



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2004 013 791 B4 2009.09.24

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2004 013 791.9

(51) Int Cl.⁸: H01M 8/02 (2006.01)

(22) Anmelddatum: 20.03.2004

(43) Offenlegungstag: 06.10.2005

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 24.09.2009

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

Forschungszentrum Jülich GmbH, 52428 Jülich,
DE; Topsoe Fuel Cell A/S, Kongens Lyngby, DK;
Energieonderzoek Centrum Nederland, ZG Petten,
NL

(72) Erfinder:

Laatsch, Joachim, 52062 Aachen, DE; Tietz, Frank,
52428 Jülich, DE; Christiansen, Niels, Gentofte,
DK; Gordes, Petru, Horsholm, DK; Rietveld,
Gijsbertus, EH Alkmaar, NL; Dekker, Nicolaas
Jacobus Joseph, PM Amsterdam, NL

(74) Vertreter:

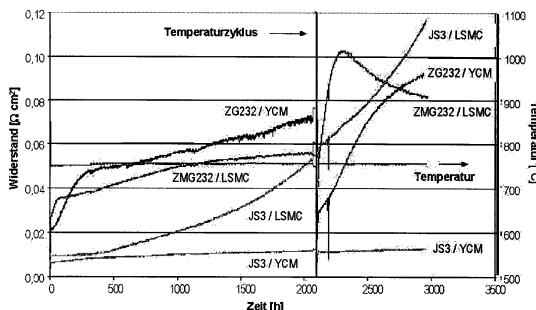
Gille Hrabal Struck Neidlein Prop Roos, 40593
Düsseldorf

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

DE 197 02 619 C1
DE 100 25 108 A1

(54) Bezeichnung: Elektrisch leitfähiger Stahl-Keramik-Verbund sowie dessen Herstellung und Verwendung

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung eines Stahl-Keramik-Verbundes umfassend einen Interktor aus Stahl, sowie eine darauf angeordnete keramische, elektrisch leitfähige Verbindungsschicht, mit den Schritten
a) es wird ein Interktor aus einem ferritischen Stahl umfassend 18–24 Gew.-% Cr eingesetzt,
b) auf den Interktor wird eine Suspension oder Paste umfassend einen Perowskiten mit der Zusammensetzung $\text{Ln}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{1-y}\text{Co}_y\text{O}_{3-\delta}$ oder $\text{Ln}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Fe}_{1-y}\text{Co}_y\text{O}_{3-\delta}$ aufgebracht, mit $0,1 \leq x \leq 0,4$, $0,1 \leq y \leq 0,6$, $0 \leq \delta \leq x/2$ und $\text{Ln} = \text{La} - \text{Lu}$,
c) der Interktor und die darauf aufgebrachte Suspension oder Paste werden auf eine Fügetemperatur zwischen 800–900°C erwärmt, wobei sich aus der Suspension oder der Paste die keramische, elektrisch leitfähige Verbindungsschicht ausbildet.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen elektrisch leitfähigen Verbund aus einem Stahl und einer Keramik, der vorteilhaft in einer Hochtemperatur-Brennstoffzelle eingesetzt werden kann und dort insbesondere die Verbindung zwischen einem Interkonnektor und einer Kathode zu bilden vermag. Ferner betrifft die Erfindung ein Herstellungsverfahren für einen solchen Verbund.

Stand der Technik

[0002] Hochtemperatur-Brennstoffzellen werden für Betriebstemperaturen zwischen 650°C und 1000°C entwickelt. Je nach Entwicklungsziel kommen unterschiedliche Werkstoffe zum Einsatz, die für die angestrebte Betriebstemperatur geeignet sind. Der Verbund aus Anode, Elektrolyt und Kathode wird Einzelzelle genannt. Ein Interkonnektor ist ein verbindendes Bauelement, welches einzelne Brennstoffzellen miteinander verbindet. Ein Interkonnektor weist typischerweise Strom-Leitungsstege und Brennstoffkanäle auf. Zwischen einem Interkonnektor und einer Elektrode einer Einzelzelle wird in der Regel eine Verbindungsschicht angeordnet. Das Material eines Interkonnektors, das der Elektroden sowie das Material der Verbindungsschicht werden in der Regel aufeinander abgestimmt, um chemische Wechselwirkungen möglichst gering zu halten.

[0003] So werden beispielsweise Brennstoffzellen, die bei 1000°C betrieben werden, häufig aus einer ca. 200 µm dicken Elektrolytschicht aus Yttriumoxidstabilisiertem Zirkoniumoxid aufgebaut, auf der die etwa 50 µm dicken Elektroden aufgebracht werden. Als Kathodenmaterial ist dabei Lanthanmanganit und als Anodenmaterial ein Gemisch aus Ni und YSZ bekannt. Als Interkonnektoren werden beispielsweise temperaturbeständige Keramikplatten aus Lanthanchromit für den Aufbau eines Zellenstapels verwendet, wie aus [1] bekannt ist. Darin wird beschrieben, dass die Zellen durch einen Fügeprozeß, d. h. durch eine Temperaturbehandlung bei etwa 1200 bis 1300°C miteinander verbunden und abgedichtet werden. Dabei werden in der Regel keramische Pasten zwischen den Elektroden und den Interkonnektoren aufgebracht, die während der Temperaturbehandlung aushärten und sich durch Diffusionsprozesse (Sinterung) fest mit den benachbarten Brennstoffzellenkomponenten verbinden. Um eine chemische Wechselwirkung zwischen den Komponenten möglichst zu vermeiden, werden in der Regel chemisch ähnliche und miteinander verträgliche Werkstoffe eingesetzt. So kann man beispielsweise für das Fügen zwischen Kathode und Interkonnektor eine Paste aus dem Kathodenwerkstoff Lanthanmanganit oder dem Interkonnektorwerkstoff Lanthanchromit verwenden.

[0004] Für niedrigere Betriebstemperaturen um 800°C wurden andere Brennstoffzellen-Systeme entwickelt, bei denen durch Verringerung des elektrischen Widerstandes des Elektrolyten eine gleiche Zellenleistung bei niedriger Temperatur möglich ist [2]. Gleichzeitig kann durch die niedrigeren Betriebstemperaturen ein wesentlich kostengünstigerer Interkonnektor aus ferritischem Stahl verwendet werden, wie er beispielsweise aus DE 100 25 108 A1 bekannt ist.

[0005] Nachteilig ergibt sich bei diesem Brennstoffzellen-System das Problem, dass Fügetemperaturen von mehr als 900°C unbedingt zu vermeiden sind, damit die metallischen Interkonnektoren nicht geschädigt werden. Andererseits sind die bisher verwendeten Materialien für eine Verbindungsschicht aus Lanthanmanganit oder Lanthankobaltit bei Temperaturen von 900°C oder darunter wenig sinteraktiv, d. h. die notwendigen Diffusionsprozesse sind zu gering, als dass auf Dauer ein guter elektrischer Kontakt entsteht.

[0006] Daher wurden in der Vergangenheit Verbundsysteme aus temperaturbeständigeren Chrom-Basis-Legierungen und Kathodenmaterialien einer oxidkeramischen Brennstoffzelle als geeignet angesehen und bei Temperaturen von 900–1000°C hergestellt und geprüft (siehe [3]). Weiterführende Untersuchungen haben gezeigt, dass in Kombination mit ferritischen Stählen, die einen Chromgehalt von 20–24% und insbesondere auch geringe Gehalte von weniger als 2% an Mangan aufweisen, die chemische Wechselwirkungen am geringsten ist, wenn auch für das Material der Verbindungsschicht eine Mangan-haltige Keramik eingesetzt wird. Dazu gehören insbesondere die als Kathodenwerkstoffe bekannten Materialien auf $(La, Sr)(Mn, Co)O_3$ -Basis (siehe DE 197 02 619 C1), die jedoch wegen der höheren Widerstandswerte in Kombination mit ferritischen Metallen als Verbindungswerkstoff wenig attraktiv erschienen.

[0007] Larring und T. Norby zeigten, dass die niedrigsten Obergangswiderstände ($R_0 < 0,01 \Omega \text{ cm}^2$) mit keramischen Werkstoffen aus Lanthankobaltit $(La_{1-x}Sr_xCoO_3$ mit $0 < x < 0,2$) als Verbindungsschicht erhalten wurden. Betrachtet man einen heute üblichen inneren, flächenbezogenen Widerstand einer Brennstoffzelle von 0,3–0,5 $\Omega \text{ cm}^2$, entspricht ein Spannungsabfall von $0,01 \Omega \text{ cm}^2$ an der Interkonnektor-Kathoden-Grenzfläche ca. 2–3% des Gesamtwiderstands. Andere Materialkombinationen zeigten jedoch Widerstände, die nachteilig um den Faktor 2–100 größer waren und damit den flächenbezogenen Widerstand einer Brennstoffzelle zu

stark beeinträchtigen.

[0008] Nachteilig an den bislang bekannten keramischen Verbindungen ist auch, dass die Schichten, die sich aus den keramischen Pasten bilden, regelmäßig sehr porös sind und dadurch eine Korrosion des Stahls durch die durchströmende Luft im Kathodenraum nicht zu verhindern vermögen.

[0009] Dies ist insofern von Belang, da aus R. Ruckdäschel, R. Henne, G. Schiller, H. Greiner, in: Proc. 5th Int. Symp. Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-V), Hrsg.: U. Stimming, S. C. Singhal, H. Tagawa, W. Lehnert, The Electrochemical Society, Pennington, NJ, 1997, S. 1273 bekannt ist, dass eine korrosionsschützende Keramikschicht dicht sein sollte, damit auch eventuelle Kontaminationen der Kathode durch Chrom aus dem Stahl vermieden werden.

Aufgabe und Lösung

[0010] Aufgabe der Erfindung ist es, eine keramische Schicht für den Einsatz in einer Brennstoffzelle zu schaffen, die bei Temperaturen unterhalb von 900°C eine leitfähige und fest haftende Verbindungsschicht zwischen einer Elektrode und einem Interktor dieser Brennstoffzelle zu bilden vermag und einen elektrischen Übergangswiderstand R_0 von weniger als $0,01 \Omega \text{ cm}^2$ aufweist.

[0011] Ferner ist es Aufgabe der Erfindung, ein Herstellungsverfahren für eine solche Verbindungsschicht zu schaffen. Auch ist es Aufgabe der Erfindung eine Brennstoffzelle bzw. einen Brennstoffzellenstapel für den Betrieb bei niedrigen Betriebstemperaturen zur Verfügung zu stellen, bei der bzw. dem eine leitfähige und fest haftende Verbindung zwischen einer Elektrode und einem Interktor, insbesondere aus ferritischem Stahl, vorliegt und der Übergangswiderstand zwischen Elektrode und Stahl so gering und stabil ist, dass dieser praktisch keinen Einfluss auf den Langzeitbetrieb ausübt.

[0012] Die Aufgaben der Erfindung werden gelöst durch ein Herstellungsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Die Aufgabe wird weiterhin gelöst durch einen Stahl-Keramik-Verbund mit den Merkmalen des Nebenanspruchs. Ferner wird die Aufgabe durch die Verwendung dieses Stahl-Keramik-Verbunds gemäß weiterem Nebenanspruch gelöst.

[0013] Vorteilhafte Ausführungsformen des Herstellungsverfahrens, des Stahl-Keramik-Verbunds sowie seiner Verwendung sind den jeweils darauf rückbezogenen Ansprüchen zu entnehmen.

Gegenstand der Erfindung

[0014] Der erfindungsgemäße Stahl-Keramik-Verbund besteht aus einem Interktor aus Stahl und einer darauf angeordneten keramischen Verbindungsschicht. Mit Hilfe dieser keramischen Verbindungsschicht zwischen Stahl und Keramik kann eine Elektrode und ein Interktor einer Brennstoffzelle miteinander verbunden werden, wobei die Verbindungsschicht die gleiche oder ähnliche Zusammensetzung wie die Elektrode aufweist.

[0015] Der Interktor des erfindungsgemäßen Stahl-Keramik-Verbundes besteht vorteilhaft aus einem Stahl, insbesondere einem ferritischen Stahl, wie er beispielsweise in DE 100 25 108 A1 beschrieben wird. Dort werden Stähle offenbart, die eine chromoxidbildende Legierung mit 12 bis 28 Gew.-% Chrom, 0,1 bis 0,4 Gew.-% wenigstens eines sauerstoffaffinen Elements aus der Gruppe (Y, Ce, Zr, Hf und La), 0,2 bis 1 Gew.-% Mn, 0,1 bis 0,4 Gew.-% Ti, sowie bis 2 Gew.-% eines weiteren Elements aus der Gruppe (Hf, Sr, Ca und Zr) enthalten, welches die elektrische Leitfähigkeit von Oxiden auf Cr-Basis erhöht. Solche Werkstoffe bilden bei Temperaturen zwischen 700 und 950°C an der Grenzfläche Oxid/Gas regelmäßig eine MnCr_2O_4 -Spinellphase aus. Optional können solche Stähle auch noch 0,1 bis 0,4 Gew.-% eines weiteren Elements aus der Gruppe (Hf, Sr, Ca und Zr) aufweisen, sowie bis zu 0,5 Gew.-% Si und/oder Aluminium. Die vorgenannten Stähle mit einem Chromgehalt von 18 bis 24 Gew.-% haben sich als besonders vorteilhaft herausgestellt.

[0016] Der erfindungsgemäße Stahl-Keramik-Verbund weist ferner eine keramische Verbindungsschicht auf. Als geeignete Materialien für eine solche Verbindungsschicht können insbesondere Perowskite mit einer Zusammensetzung gemäß der Formel $\text{Ln}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{1-y}\text{Co}_y\text{O}_{3-\delta}$ oder $\text{Ln}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Fe}_{1-y}\text{Co}_y\text{O}_{3-\delta}$ genannt werden, mit $0,1 \leq x \leq 0,4$, $0,1 \leq y \leq 0,6$, $0 \leq \delta \leq x/2$ und $\text{Ln} = \text{La} - \text{Lu}$.

[0017] Es hat sich herausgestellt, dass diese Materialien eine elektrische Leitfähigkeit von 60 bis 600 S/cm aufweisen und schon bei Temperaturen von 700°C bis 900°C sehr gut haftende Schichten auf einem Interkon-

nekotor bzw. einer Elektrode ausbilden. Der Wert von 60 S/cm wird dabei von Verbindungen mit $x, y = 0,1$ erreicht, während der größere Wert für Verbindungen mit $x = 0,4; y = 0,6$ erhalten wird.

[0018] Diese keramische Verbindungsschicht in dem Verbund ermöglicht es daher vorteilhaft, bei Brennstoffzellen-Systemen, die bei geringeren Betriebstemperaturen als 900°C betrieben werden, ferritischen Stahl als Interkonnektormaterial einzusetzen. Ein solcher Stahl ist vorteilhaft sehr viel kostengünstiger als die Materialien, die bislang für einen Hochtemperatureinsatz notwendig sind, wie beispielsweise Chrom-Basis-Legierungen.

[0019] Diese vorgenannten Eigenschaften können insbesondere durch das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren des Stahl-Keramik-Verbundes erzielt werden. Dabei wird zunächst ein Pulver mit der Zusammensetzung der keramischen Verbindungsschicht hergestellt. Dieses Pulver wird bei der Herstellung einer maximalen Temperaturbehandlung von 500 bis 700°C ausgesetzt. Dieser Verfahrensschritt ermöglicht einerseits, dass die bei der Herstellung des Pulvers benötigten flüchtigen Bestandteile ausgetrieben werden. Ferner zeigen die auf diese Art behandelten Pulver vorteilhaft die Eigenschaft, dass sie, wenn sie auf den ferritischen Interkonnektor aufgebracht werden, in einem nachfolgenden Fügeprozess um 800 bis 900°C sehr gute Hafteigenschaften aufweisen, die deutlich über den bekannten Hafteigenschaften liegen, wie sie für die Kombination Interkonnektor auf Chrom Basis Legierung und Verbindungsschicht aus Kathodenmaterial einer SOFC liegen. Zudem konnten durch Änderung der Pulveraufbereitung im Anschluss an das bekannte Herstellungsverfahren der Tropfenpyrolyse Keramikpulver hergestellt werden, die zwischen 700 und 900°C eine ausreichende Sinterfähigkeit besitzen, und den zuvor genannten Nachteil nicht mehr aufwiesen (siehe dazu [4]).

[0020] Das Pulver selbst wird in Form einer Suspension oder einer Paste auf den Interkonnektor aufgebracht. Dazu geeignete Verfahren wie beispielsweise Pulverspritzen oder Rakeln oder Rollen sind aus dem Stand der Technik bekannt. Geeignete Schichtdicken für die aufgebrachte Suspension oder Paste liegen im Bereich von 20 bis 100 µm.

[0021] Bei dem Herstellungsverfahren des erfindungsgemäßen Stahl-Keramik-Verbundes kann vorteilhaft auch gleich eine Elektrode mit einbezogen werden. Das bedeutet, dass die Suspension oder die Paste, die den Perowskiten für die Verbindungsschicht aufweist, zwischen dem Interkonnektor und der Elektrode angeordnet wird. Zusammen können dann der Interkonnektor, die Elektrode und die dazwischen angeordnete Suspension oder Paste bei Temperaturen zwischen 700 und 900°C gefügt werden.

[0022] Vorteilhaft kann das Material für diese elektrisch leitfähige, keramische Verbindungsschicht zwischen Interkonnektor und Kathode genutzt werden, um so zusätzlich Fertigungstoleranzen auszugleichen.

[0023] Im Rahmen dieser Erfindung konnte außerdem auch das Probleme der höheren Übergangswiderstandswerte in Kombination mit anderen (ferritischen) Metallen überwunden werden, da die so hergestellten Verbindungsschichten in Kombination mit einem ferritischen Interkonnektor regelmäßig einen sehr kleinen Übergangswiderstand von weniger als $R = 0,01 \Omega \text{ cm}^2$ aufweisen, und der auch im Dauerbetrieb einer Brennstoffzelle keine merklichen Änderungen zeigt (ΔR von weniger als $0,005 \Omega \text{ cm}^2$ pro 1000 Stunden Betriebsdauer). Dies lässt sich auf die sehr dünne Korrosionsschicht zurückführen, die sich bei den erfindungsgemäßen Materialkombinationen an der Grenzfläche zwischen Interkonnektor und keramischer Verbindungsschicht ausbildet. Es wurde eine nur sehr geringe Wachstumskinetik der Korrosionsschicht beobachtet. So konnte selbst nach einigen hundert Stunden Betriebsdauer in einer Hochtemperatur-Brennstoffzelle bei ca. 750°C Betriebstemperatur eine nur 0,1 bis 2 µm dicke Korrosionsschicht nachgewiesen werden.

Spezieller Beschreibungsteil

[0024] Im Folgenden wird die Erfindung anhand zweier Figuren und eines Ausführungsbeispiels zur Herstellung einer erfindungsgemäßen Verbindungsschicht näher erläutert, ohne dass der Erfindungsgegenstand dadurch beschränkt werden soll.

[0025] Es zeigen:

[0026] [Fig. 1](#): Kontaktwiderstandsmessungen an erfindungsgemäßen Stahl-Keramik-Verbunden bei 750°C. Die Kurven zeigen den Verlauf für die Materialkombinationen:

- 1: Fe 22Cr Mn-Stahl und $\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{Mn}_{0,5}\text{Co}_{0,5}\text{O}_{3-\delta}$ -Keramik,
- 2: Fe 22Cr Mn-Stahl und $\text{Y}_{0,3}\text{Ca}_{0,7}\text{MnO}_{3-\delta}$ -Keramik,
- 3: Fe 23Cr Mn-Stahl und $\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{CoO}_{3-\delta}$ -Keramik,

4: Fe 23Cr Mn-Stahl und $\text{Y}_{0,3}\text{Ca}_{0,7}\text{MnO}_{3-\delta}$ -Keramik.

[0027] [Fig. 2](#): Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen Fe 22Cr Mn-La_{0,8}Sr_{0,2}Mn_{0,5}Co_{0,5}O_{3-δ}-Verbund nach 1000 Stunden Test bei 750°C. oben: Stahl, unten: Keramik. Die dunkelgraue Reaktionszone zwischen Stahl und Keramik ist etwa 1–1,5 µm dick.

[0028] Gegenstand der Erfindung ist ein Stahl-Keramik-Verbund, der eine hohe elektrische Leitfähigkeit für einen elektrischen Kontakt zwischen Kathode und Interktor (in diesem Fall einem ferritischen Stahl) aufweist und der bereits bei Temperaturen von 700–900°C gut haftende Schichten ausbildet. Die für den erfindungsgemäßen Stahl-Keramik-Verbund verwendeten keramischen Materialien sind gut bekannt als Kathodenmaterialien für die oxidkeramische Brennstoffzelle und bestehen aus (La, Sr)(Mn, Co)O_{3-δ}-Perowskiten.

[0029] Die Schichten aus diesen Materialien sind bei den angegebenen Temperaturen verformbar und können während der Assemblierung innere Spannungen durch die geometrische Anordnung des Zellenstapels, einer außen angelegten Kraft abbauen.

[0030] Als Beispiel ist hier die Verfahrensweise für die Zusammensetzung La_{0,8}Sr_{0,2}Mn_{0,5}Co_{0,5}O_{3-δ} angeführt:

- Aus den entsprechenden Nitrat- und Acetatsalzen und Wasser gemäß [4] wird ein Rohpulver hergestellt, dass nach der Tropfenpyrolyse noch weitgehend amorph ist und flüchtige Bestandteile enthält.
- Zum Austreiben dieser flüchtige Bestandteile wird das Pulver einer Temperaturbehandlung unterzogen, die jedoch noch nicht dazu führt, dass Sinterprozesse eintreten. Typischerweise liegen die Temperaturen für die Pulverbearbeitung bei 500–700°C. Flüchtige Bestandteile sind innerhalb weniger Stunden ausgetrieben.
- 100 g des Pulvers mit einer mittleren Korngröße zwischen 0,3 bis 1,5 µm wird mit 100 bis 300 g einer ethanolischen Lösung vermischt und anschließend auf einer Rollenbank so homogenisiert, dass eine stabile Suspension entsteht. Zur Stabilisierung der Suspension werden 1 bis 8 g Dispergiermittel, wie beispielsweise Dolapix ET85®, Dolapix PC33®, Hypermer KD2®, Hypermer KD6®, Hypermer KD7® bzw. BYK 9077® und 1 bis 10 g Binder, wie z. B. Poly(vinyl acetat), Methyl- bzw. Ethylecellulosen oder Polyvinylalkohole verwendet.
- Diese Suspension wird durch eine Sprühtechnik, in diesem Fall durch Naßpulverspritzen, auf die Interktorplatten aus ferritischem Stahl aufgebracht, wodurch eine vollständige Beschichtung sowohl der Leitungsstege als auch der Gaskanäle erzielt wird. Die Dicke der Schicht sollte nach der Beschichtung etwa 20–100 µm betragen.
- Nach Trocknen der Schicht werden die besprühten Interktorplatten und die am Rand mit Glaslot beschichteten Brennstoffzellen abwechselnd zu einem Brennstoffzeilenstapel zusammengesetzt.
- Nach dem Einsetzen in ein Metallgehäuse mit Gasversorgungseinrichtung wird dieses Modul auf 800–900°C, vorzugsweise 850°C für 2 bis 5 Stunden aufgeheizt und ist dann einsatzfähig,

[0031] Bei der Beschreibung der Figuren werden folgende Abkürzungen verwendet:

Fe 22Cr Mn-Stahl = (JS3),

Fe 23Cr Mn-Stahl = (ZMG232),

La_{0,8}Sr_{0,2}Mn_{0,5}Co_{0,5}O_{3-δ}-Keramik = (LSMC) und

Y_{0,3}Ca_{0,7}MnO_{3-δ}-Keramik = (YCM),

[0032] Das Resultat eines solchen Stahl-Keramik-Verbundes (1), d. h. eines Fe 22Cr Mn-La_{0,8}Sr_{0,2}Mn_{0,5}Co_{0,5}O_{3-δ}-Verbundes ist in [Fig. 1](#) dargestellt. Dieser Verbund zeigt zu Beginn der Messung einen sehr geringen Widerstand von $R_0 = 0,008 \Omega \text{ cm}^2$. Während der gesamten Messdauer ändert sich der Widerstand nur um $0,002 \Omega \text{ cm}^2/1000 \text{ h}$ und ist damit außerordentlich stabil.

[0033] Der Vergleich in [Abb. 1](#) mit Y_{0,3}Ca_{0,7}MnO_{3-δ} und dem Stahl ZMG232 (2) zeigt, dass sowohl die Keramik als auch der Stahl einen wesentlichen Einfluss auf den Widerstand ausübt, wobei die Stahlzusammensetzung nur geringfügig anders ist (Hauptbestandteile). Die Angaben in der folgenden Tabelle sind Angaben in Gew.-%

	Fe	Cr	Si	Mn	Ni	Al	N
ZMG232	74,3	22,0	0,43	0,51	1,3	0,24	0,004
JS3	75,2	22,9	0,14	0,55	0,95	0,17	0,013

[0034] Als Gründe für die niedrigen Widerstände ist anzuführen, dass

- die Reaktionszone zwischen Fe 22Cr Mn-Stahl und La_{0,8}Sr_{0,2}Mn_{0,5}Co_{0,5}O_{3-δ}-Keramik nach 500 Stunden

Testdauer bei 750°C nur etwa 0,5 µm und nach 1000 Stunden Testdauer nur etwa 1 bis 1,5 µm dick ist (siehe [Fig. 2](#)) und dass

b) durch den niedrigeren Si-Gehalt keine SiO₂-Anreicherungen an der Reaktionszone zu beobachten sind.

[0035] In der Anmeldung zitierte Literatur:

- [1] D. Stolten, in: Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, Hrsg.: G. Ziegler, DGM Informationsgesellschaft-Verlag, 1996, S. 283
- [2] H. P. Buchkerner, U. Diekmann, L. G. J. de Haart, H. Kabs, U. Stimming, D. Stöver, in: Proc. 5th Int. Symp. Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-V), Hrsg.: U. Stimming, S. C. Singhal, H. Tagawa, W. Lehnert, The Electrochemical Society, Pennington, NJ, 1997, S. 160
- [3] Y. Larring und T. Norby, J. Electrochem. Soc. 147 (2000) 3251–3256).
- [4] N. Christiansen und P. Gordes, Powder Synthesis and Tape Casting o Strontium Doped Lanthanum Manganites for SOFC Electrodes, in Proc. Second Intl. Symp. on Solid Oxide Fuel Cells, ed. F. Grosz und P. Zegers, Athen (1991), S. 495).

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Stahl-Keramik-Verbundes umfassend einen Interktor aus Stahl, sowie eine darauf angeordnete keramische, elektrisch leitfähige Verbindungsschicht, mit den Schritten

- a) es wird ein Interktor aus einem ferritischen Stahl umfassend 18–24 Gew.-% Cr eingesetzt,
- b) auf den Interktor wird eine Suspension oder Paste umfassend einen Perowskiten mit der Zusammensetzung $\text{Ln}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{1-y}\text{Co}_y\text{O}_{3-\delta}$ oder $\text{Ln}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Fe}_{1-y}\text{Co}_y\text{O}_{3-\delta}$ aufgebracht, mit $0,1 \leq x \leq 0,4$, $0,1 \leq y \leq 0,6$, $0 \leq \delta \leq x/2$ und $\text{Ln} = \text{La} - \text{Lu}$,
- c) der Interktor und die darauf aufgebrachte Suspension oder Paste werden auf eine Fügetemperatur zwischen 800–900°C erwärmt, wobei sich aus der Suspension oder der Paste die keramische, elektrisch leitfähige Verbindungsschicht ausbildet.

2. Verfahren nach vorhergehendem Anspruch 1, bei dem

- a) zunächst aus einer nitrat- und acetathaltigen Lösung ein Rohpulver mit einer Zusammensetzung gemäß der Formel $\text{Ln}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{1-y}\text{Co}_y\text{O}_{3-\delta}$ oder $\text{Ln}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Fe}_{1-y}\text{Co}_y\text{O}_{3-\delta}$ mit $0,1 \leq x \leq 0,4$, $0,1 \leq y \leq 0,6$, $0 \leq \delta \leq x/2$ und $\text{Ln} = \text{La} - \text{Lu}$ hergestellt wird,
- b) das Pulver bei 500–700°C temperaturbehandelt wird,
- c) und aus dem Pulver eine Suspension oder Paste hergestellt wird, die auf den Interktor aufgebracht wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 2, bei dem ein Interktor aus einem ferritischen Stahl umfassend 18–24 Gew.-% Cr und weiteren Legierungselementen, insbesondere Mn, mit jeweils weniger als 2 Gew.-%, eingesetzt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 3, bei dem das Aufbringen der Suspension oder Paste zwischen dem Interktor und einer oxidkeramischen Kathode erfolgt, und der Interktor, die aufgebrachte Suspension oder Paste und die Kathode gemeinsam auf die Fügetemperatur zwischen 800–900°C erwärmt werden.

5. Stahl-Keramik-Verbund hergestellt nach einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, umfassend

- a) einen Interktor aus einem ferritischen Stahl mit 18–24 Gew.-% Cr sowie
- b) eine darauf angeordnete keramische, elektrisch leitfähige Verbindungsschicht, die einen Perowskiten der Zusammensetzung $\text{Ln}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnCo}_{1-y}\text{O}_{3-\delta}$ oder $\text{Ln}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Fe}_{1-y}\text{Co}_y\text{O}_{3-\delta}$ aufweist, mit $0,1 \leq x \leq 0,4$, $0,1 \leq y \leq 0,6$, $0 \leq \delta \leq x/2$ und $\text{Ln} = \text{La} - \text{Lu}$, wobei
- c) der Anfangsübergangswiderstand an der Grenzfläche Interktor – keramische Verbindungsschicht weniger als $R = 0,01 \Omega \text{ cm}^2$ beträgt.

6. Stahl Keramik-Verbund nach vorhergehendem Anspruch 5, der im Dauereinsatz bei Temperaturen unterhalb von 900°C an der Grenzfläche Interktor keramische Verbindungsschicht eine Korrosionsschicht aufweist, die dünner als 2, µm, insbesondere dünner als 1 µm ist.

7. Stahl-Keramik-Verbund nach einem der vorhergehenden Ansprüche 5 bis 6, bei dem der Übergangswiderstand bei Einsatz unterhalb von 850°C eine Widerstandsänderung ΔR von weniger als $0,005 \Omega \text{ cm}^2$ pro 1000 Stunden Betriebsdauer aufweist.

8. Stahl-Keramik-Verbund nach einem der vorhergehenden Ansprüche 5 bis 7, bei dem der Interkonnektor aus einem ferritischen Stahl mit 18–24 Gew.-% Cr und weiteren Legierungselementen, insbesondere Mn, mit jeweils weniger als 2 Gew.-%, besteht.

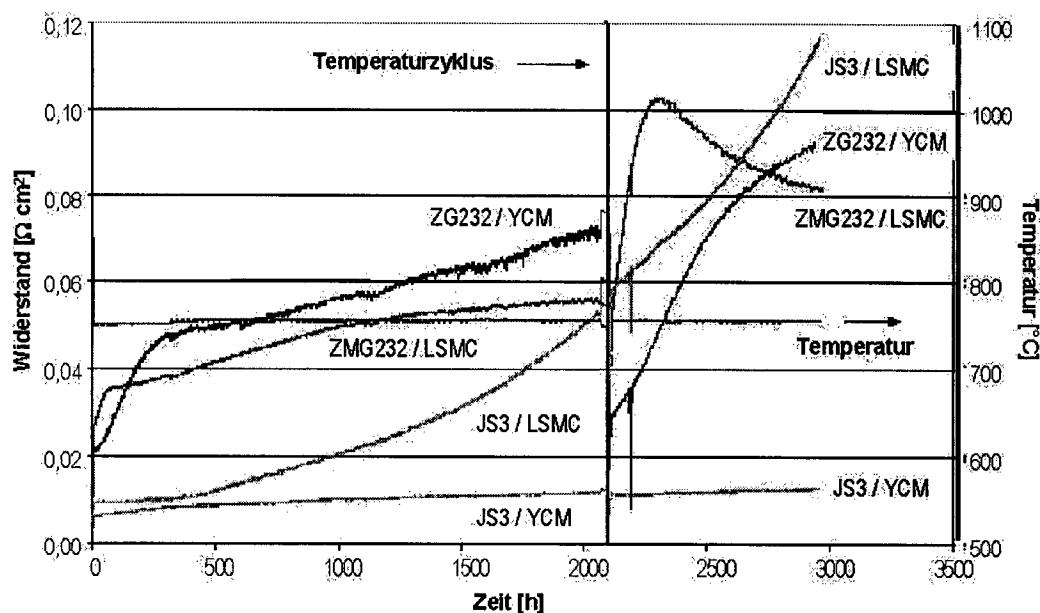
9. Stahl-Keramik-Verbund nach einem der vorhergehenden Ansprüche 5 bis 8, bei dem die keramische Verbindungsschicht eine Zusammensetzung gemäss der Formel $\text{Ln}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{1-y}\text{Co}_y\text{O}_{3-\delta}$ oder $\text{Ln}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Fe}_{1-y}\text{Co}_y\text{O}_{3-\delta}$ aufweist, mit $0,1 \leq x \leq 0,4$, $0,1 \leq y \leq 0,6$, $0 \leq \delta \leq x/2$ und $\text{Ln} = \text{La} - \text{Lu}$.

10. Verwendung eines Stahl-Keramik-Verbunds nach einem der Ansprüche 5 bis 9 in einer Hochtemperatur-Brennstoffzelle.

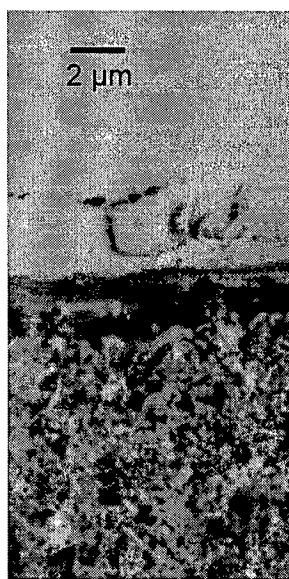
11. Verwendung eines Stahl-Keramik-Verbunds nach Anspruch 5 bis 9 in einem Hochtemperatur-Brennstoffzellenstapel.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



Figur 1



Figur 2