwahrscheinlich ist und Risse aufgrund einer thermischen Ausdehnungsdifferenz unwahrscheinlich sind. Darüber hinaus ist es im oben genannten elektrischen Widerstand möglich, einen niedrigen elektrischen Widerstand einer Matrix durch die Übernahme der oben genannten Matrix zu ermöglichen, und es ist möglich, einen elektrischen Widerstand mit einer geringen Temperaturabhängigkeit vom elektrischen Widerstand zu erhalten.

**[0088]** Die vorliegende Offenbarung beschränkt sich nicht auf jede der Ausführungsformen und jedes der oben genannten experimentellen Beispiele, und verschiedene Änderungen können vorgenommen werden, ohne vom Umfang der Offenbarung abzuweichen. Darüber hinaus kann jede Zusammensetzung, die in jeder der Ausführungsformen und jedem der Experimentierbeispiele dargestellt ist, optional kombiniert werden. Das heißt, obwohl die vorliegende Offenbarung basierend auf den Ausführungsformen beschrieben wird, versteht

es sich, dass die vorliegende Offenbarung nicht auf die Ausführungsformen, Zusammensetzungen und dergleichen beschränkt ist. Die vorliegende Offenbarung enthält verschiedene Änderungsbeispiele und Änderungen in gleichwertigen Bereichen. Darüber hinaus fallen verschiedene Kombinationen und Aspekte sowie andere Kombinationen und Aspekte, die nur ein Element oder mehr oder weniger als ein Element umfassen, in den Anwendungsbereich und die Idee der vorliegenden Offenbarung. So wurde beispielsweise in Ausführungsform 3 ein Beispiel für eine Wabenstruktur beschrieben, die aus einem elektrischen Widerstand von Ausführungsform 1 besteht, aber eine Wabenstruktur kann auch aus einem elektrischen Widerstand von Ausführungsform 2 bestehen. Darüber hinaus wurde in Ausführungsform 4 ein Beispiel für das Aufbringen einer Wabenstruktur von Ausführungsform 3 beschrieben, aber eine elektrisch beheizte Katalysatorvorrichtung kann eine Wabenstruktur aufbringen, die aus einem elektrischen Widerstand von Ausführungsform 2 besteht.

**ZITATE ENHALTEN 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**

- JP 2017129229 [0001]
- JP 2004131302 A [0005]

**Patentansprüche**

1. Elektrischer Widerstand (1), umfassend eine Matrix (10) aus Borosilikat, das mindestens eine Art von Alkaligruppenatomen ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Na, Mg, K, Ca, Li, Be, Rb, Sr, Cs, Ba, Fr und Ra enthält.
2. Elektrischer Widerstand nach Anspruch 1, der in einem Temperaturbereich von 25°C bis 500°C einen elektrischen spezifischen Widerstand im Bereich von  $0,0001 \Omega \cdot m$  oder mehr und  $1 \Omega \cdot m$  oder weniger und eine elektrische Widerstandserhöhungsrate im Bereich von  $0,01 \times 10^{-6}/K$  oder mehr und  $5,0 \times 10^{-4}/K$  oder weniger oder einen elektrischen spezifischen Widerstand im Bereich von  $0,0001 \Omega \cdot m$  oder mehr und  $1 \Omega \cdot m$  oder weniger und eine elektrische Widerstandserhöhungsrate im Bereich von 0 oder mehr und weniger als  $0,01 \times 10^{-6}/K$  aufweist.
3. Elektrischer Widerstand nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Gehalt an B-Atomen im Borosilikat 0,1 Massen-% oder mehr und 5 Massen-% oder weniger beträgt.
4. Elektrischer Widerstand nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Gesamtgehalt der Alkaligruppenatome im Borosilikat 10 Massen-% oder weniger beträgt.
5. Elektrischer Widerstand nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Borosilikat als Alkaligruppenatome mindestens eine Art von Atomen, Alkaligruppenatome, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Na, Mg, K und Ca, enthält und der Gesamtgehalt der Alkaligruppenatome 2 Massen-% oder weniger beträgt.
6. Elektrischer Widerstand nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Gesamtgehalt der Alkaligruppenatome im Borosilikat 0,01 Massen-% oder mehr beträgt.
7. Elektrischer Widerstand nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Gehalt an Si-Atomen im Borosilikat 5 Massen-% oder mehr und 40 Massen-% oder weniger beträgt.
8. Elektrischer Widerstand nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Gehalt an O-Atomen im Borosilikat 40 Massen-% oder mehr und 85 Massen-% oder weniger beträgt.
9. Elektrischer Widerstand nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei das Borosilikat Aluminoborosilikat ist.
10. Elektrischer Widerstand nach Anspruch 9, wobei der Gehalt an Al-Atomen im Aluminoborosilikat 0,5 Massen-% oder mehr und 10 Massen-% oder weniger beträgt.
11. Elektrischer Widerstand nach einem der Ansprüche 1 bis 10 umfasst ferner einen elektrisch leitfähigen Füllstoff (11).
12. Elektrischer Widerstand nach Anspruch 11, wobei der elektrisch leitende Füllstoff Si-Atome enthält.
13. Elektrischer Widerstand nach Anspruch 11 oder 12, wobei die Matrix und den elektrisch leitfähigen Füllstoff in insgesamt 50 Vol% oder mehr enthält.
14. Elektrischer Widerstand nach einem der Ansprüche 1 bis 13, der so zusammengesetzt ist, dass er in einer Wabenstruktur in einer elektrisch beheizten Katalysatorvorrichtung verwendet wird.
15. Wabenstruktur (2), umfassend den elektrischen Widerstand nach einem der Ansprüche 1 bis 13.
16. Elektrisch beheizte Katalysatorvorrichtung (3) mit der Wabenstruktur nach Anspruch 15.

Es folgen 12 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

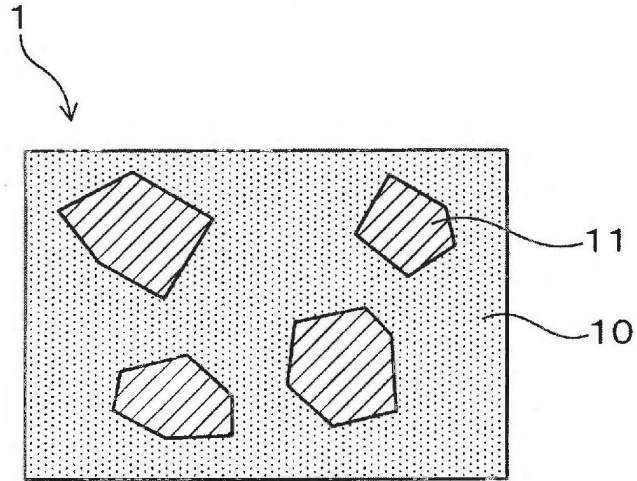


FIG.2

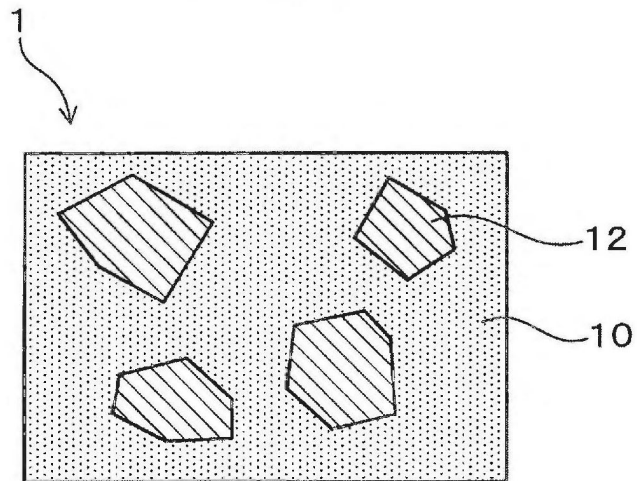


FIG.3

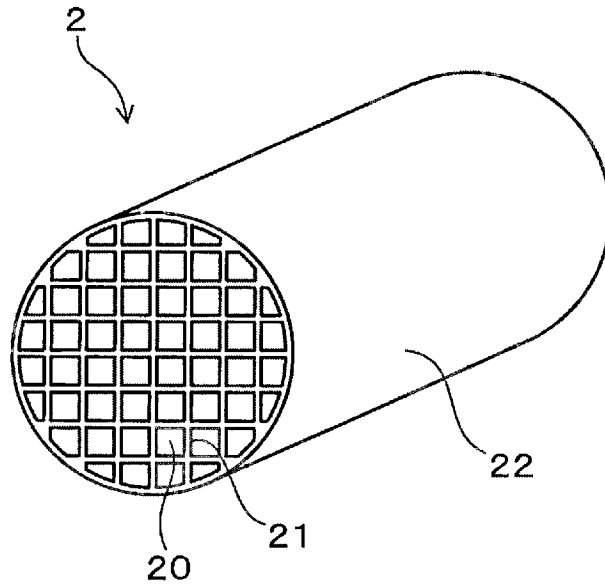


FIG.4

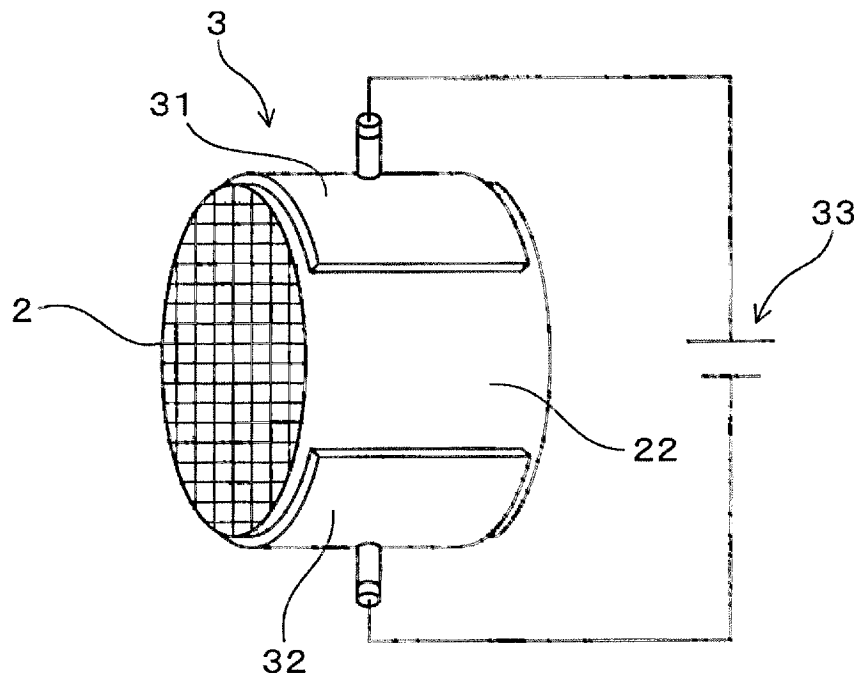


FIG.5

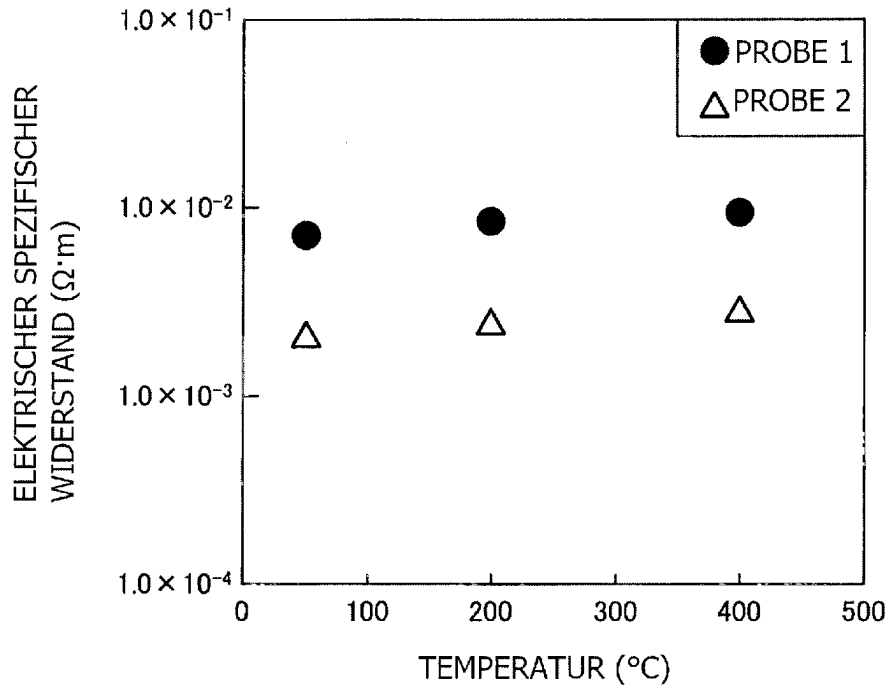


FIG.6

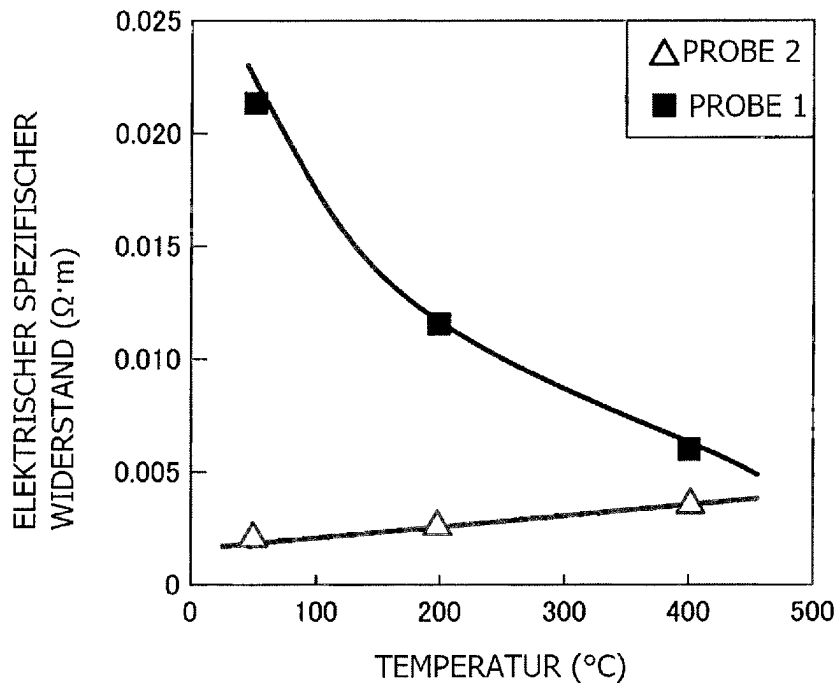


FIG.7

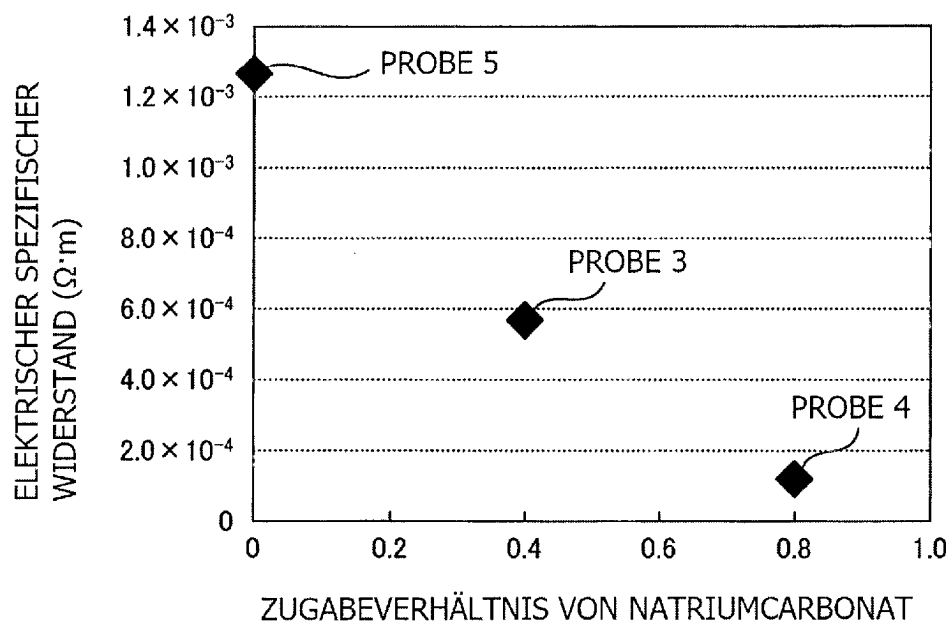


FIG.8

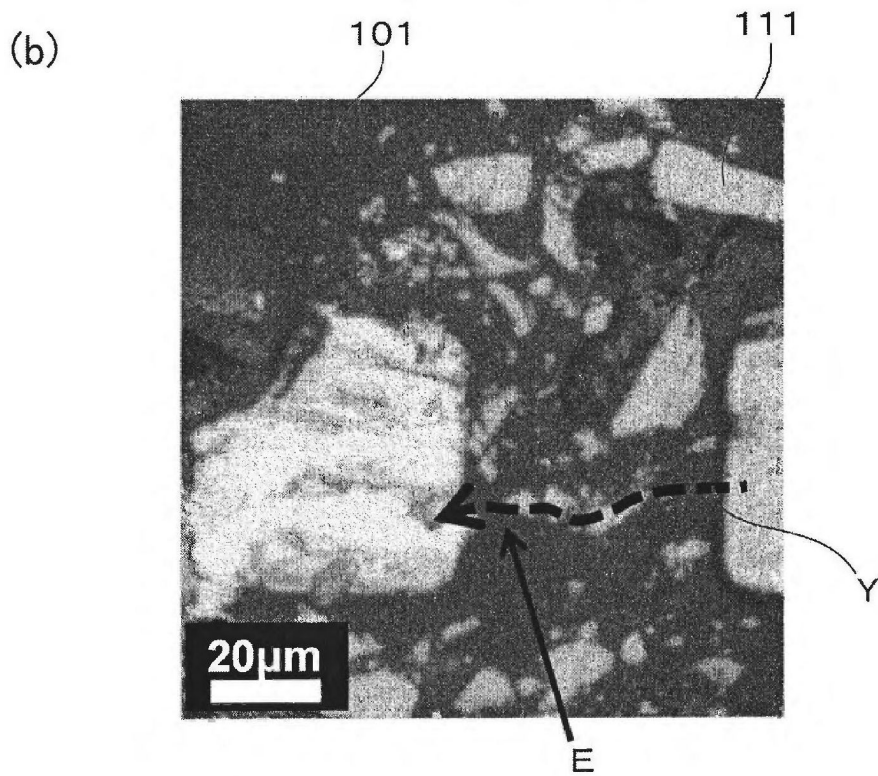
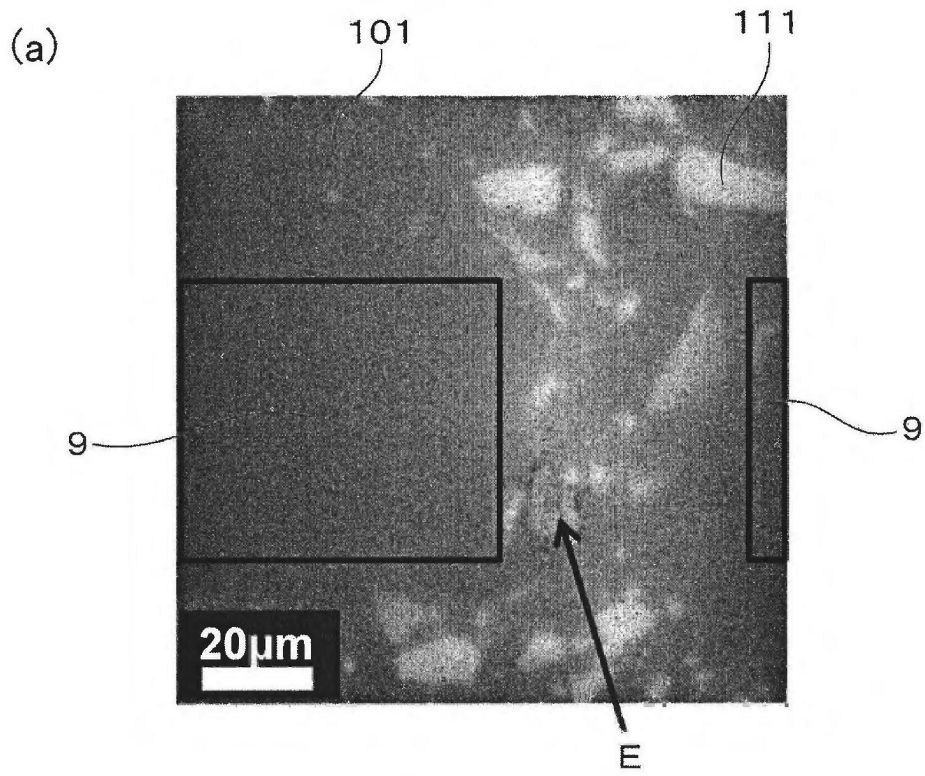


FIG.9

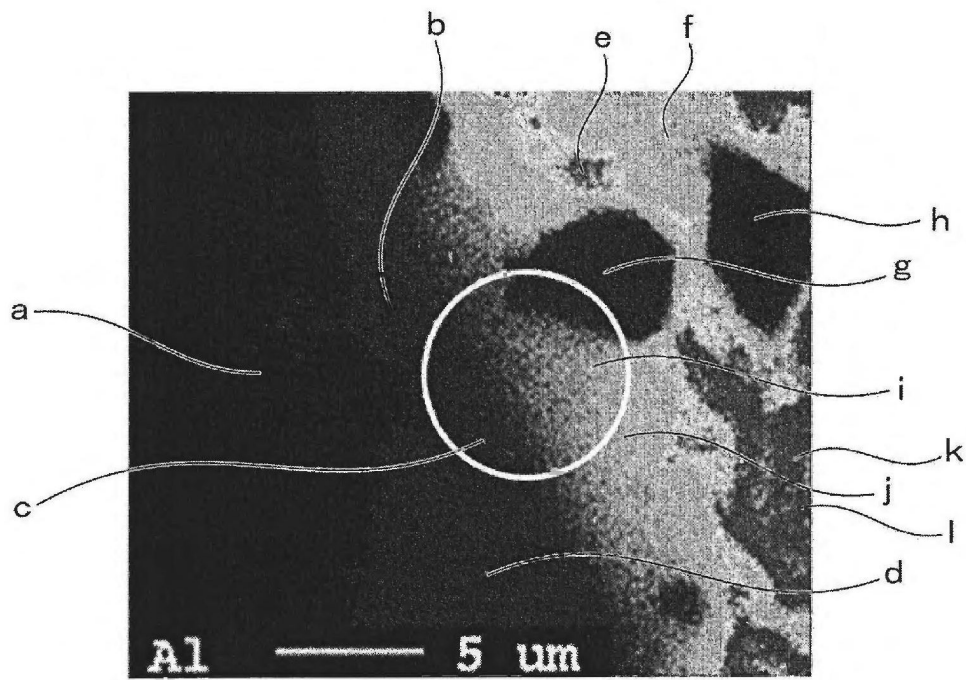
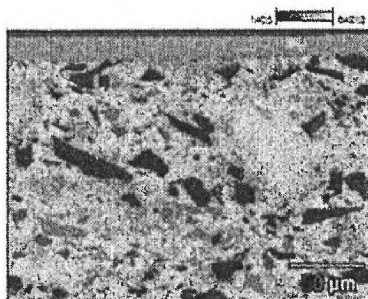
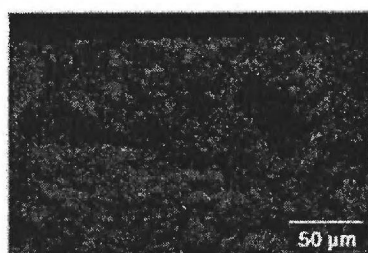


FIG.10

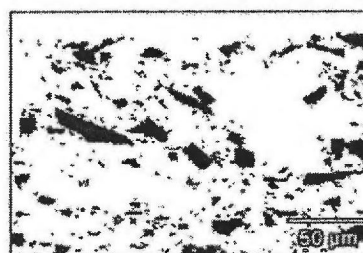
(a)



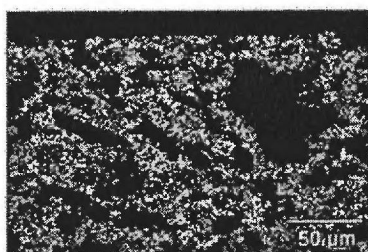
(b)



(c)



(d)



(e)

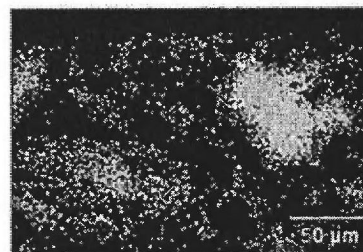


FIG.11

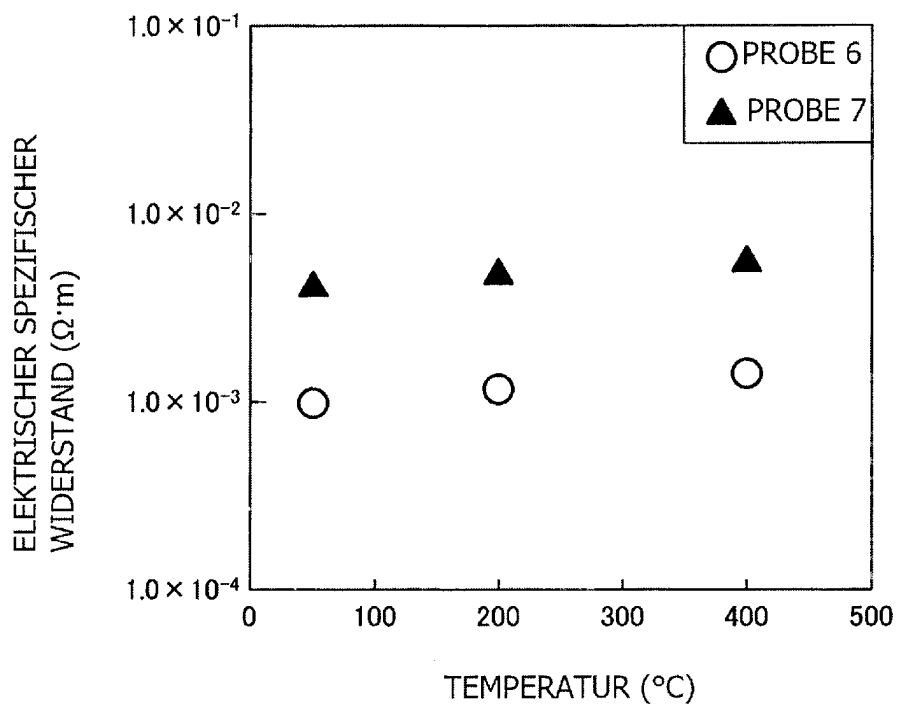


FIG.12

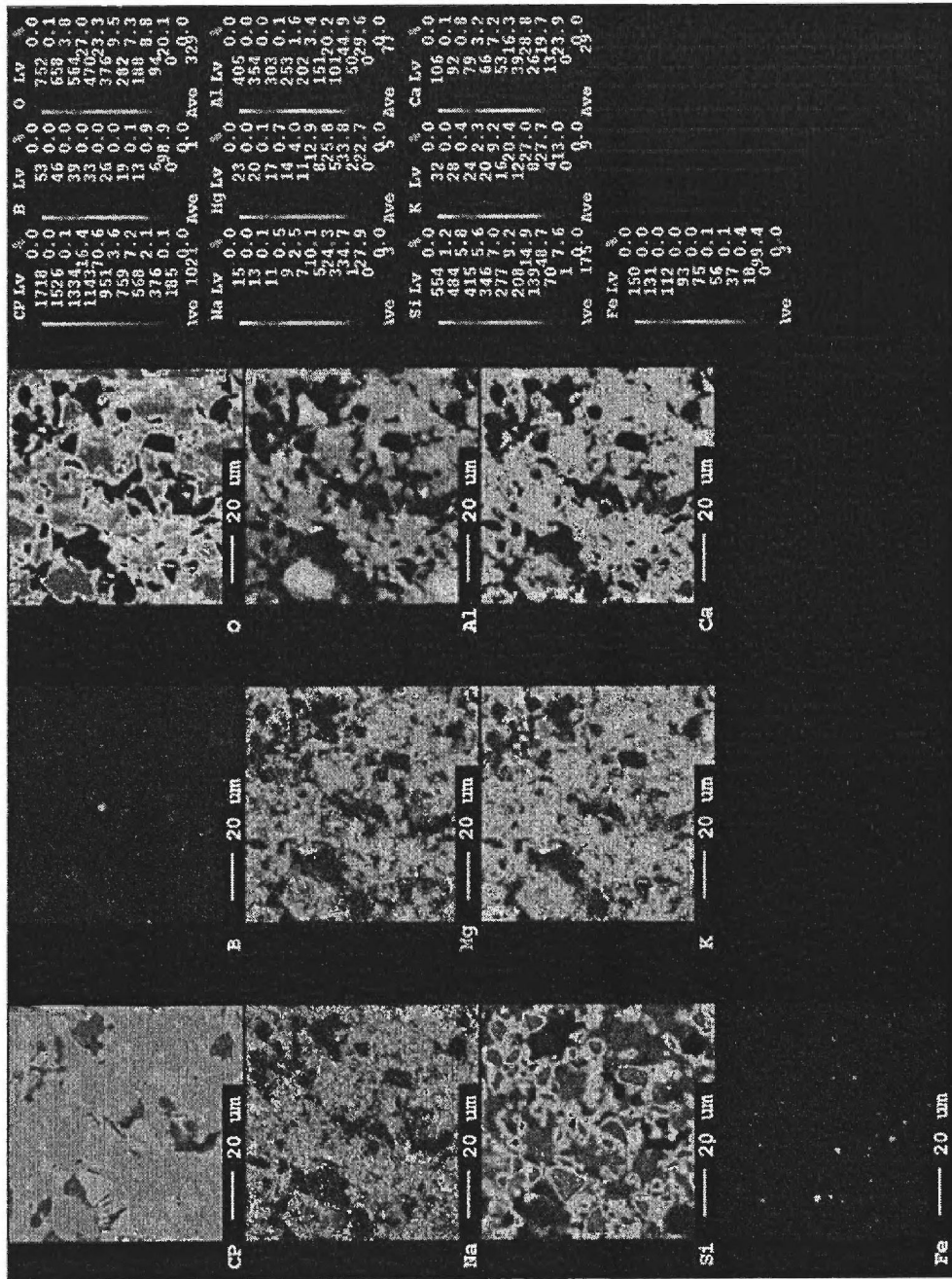


FIG.13

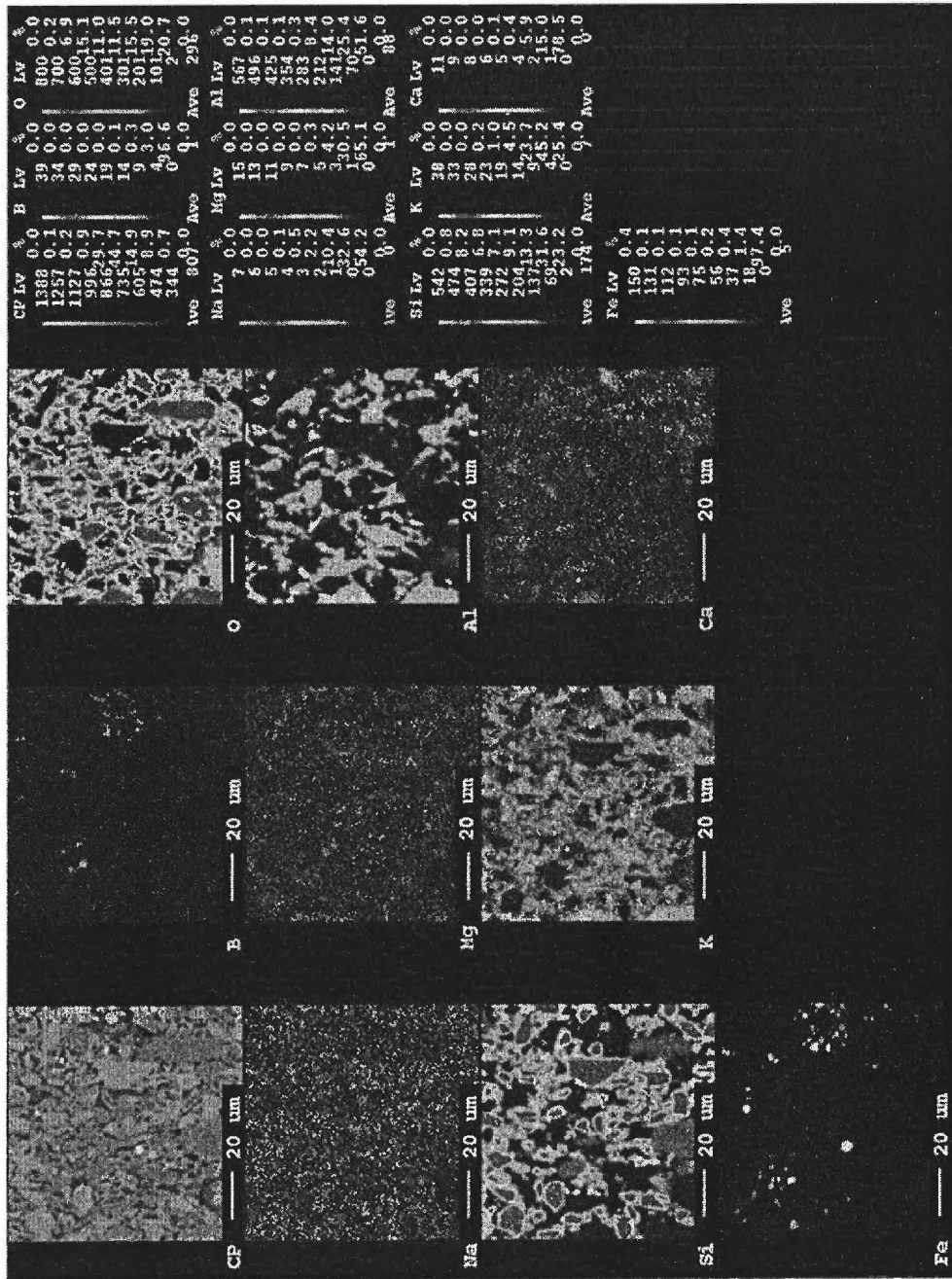


FIG. 14

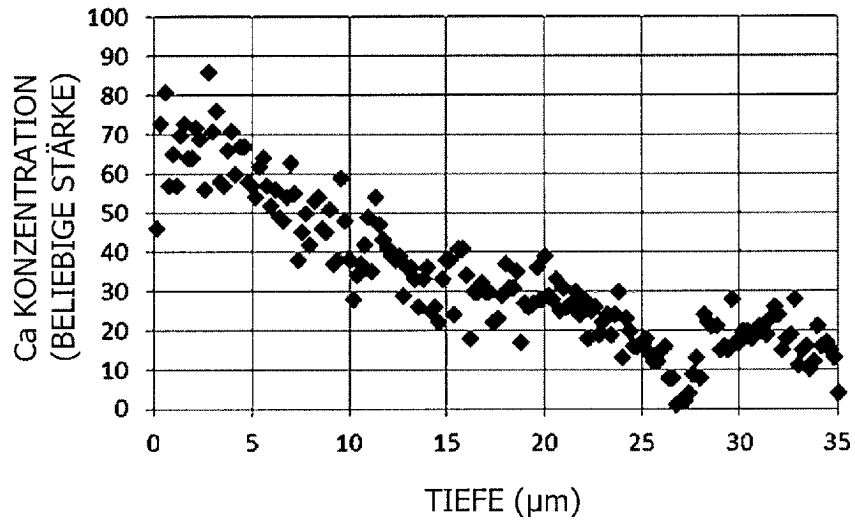


FIG. 15

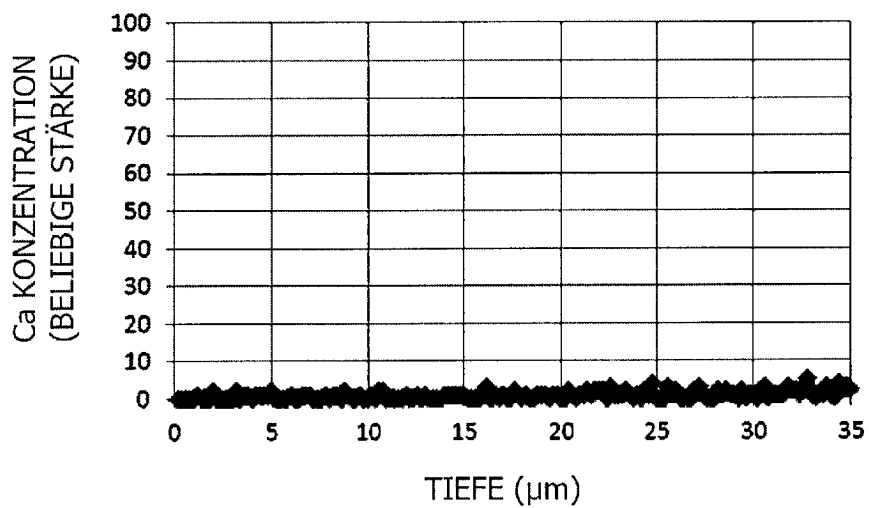


FIG.16

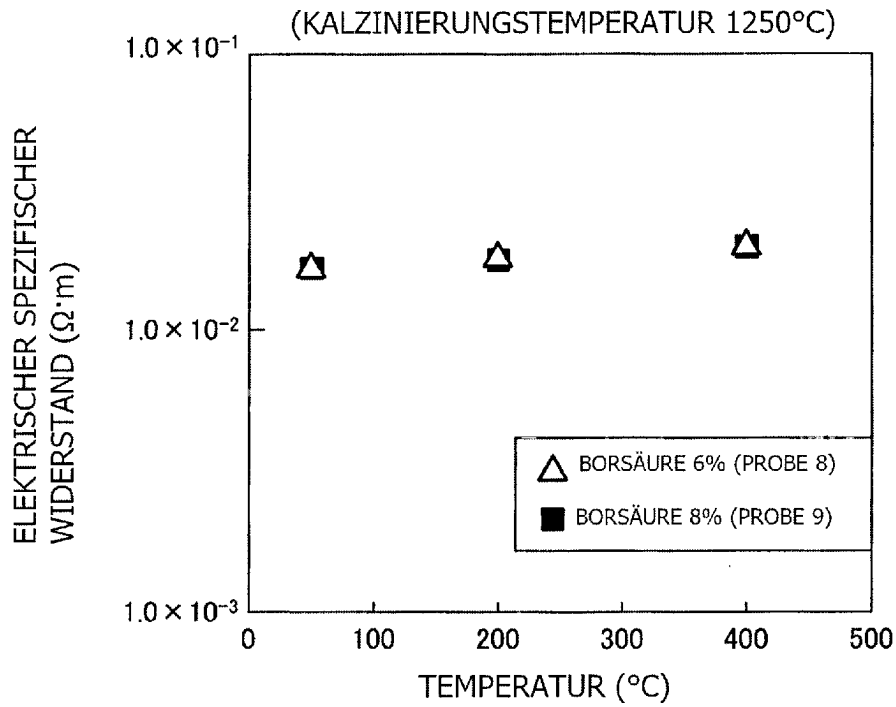


FIG.17

