(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2010 001 567 A1** 2011.08.04

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 001 567.9**
(22) Anmeldetag: **04.02.2010**
(43) Offenlegungstag: **04.08.2011**

(51) Int Cl.: ***B22F 1/00*** (2006.01)
H05K 1/09 (2006.01)
H01L 21/44 (2006.01)
G01N 27/416 (2006.01)

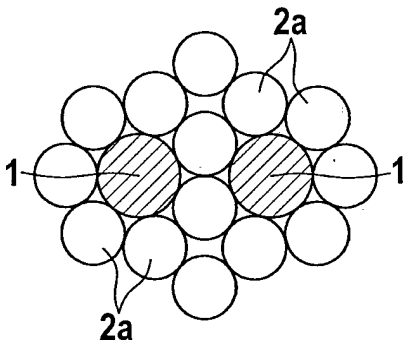
(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469, Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Widenmeyer, Markus, 71101, Schönaich, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Elektrisch leitfähiges Material**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein elektrisch leitfähiges Material, welches Kerne (1) aus einem Metall oder Metallgemisch, ausgewählt aus der Gruppe A bestehend aus Platin, Rhodium, Gold, Palladium, Silber, Kupfer, Iridium, Ruthenium, Osmium, Rhenium und Mischungen davon, umfasst wobei die Kerne von Oxid/en (2a, 2b, 2c) eines Metalls oder Metallgemischs, ausgewählt aus der Gruppe B bestehend aus Silizium, Germanium, Zinn, Bor, Aluminium, Gallium, Indium, Beryllium, Magnesium, Scandium, Yttrium, Lanthan, den Lanthaniden, Titan, Zirkonium, Hafnium, Niob, Tantal, Chrom, Molybdän, Wolfram, Mangan, Eisen, Cobalt, Nickel, Zink und Mischungen davon, zumindest teilweise umgeben sind und das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Kerne (1) eine durchschnittliche Größe von kleiner oder gleich 100 nm aufweisen. Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines derartigen elektrisch leitfähigen Materials.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein elektrisch leitfähiges Material, insbesondere ein Elektroden- und/oder Leiterbahnmaterial, und ein Verfahren zur Herstellung eines solchen.

Stand der Technik

[0002] In technischen Anwendungen werden thermisch und korrosiv hochstabile Elektroden- und Leiterbahnmaterialien benötigt, die überwiegend metallisch und elektrisch leitfähig sind sowie eine nanoskalige und regelmäßig definierte Struktur aufweisen.

[0003] Die Druckschrift US 2007/0251822 A1 beschreibt chemochrome Nanoteilchen, welche als Pigmente, Farben, Beschichtungen und Tinten eingesetzt werden können.

Offenbarung der Erfindung

[0004] Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein elektrisch leitfähiges Material, insbesondere ein Elektrodenmaterial und/oder Leiterbahnmaterial und/oder elektrisch leitfähiges, chemosensitives, insbesondere gassensitives, Material, welches

– Kerne aus einem Metall oder Metallgemisch, ausgewählt aus der Gruppe A bestehend aus Platin, Rhodium, Gold, Palladium, Silber, Kupfer, Iridium, Ru-Osmium, Rhenium und Mischungen davon, umfasst,

– wobei die Kerne von Oxid/en eines Metalls oder Metallgemischs, ausgewählt aus der Gruppe B bestehend aus Silizium, Germanium, Zinn, Bor, Aluminium, Gallium, Indium, Beryllium, Magnesium, Scandium, Yttrium, Lanthan, den Lanthaniden, Titan, Zirkonium, Hafnium, Niob, Tantal, Chrom, Molybdän, Wolfram, Mangan, Eisen, Cobalt, Nickel, Zink und Mischungen davon, zumindest teilweise umgeben sind, und

das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Kerne eine durchschnittliche Größe von kleiner oder gleich 100 nm, insbesondere von ≥ 0,4 nm bis ≤ 100 nm, beispielsweise von ≥ 0,5 nm bis ≤ 40 nm, zum Beispiel von ≥ 1 nm bis ≤ 7 nm, aufweisen.

[0005] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird unter einem „elektrisch leitfähigen Material" insbesondere ein Material verstanden, welches eine spezifische Leitfähigkeit von mindestens 10 Sm^{-1}.

[0006] Im Sinn der vorliegenden Erfindung werden unter den „Lanthaniden" insbesondere die Elemente: Cer, Praseodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium und Lutetium verstanden.

[0007] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung werden die Halbmetalle (Bor, Silizium, Germanium) zu den Metallen gezählt.

[0008] Insbesondere können die Kerne von Oxid/en eines Metalls oder Metallgemischs, der Gruppe B im Wesentlichen vollständig umgeben sein. Dabei wird unter „im Wesentlichen vollständig umgeben" insbesondere verstanden, dass Abweichungen, die darauf beruhen:

– dass das Oxid beziehungsweise die Oxide Poren, die zumindest gasdurchlässige sind, beispielsweise eine durchschnittliche Porengröße von ≥ 0,1 nm bis ≤ 5 nm, aufweisen, und/oder

– dass zwei oder mehr Kerne, die einander kontaktieren, und/oder

– dass ein Kern oder mehrere Kerne, die eine Substratoberfläche kontaktieren,

umfasst sind.

[0009] Das elektrisch leitfähige Material kann insbesondere durch ein später erläutertes Verfahren hergestellt werden.

[0010] Insbesondere aufgrund der oxidischen Umgebung, kann das elektrisch leitfähige Material vorteilhafterweise korrosionsbeständig und/oder temperaturstabil sein. Dabei kann unter „korrosionsbeständig" verstanden werden, dass sich das Material nach 10 Stunden bei 400°C in einem Gasgemisch, aus 10, 00000 Volumenprozent Sauerstoff, 10,00000 Volumenprozent Wasserdampf, 0,00100 Volumenprozent Stickstoffmonoxid, 0,00005 Volumenprozent Schwefeldioxid und 79,99895 Volumenprozent Stickstoff, mittels Rasterelektronenmikroskopie nicht nachweisbar verändert. Dabei wird unter „temperaturstabil" insbesondere verstanden, dass sich das Material nach 10 Stunden bei 400°C in Luft mittels Rasterelektronenmikroskopie nicht nachweisbar verändert. Weiterhin kann das Material porös sein. Darüber hinaus können die Kerne und Oxide in dem Material im Wesentlichen homogen verteilt vorliegen. Ferner kann das elektrisch leitfähige Material eine regelmäßig definierte Struktur im Nanometerbereich aufweisen.

[0011] Zudem können Elektroden, Leiterbahnen beziehungsweise Schichten aus einem erfindungsgemäßen elektrisch leitfähigen Material vorteilhafterweise eine geringe Neigung zu Spannungen, eine hohe Korrosionsbeständigkeit und/oder Temperaturstabilität sowie Kontaktierungs- und Verfahrensvorteile aufweisen. Insbesondere aufgrund der hohen Korrosionsbeständigkeit und Temperaturstabilität, können aus einem erfindungsgemäßen elektrisch leitfähigen Material dünnere Elektroden, Leiterbahnen beziehungsweise Schichten für Anwendungen in chemisch aggressiven, insbesondere oxidativen, Atmosphären bei Temperaturen von über 500°C hergestellt werden als beispielsweise aus reinem Platin,

welches unter diesen Bedingungen degradieren, insbesondere schwinden, und reißen kann. Darüber hinaus kann das erfindungsgemäße elektrisch leitfähige Material insbesondere Kontaktierungs- und Verfahrensvorteile aufweisen, wenn eine Elektrode oder Schicht aus dem erfindungsgemäßen elektrisch leitfähigen Material mit einer Leiterbahn aus dem erfindungsgemäßen elektrisch leitfähigen, Material kontaktiert wird.

[0012] Vorzugsweise verändert sich das Material auch nach 10 Stunden bei 500°C, insbesondere bei 600°C, in einem Gasgemisch aus 10,00000 Volumenprozent Sauerstoff, 10,00000 Volumenprozent Wasserdampf, 0,00100 Volumenprozent Stickstoffmonoxid, 0,00005 Volumenprozent Schwefeldioxid und 79,99895 Volumenprozent Stickstoff, mittels Rasterelektronenmikroskopie nicht nachweisbar. Vorzugsweise verringert und sich die elektrische Leitfähigkeit des Materials bei – der Behandlung in dem Gasgemisch, aus 10,00000 Volumenprozent Sauerstoff, 10,00000 Volumenprozent Wasserdampf, 0, 00100 Volumenprozent Stickstoffmonoxid, 0,00005 Volumenprozent Schwefeldioxid und 79,99895 Volumenprozent Stickstoff, nicht mehr als zwei Größenordnungen oder in Luft um nicht mehr als zwei Größenordnungen, vorzugsweise um nicht mehr als eine Größenordnung, insbesondere um nicht mehr als 50° %.

[0013] Das Material kann insbesondere Partikel aufweisen, welche jeweils einen Kern aus einem Metall oder Metallgemisch der Gruppe A aufweisen, welcher zumindest teilweise, insbesondere im Wesentlichen vollständig, mit einer Oxidschicht eines Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B umgeben ist.

[0014] Auch im Rahmen der Oxidschicht wird unter „im Wesentlichen vollständig umgeben" insbesondere verstanden, dass Abweichungen, die darauf beruhen:

– dass die Oxidschicht Poren, die zumindest gasdurchlässige sind, beispielsweise eine durchschnittliche Porengröße von ≥ 0,1 nm bis ≤ 5 nm, aufweisen, und/oder
– dass zwei oder mehr Kerne, die einander kontaktieren, und/oder
– dass ein Kern oder mehrere Kerne, die eine Substratoberfläche kontaktieren,

umfasst sind.

[0015] Im Rahmen einer Ausführungsform des Materials ist das Material aus miteinander verbundenen Partikeln mit dazwischen liegenden Poren aufgebaut ist, wobei die Partikel jeweils einen Kern aus einem Metall oder Metallgemisch der Gruppe A aufweisen, welcher zumindest teilweise, insbesondere im Wesentlichen vollständig, mit einer Oxidschicht eines Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B umgeben ist. Dies hat den wesentlichen Vorteil, dass die Kerne durch die Oxidschicht stabilisiert werden. Insbesondere werden die Kerne dadurch im Wesentlichen gegen thermisch induzierte Vergröberungen und Versinterungen geschützt. Ferner können die Kerne vor Umgebungseinflüssen, insbesondere Korrosionsmittel, geschützt werden. Trotz dieses Schutzes kann das Material aufgrund der Porosität katalytisch aktiv sein, was beispielsweise für manche Anwendungen im Sensorbereich vorteilhaft ist. Im Rahmen dieser Ausführungsform kann das Material einerseits zwischen den Partikel liegende Poren und andererseits Poren in der Oxidschicht, die zumindest gasdurchlässige sind, beispielsweise eine durchschnittliche Porengröße von ≥ 0,1 nm bis ≤ 5 nm aufweisen, umfassen.

[0016] Die Partikel können eine durchschnittliche Partikelgröße von kleiner oder gleich 110 nm, beispielsweise von kleiner oder gleich 50 nm, insbesondere von kleiner oder gleich 25 nm, zum Beispiel von kleiner oder gleich 15 nm, gemessen durch Rasterelektronenmikroskopie, aufweisen.

[0017] Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des Materials weisen die Partikel eine durchschnittlichen Partikelgröße von ≥ 0,5 nm bis ≤ 110 nm, beispielsweise von ≥ 1 nm bis ≤ 50 nm, insbesondere von ≥ 1 nm bis ≤ 25 nm, zum Beispiel von ≥ 2 nm bis ≤ 15 nm, gemessen durch Rasterelektronenmikroskopie, auf.

[0018] Die zwischen den Partikeln liegenden Poren können eine durchschnittlichen Porengröße von kleiner oder gleich 50 nm, beispielsweise von kleiner oder gleich 25 nm, insbesondere von kleiner oder gleich 15 nm, zum Beispiel von kleiner oder gleich 10 nm, gemessen durch Rasterelektronenmikroskopie, aufweisen.

[0019] Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des Materials weisen die zwischen den Partikeln liegenden Poren eine durchschnittlichen Porengröße von ≥ 0,1 nm bis ≤ 50 nm, beispielsweise von ≥ 0,2 nm bis ≤ 20 nm, insbesondere von ≥ 0,3 nm bis ≤ 10 nm, zum Beispiel von ≥ 0,5 nm bis ≤ 5 nm, gemessen durch Rasterelektronenmikroskopie, auf.

[0020] Das Material kann eine Leitfähigkeit von größer oder gleich 10^3 Sm^{-1}, insbesondere von größer oder gleich 10^6 Sm^{-1}, aufweisen. Darüber hinaus kann das Material eine BET-Oberfläche von größer oder gleich 10 m^2/g aufweisen.

[0021] Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des Materials umfasst das Material, bezogen auf die Gesamtanzahl an Metallatomen in dem Material:

– ≥ 65 Atomprozent bis ≤ 97 Atomprozent, insbesondere ≥ 80 Atomprozent bis ≤ 95 Atomprozent, an Metallen der Gruppe A und
– ≥ 3 Atomprozent bis ≤ 35 Atomprozent, insbesondere ≥ 5 Atomprozent bis ≤ 20 Atomprozent, an Metallen der Gruppe B
umfasst, wobei die Summe der Metallatome der Gruppen A und B zusammen 100 Atomprozent ergibt.

[0022] Aufgrund der geringen Anzahl an oxidbildenden Metallen der Gruppe B ist das elektrisch leitfähige Material vorteilhafterweise überwiegend metallisch.

[0023] Vorzugsweise besteht die Gruppe A aus Platin, Rhodium, Palladium, Iridium, Ruthenium, Rhenium, Gold und Mischungen davon. Beispielsweise kann das Metallgemisch der Gruppe A ein Metallgemisch, insbesondere eine Metalllegierung, sein welche Gold und Palladium umfasst. Gegebenenfalls kann das Gold-Platin-Metallgemisch weiterhin mindestens ein weiteres Metall ausgewählt aus Rhodium, Iridium, Ruthenium und Rhenium umfassen. Die Gruppe A kann jedoch auch nur aus Platin, Rhodium, Palladium, Iridium, Ruthenium, Rhenium und Mischungen davon, bestehen. Beispielsweise kann das Metall der Gruppe A reines Platin, Rhodium, Palladium, Iridium, Ruthenium oder Rhenium sein.

[0024] Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des Materials besteht die Gruppe A aus Platin, Rhodium, Rhenium und Mischungen davon, beispielsweise aus Platin und Rhodium.

[0025] Das Metall oder Metallgemisch der Gruppe A kann, bezogen auf die Gesamtanzahl an Metallatomen der Gruppe A, von ≥ 30 Atomprozent bis ≤ 100 Atomprozent an Platin, Rhodium, Palladium, Iridium, Ruthenium, Rhenium Gold oder einer Mischung davon, und von ≥ 0 Atomprozent bis ≤ 70 Atomprozent an Silber, Kupfer, Osmium oder einer Mischung davon umfassen, wobei die Summe der Atome von Platin, Rhodium, Gold, Palladium, Silber, Kupfer, Iridium, Ruthenium, Osmium und Rhenium zusammen 100 Atomprozent ergibt.

[0026] Alternativ dazu kann das Metall oder Metallgemisch der Gruppe A, bezogen auf die Gesamtanzahl an Metallatomen der Gruppe A, von ≥ 30 Atomprozent bis ≤ 100 Atomprozent an Platin, Rhodium, Palladium, Iridium, Ruthenium, Rhenium Gold oder einer Mischung davon, und von ≥ 0 Atomprozent bis ≤ 70 Atomprozent an Silber, Kupfer, Osmium oder einer Mischung davon umfassen, wobei die Summe der Atome von Platin, Rhodium, Gold, Palladium, Silber, Kupfer, Iridium, Ruthenium, Osmium und Rhenium zusammen 100 Atomprozent ergibt.

[0027] Vorzugsweise umfasst das Metall oder Metallgemisch der Gruppe A, bezogen auf die Gesamtanzahl an Metallatomen der Gruppe A, von ≥ 40 Atomprozent bis ≤ 100 Atomprozent, beispielsweise von ≥ 65 Atomprozent bis ≤ 95 Atomprozent, insbesondere von ≥ 65 Atomprozent bis ≤ 90 Atomprozent an Platin und von ≥ 0 Atomprozent bis ≤ 60 Atomprozent, beispielsweise von ≥ 5 Atomprozent bis ≤ 35 Atomprozent, insbesondere von ≥ 10 Atomprozent bis ≤ 35 Atomprozent an Rhodium, Palladium, Iridium. Ruthenium, Rhenium oder einer Mischung davon, wobei die Summe der Atome von Platin, Rhodium, Palladium, Iridium, Ruthenium und Rhenium zusammen 100 Atomprozent ergibt.

[0028] Zum Beispiel kann das Metall oder Metallgemisch der Gruppe A, bezogen auf die Gesamtanzahl an Metallatomen der Gruppe A, von ≥ 40 Atomprozent bis ≤ 100 Atomprozent, beispielsweise von ≥ 65 Atomprozent bis ≤ 95 Atomprozent, insbesondere von ≥ 65 Atomprozent bis ≤ 90 Atomprozent an Platin und von 0 Atomprozent bis ≤ 60 Atomprozent, beispielsweise von ≥ 5 Atomprozent bis ≤ 35 Atomprozent, insbesondere von ≥ 10 Atomprozent bis ≤ 35 Atomprozent an Rhodium, Rhenium oder einer Mischung davon, insbesondere Rhodium, umfassen, wobei die Summe der Atome von Platin, Rhodium und Rhenium, insbesondere Platin und Rhodium, zusammen 100 Atomprozent ergibt.

[0029] Vorzugsweise besteht die Gruppe B aus Aluminium, Gallium, Magnesium, Scandium, Yttrium, Lanthan, den Lanthaniden, Titan, Zirkonium, Hafnium, Niob, Tantal, Chrom, Wolfram, Mangan, Eisen oder einer Mischung davon.

[0030] Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des Materials besteht die Gruppe B aus Aluminium, Cer, Titan, Zirkonium, Hafnium, Niob, Tantal, Chrom oder einer Mischung davon, insbesondere aus Yttrium, Cer, Titan, Zirkonium, Tantal oder einer Mischung davon.

[0031] Beispielsweise kann das Metall oder Metallgemisch der Gruppe B und/oder die Verbindung des Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B, bezogen auf die Gesamtanzahl an Metallatomen der Gruppe A, von ≥ 70 Atomprozent bis ≤ 100 Atomprozent Aluminium, Cer, Titan, Zirkonium, Hafnium, Niob, Tantal, Chrom oder einer Mischung davon, und von ≥ 0 Atomprozent bis ≤ 30 Atomprozent an Silizium, Germanium, Zinn, Bor, Gallium, Indium, Beryllium, Magnesium, Scandium, Yttrium, Lanthan, Praseodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium, Lutetium, Molybdän, Wolfram, Mangan, Eisen, Cobalt, Nickel, Zink oder einer Mischung davon umfassen, wobei die Summe der Atome von Aluminium, Cer, Titan, Zirkonium, Hafnium, Niob, Tantal, Chrom, Silizium, Germanium, Zinn, Bor, Gal-

lium, Indium, Beryllium, Magnesium, Scandium, Yttrium, Lanthan, Praseodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium, Lutetium, Molybdän, Wolfram, Mangan, Eisen, Cobalt, Nickel und Zink zusammen 100 Atomprozent ergibt.

[0032] Das die Kerne zumindest teilweise umgebende Oxid kann sowohl ein Oxid eines Metalls als auch eine Mischung aus Oxiden von zwei oder mehr Metallen beziehungsweise ein Mischoxid sein. Beispielsweise kann Oxid eine Mischung aus einem Oxid eines ersten Metalls der Gruppe B, beispielsweise ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Yttrium, Cer, Titan, Zirkonium und Tantal, und einem Oxid eines zweiten, vom ersten unterschiedlichen Metalls der Gruppe B, beispielsweise ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Yttrium, Cer, Titan, Zirkonium und Tantal, sein.

[0033] Bezogen auf die Gesamtanzahl an Metallatomen der Gruppe A, kann die Mischung aus dem Oxid des ersten Metalls der Gruppe B und dem Oxid des zweiten Metalls der Gruppe B von ≥ 1 Atomprozent bis ≤ 99 Atomprozent, beispielsweise von ≥ 45 Atomprozent bis ≤ 55 Atomprozent an erstem Metall, zum Beispiel Zirkonium oder Tantal, und von ≥ 1 Atomprozent bis ≤ 99 Atomprozent, beispielsweise von ≥ 45 Atomprozent bis ≤ 55 Atomprozent, an zweitem Metall, zum Beispiel Ce oder Yttrium, umfassen, wobei die Summe der Metallatomen des ersten und zweiten Metalls zusammen 100 Atomprozent ergibt.

[0034] Das erfindungsgemäße Material kann zum Beispiel als Elektrodenmaterial und/oder Leiterbahnmaterial und/oder elektrisch leitfähiges, chemosensitives, insbesondere gassensitives, Material für einen Sensor, einen Katalysator oder eine Brennstoffzelle verwendet werden. Insbesondere kann das erfindungsgemäße Material in einem Abgassensor, beispielsweise einer Lambda-Sonde, in einem Chemosensor, wie einem Feldeffekt-Chemosensor, oder in einem, beispielsweise chemosensitiven, Feldeffekttransistoren(-Sensor), beispielsweise als Gate-Elektrode beziehungsweise Gate-Elektrodenmaterial und/oder als Leiterbahn beziehungsweise Leiterbahnmaterial verwendet werden.

[0035] Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung eines elektrisch leitfähigen Materials, insbesondere eines erfindungsgemäßen elektrisch leitfähigen Materials, beispielsweise eines Elektrodenmaterials und/oder Leiterbahnmaterials und/oder elektrisch leitfähigen, chemosensitiven, insbesondere gassensitiven, Materials, umfassend die Verfahrensschritte:

a1) Bereitstellen von Nanoteilchen, umfassend
ein Metall oder Metallgemisch, beispielsweise eine Metalllegierung, ausgewählt aus der Gruppe A bestehend aus Platin, Rhodium, Gold, Palladium, Silber, Kupfer, Iridium, Ruthenium, Osmium, Rhenium und Mischungen davon, und
ein Metall oder Metallgemisch, beispielsweise eine Metalllegierung, ausgewählt aus der Gruppe B bestehend aus Silizium, Germanium, Zinn, Bor, Aluminium, Gallium, Indium, Beryllium, Magnesium, Scandium, Yttrium, Lanthan, den Lanthaniden, Titan, Zirkonium, Hafnium, Niob, Tantal, Chrom, Molybdän, Wolfram, Mangan, Eisen, Cobalt, Nickel, Zink und Mischungen davon, und/oder

a2) Bereitstellen einer homogenen Mischung aus
– Nanoteilchen, umfassend ein Metall oder Metallgemisch, beispielsweise eine Metalllegierung, ausgewählt aus der Gruppe A bestehend aus Platin, Rhodium, Gold, Palladium, Silber, Kupfer, Iridium, Ruthenium, Osmium, Rhenium und Mischungen davon, und
– einem Metall oder Metallgemisch, beispielsweise eine Metalllegierung, ausgewählt aus der Gruppe B bestehend aus Silizium, Germanium, Zinn, Bor, Aluminium, Gallium, Indium, Beryllium, Magnesium, Scandium, Yttrium, Lanthan, den Lanthaniden, Titan, Zirkonium, Hafnium, Niob, Tantal, Chrom, Molybdän, Wolfram, Mangan, Eisen, Cobalt, Nickel, Zink und Mischungen davon, und/oder
mindestens einer Verbindung eines Metalls oder Metallgemischs, ausgewählt aus der Gruppe B bestehend aus Silizium, Germanium, Zinn, Bor, Aluminium, Gallium, Indium, Beryllium, Magnesium, Scandium, Yttrium, Lanthan, den Lanthaniden, Titan, Zirkonium, Hafnium, Niob, Tantal, Chrom, Molybdän, Wolfram, Mangan, Eisen, Cobalt, Nickel, Zink und Mischungen davon, und

b) Behandeln des Materials aus Verfahrensschritt a1) oder a2) bei mindestens 200°C für 10 Minuten, beispielsweise bei mindestens 500°C für mindestens eine Stunde, zum Beispiel bei mindestens 600°C für mindestens 2 Stunden, mit einem oxidierenden Gas oder Gasgemisch.

[0036] Unter „Nanoteilchen" werden im Rahmen der vorliegenden Erfindung insbesondere Verbünde von Atomen oder Molekülen bezeichnet deren durchschnittliche Größe kleiner oder gleich 100 nm, insbesondere von ≥ 0,4 nm bis ≤ 100 nm, beispielsweise von ≥ 0,5 nm bis ≤ 40 nm, zum Beispiel von ≥ 1 nm bis ≤ 7 nm, ist.

[0037] Unter einem „oxidierenden Gas oder Gasgemisch" kann ein Gas oder Gasgemisch verstanden werden, in welchem bei Temperaturen von 200°C oder mehr, das Metall oder Metallgemisch der Gruppe B beziehungsweise die Verbindung des Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B oxidiert. Insbesondere kann unter einem „oxidierenden Gas oder Gasgemisch" ein Gas oder Gasgemisch verstanden werden, in welchem bei Temperaturen von 500°C oder mehr, insbesondere von 600°C oder mehr, das

Metall oder Metallgemisch der Gruppe B beziehungsweise die Verbindung des Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B oxidiert. Insbesondere kann das Metall oder Metallgemisch der Gruppe B beziehungsweise die Verbindung des Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B vollständig oxidiert werden. Das oxidierende Gas oder Gasgemisch kann beispielsweise eine Gasgemisch aus 10 Volumenprozent Sauerstoff und 90 Volumenprozent Stickstoff sein.

[0038] In Verfahrensschritt a1) werden Nanoteilchen eingesetzt, die sowohl ein Metall oder Metallgemisch der Gruppe A als auch ein Metall oder Metallgemisch der Gruppe B umfassen. Dabei können die Nanoteilchen auch in Form einer Suspension von Nanoteilchen in einem Lösungsmittel eingesetzt werden. Das Metall oder Metallgemisch der Gruppe B kann in Verfahrensschritt a1) ein Metallgemisch, insbesondere eine Metalllegierung, mit dem Metall oder Metallgemisch der Gruppe A bilden. Insbesondere können die Nanoteilchen in Verfahrensschritt a1) aus einem Metall oder Metallgemisch der Gruppe A und einem Metall oder Metallgemisch der Gruppe B bestehen.

[0039] In Verfahrensschritt a2) werden zwar auch Nanoteilchen eingesetzt, die ein Metall oder Metallgemisch der Gruppe A umfassen, das Metall oder Metallgemisch der Gruppe B ist dabei jedoch nicht in den Gruppe-A-Nanoteilchen enthalten, sondern liegt als separate Komponente vor. Dabei kann das Metall oder Metallgemisch der Gruppe B in Verfahrensschritt a2) in Form von Partikeln, insbesondere Nanoteilchen, oder in Form einer Suspension von Partikel, insbesondere Nanoteilchen, in einem Lösungsmittel eingesetzt werden. Die Verbindung des Metalls oder Metallgemisch der Gruppe B kann in Verfahrensschritt a2) in Form von Partikeln, insbesondere Nanoteilchen, oder in Form einer Suspension von Partikel, insbesondere Nanoteilchen, in einem Lösungsmittel oder in einem Lösungsmittel gelöst eingesetzt werden. Auch in Verfahrensschritt a2) können die Nanoteilchen aus einem Metall oder Metallgemisch der Gruppe A bestehen.

[0040] Durch Verfahrensschritt b) kann vorteilhafterweise eine Hülle aus korrosions- und sinterstabilen Metalloxiden der Gruppe B um Metalle der Gruppe A ausgebildet werden. Insbesondere kann ein Material hergestellt werden, welches ein metallisches Gerüst aus Metallen der Gruppe A aufweist, das mit Metalloxiden der Gruppe B umgeben ist. Auf diese Weise kann das Metall oder Metallgemisch der Gruppe A vorteilhafterweise vor möglichen Strukturveränderungen und chemischen Angriffen geschützt werden.

[0041] Ein durch ein solches Verfahren kann vorteilhafterweise das zuvor beschriebene elektrisch leitfähige Material, insbesondere Elektrodenmaterial und/oder Leiterbahnmaterial und/oder elektrisch leitfähiges, chemosensitives, insbesondere gassensitives, Material, mit den zuvor beschriebenen Eigenschaften hergestellt werden. Dieses kann – wie bereits erläutert nicht nur elektrisch leitfähig, sondern auch überwiegend metallisch und/oder korrosionsbeständig und/oder temperaturstabil und/oder porös sein. Darüber hinaus kann ein durch ein solches Verfahren hergestelltes elektrisch leitfähige Material, insbesondere Elektrodenmaterial und/oder Leiterbahnmaterial und/oder elektrisch leitfähiges, chemosensitives, insbesondere gassensitives, Material, eine regelmäßig definierte Struktur im Nanometerbereich aufweisen.

[0042] Das Behandeln mit dem oxidierenden Gas oder Gasgemisch kann insbesondere bei einer Temperatur von ≥ 500°C bis ≤ 1500°C, beispielsweise von ≥ 550°C bis ≤ 1000°C, und/oder während einer Behandlungszeit von mehr als einer Stunde, beispielsweise von mehr als 2 Stunden, erfolgen.

[0043] Das oxidierende Gas oder Gasgemisch kann beispielsweise von ≥ 1 Volumenprozent bis ≤ 100 Volumenprozent, beispielsweise von ≥ 1 Volumenprozent bis ≤ 20 Volumenprozent, insbesondere von ≥ 1 Volumenprozent bis ≤ 15 Volumenprozent, an Sauerstoff und von ≥ 0 Volumenprozent bis ≤ 99 Volumenprozent, beispielsweise von ≥ 80 Volumenprozent bis ≤ 99 Volumenprozent, insbesondere von ≥ 85 Volumenprozent bis ≤ 99 Volumenprozent, an Stickstoff oder einem oder mehreren Edelgasen, insbesondere Argon, oder eine Mischung von Stickstoff und einem oder mehreren Edelgasen, insbesondere Argon, umfassen, wobei die Summe der Volumenprozente von Sauerstoff, Stickstoff und den Edelgasen zusammen 100 Volumenprozent ergibt.

[0044] Im Rahmen einer Ausführungsform des Verfahrens wird in Verfahrensschritt a2) die Verbindung des Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B in einem Lösungsmittel gelöst (als Lösung), bereitgestellt. Auf diese Weise kann erzielt werden, dass die Nanoteilchen der Gruppe A im Wesentlichen vollständig mit einer Oxidschicht umgeben werden.

[0045] In Verfahrensschritt a2) kann die Verbindung des Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B jedoch auch in Form von Nanoteilchen bereitgestellt werden. Das Metall oder Metallgemisch der Gruppe B kann in Verfahrensschritt a2) ebenfalls in Form von Nanoteilchen bereitgestellt werden. Zum Beispiel können die Nanoteilchen als Schüttung bereitgestellt werden.

[0046] Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens wird in Verfahrensschritt a1) das Metall oder Metallgemisch der Gruppe B in Form einer Suspension von Nanoteilchen in einem Lösungsmittel und/oder in Verfahrensschritt a2) das Metall oder Metallgemisch der Gruppe B in Form einer Suspension von Nanoteilchen in einem Lösungsmittel und/

oder in Verfahrensschritt a2) die Verbindung des Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B in Form einer Suspension von Nanoteilchen in einem Lösungsmittel bereitgestellt. Auf diese Weise kann eine hohe Homogenität des elektrisch leitfähigen Materials erzielt werden.

[0047] Bevorzugt werden polar protische Lösungsmittel, wie Dimethylformamid, N-Methylpyrrolidon, Dimethylsulfoxid, oder protische Lösungsmittel, wie Ethanol, Ethylenglycol, Hexansäure oder Tripropylamin, als Lösungsmittel eingesetzt.

[0048] Nach den Verfahrensschritten a1) oder a2) kann das Verfahren den Verfahrensschritt b01): Auftragen des Materials aus Verfahrensschritt a1) und/oder a2) auf die Oberfläche eines Trägerelements, beispielsweise eines Trägerelements aus Zirkoniumoxid oder eines Silizium-Wafers, umfassen. Insbesondere kann das Material aus Verfahrensschritt a1) und/oder a2) in Verfahrensschritt b01) zunächst in einem Lösungsmittel auf die Oberfläche aufgetragen werden. Das Lösungsmittel kann dann in einem an den Verfahrensschritt b01) anschließenden Verfahrensschritt b02) entfernt/getrocknet werden.

[0049] Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens umfasst das Verfahren nach den Verfahrensschritten a1)/a2), b01) und/oder b02) und/oder vor dem Verfahrensschritt b) den Verfahrensschritt b03): Behandeln des Materials bei mindestens 350°C für mindestens 20 Minuten, insbesondere bei mindestens 500°C für mindestens 1 Stunden, beispielsweise bei mindestens 550°C für mindestens 1,5 Stunden, zum Beispiel bei mindestens 600°C für mindestens 2 Stunden, mit einem nichtoxidierenden, insbesondere reduzierenden, Gas oder Gasgemisch. Auf diese Weise kann unter anderem eine Legierungsbildung zwischen Metallen der Gruppen A und B begünstigt werden. Das Behandeln mit dem nichtoxidierenden, insbesondere reduzierenden, Gas oder Gasgemisch kann beispielsweise bei einer Temperatur von ≥ 500°C bis ≤ 1500°C, beispielsweise von ≥ 550°C bis ≤ 1000°C, und/oder während einer Behandlungszeit von mehr als einer Stunde, beispielsweise von mehr als 2 Stunden, erfolgen.

[0050] Unter einem „nichtoxidierenden Gas oder Gasgemisch" kann dabei eine Gasmischung verstanden werden, in welcher bei Temperaturen von 350°C oder mehr, das Metall oder Metallgemisch der Gruppe A und das Metall oder Metallgemisch der Gruppe B und die Verbindung des Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B nicht oxidiert werden. Insbesondere kann unter einem „nichtoxidierenden Gas oder Gasgemisch" eine Gasmischung verstanden werden, in welcher bei Temperaturen von 500°C oder mehr, beispielsweise von 550°C oder mehr, zum Beispiel von 600°C oder mehr, das Metall oder Metallgemisch der Gruppe A und das Metall oder Metallgemisch der Gruppe B und die Verbindung des Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B nicht oxidiert werden. Beispielsweise kann als „nicht-oxidierendes Gas oder Gasgemisch" ein Gasgemisch aus 5 Volumenprozent Wasserstoff und 95 Volumenprozent Stickstoff verstanden werden.

[0051] Unter einem „reduzierenden Gas oder Gasgemisch" kann dabei eine Gasmischung verstanden werden, in welcher bei Temperaturen von 350°C oder mehr, Verbindungen, beispielsweise Oxide, des Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B mit einer Oxidationszahl von größer Null zumindest teilweise reduziert werden. Insbesondere kann unter einem „reduzierenden Gas oder Gasgemisch" eine Gasmischung verstanden werden, in welcher bei Temperaturen von 500°C oder mehr, beispielsweise von 550°C oder mehr, zum Beispiel von 600°C oder mehr, Verbindungen, beispielsweise Oxide, des Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B mit einer Oxidationszahl von größer Null zumindest teilweise reduziert werden. Gegebenenfalls kann das reduzierende Gas oder Gasgemisch auch Verbindungen, des Metalls oder Metallgemischs der Gruppe A mit einer Oxidationszahl von größer Null, welche gegebenenfalls als Verunreinigungen in den Nanoteilchen auftreten können, teilweise oder vollständig reduzieren.

[0052] Das nichtoxidierende, insbesondere reduzierende, Gas oder Gasgemisch kann beispielsweise von ≥ 0,001 Volumenprozent bis ≤ 100 Volumenprozent, beispielsweise von ≥ 0,01 Volumenprozent bis ≤ 20 Volumenprozent, insbesondere von ≥ 0,1 Volumenprozent bis ≤ 10 Volumenprozent, zum Beispiel von ≥ 1 Volumenprozent bis ≤ 5 Volumenprozent an Wasserstoff oder Kohlenmonoxid oder einer Mischung aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid und von 0 Volumenprozent bis ≤ 99,999 Volumenprozent, beispielsweise von ≥ 80 Volumenprozent bis ≤ 99, 99 Volumenprozent, insbesondere von 90 Volumenprozent bis ≤ 99,9 Volumenprozent, zum Beispiel von ≥ 95 Volumenprozent bis ≤ 99 Volumenprozent an Stickstoff oder einem oder mehreren Edelgasen, insbesondere Argon, oder eine Mischung von Stickstoff und einem oder mehreren Edelgasen, insbesondere Argon, umfassen, wobei die Summe der Volumenprozente von Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Stickstoff und den Edelgasen zusammen 100 Volumenprozent ergibt.

[0053] Die Verbindung eines Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B kann beispielsweise ein anorganisches oder organisches Salz und/oder ein anorganischer oder organischer Komplex eines Metalls oder Metallgemischs (das heißt von zwei oder mehr Metallen) der Gruppe B sein.

[0054] Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens ist die Verbindung eines Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B ein Oxid, Nitrat und/

oder Halogenid eines Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B.

[0055] Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens ist die Verbindung eines Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B ein Alkoholat, beispielsweise ein Methoxylat, Ethoxylat, n-Propoxylat, Isopropoxylat, ein n-Butoxylat oder ein Isobutoxylat, insbesondere ein Ethoxylat, Isopropoxylat oder Isobutylat, eines Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B oder ein Salz einer organischen Säure, beispielsweise ein Acetat, mit einem Metall oder Metallgemisch der Gruppe B. Zum Beispiel kann Verbindung eines Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B Tantalpentaethoxid, Zirconiumtetraisopropoxid, Titantetraisobutoxylat, Ceracetat oder Yttriumacetat sein.

[0056] Vorzugsweise besteht die Gruppe A aus Platin, Rhodium, Palladium, Iridium, Ruthenium, Rhenium, Gold und Mischungen davon. Beispielsweise kann das Metallgemisch der Gruppe A ein Metallgemisch, insbesondere eine Metalllegierung, sein welche Gold und Palladium umfasst. Gegebenenfalls kann das Gold-Platin-Metallgemisch weiterhin mindestens ein weiteres Metall ausgewählt aus Rhodium, Iridium, Ruthenium und Rhenium umfassen. Die Gruppe A kann jedoch auch nur aus Platin, Rhodium, Palladium, Iridium, Ruthenium, Rhenium und Mischungen davon, bestehen. Beispielsweise kann das Metall der Gruppe A reines Platin, Rhodium, Palladium, Iridium, Ruthenium oder Rhenium sein.

[0057] Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens besteht die Gruppe A aus Platin, Rhodium, Rhenium und Mischungen davon, beispielsweise aus Platin und Rhodium.

[0058] Das Metall oder Metallgemisch der Gruppe A kann, bezogen auf die Gesamtanzahl an Metallatomen der Gruppe A, von ≥ 30 Atomprozent bis ≤ 100 Atomprozent an Platin, Rhodium, Palladium, Iridium, Ruthenium, Rhenium Gold oder einer Mischung davon, und von ≥ 0 Atomprozent bis ≤ 70 Atomprozent an Silber, Kupfer, Osmium oder einer Mischung davon umfassen, wobei die Summe der Atome von Platin, Rhodium, Gold, Palladium, Silber, Kupfer, Iridium, Ruthenium, Osmium und Rhenium zusammen 100 Atomprozent ergibt.

[0059] Alternativ dazu kann das Metall oder Metallgemisch der Gruppe A, bezogen auf die Gesamtanzahl an Metallatomen der Gruppe A, von ≥ 30 Atomprozent bis ≤ 100 Atomprozent an Platin, Rhodium, Palladium, Iridium, Ruthenium, Rhenium Gold oder einer Mischung davon, und von ≥ 0 Atomprozent bis ≤ 70 Atomprozent an Silber, Kupfer, Osmium oder einer Mischung davon umfassen, wobei die Summe der Atome von Platin, Rhodium, Gold, Palladium, Silber, Kupfer, Iridium, Ruthenium, Osmium und Rhenium zusammen 100 Atomprozent ergibt.

[0060] Vorzugsweise umfasst das Metall oder Metallgemisch der Gruppe A, bezogen auf die Gesamtanzahl an Metallatomen der Gruppe A, von ≥ 40 Atomprozent bis ≤ 100 Atomprozent, beispielsweise von ≥ 65 Atomprozent bis ≤ 95 Atomprozent, insbesondere von ≥ 65 Atomprozent bis ≤ 90 Atomprozent an Platin und von ≥ 0 Atomprozent bis ≤ 60 Atomprozent, beispielsweise von ≥ 5 Atomprozent bis ≤ 35 Atomprozent, insbesondere von ≥ 10 Atomprozent bis ≤ 35 Atomprozent an Rhodium, Palladium, Iridium. Ruthenium, Rhenium oder einer Mischung davon, wobei die Summe der Atome von Platin, Rhodium, Palladium, Iridium, Ruthenium und Rhenium zusammen 100 Atomprozent ergibt.

[0061] Zum Beispiel kann das Metall oder Metallgemisch der Gruppe A, bezogen auf die Gesamtanzahl an Metallatomen der Gruppe A, von ≥ 40 Atomprozent bis ≤ 100 Atomprozent, beispielsweise von ≥ 65 Atomprozent bis ≤ 95 Atomprozent, insbesondere von ≥ 65 Atomprozent bis ≤ 90 Atomprozent an Platin und von ≥ 0 Atomprozent bis ≤ 60 Atomprozent, beispielsweise von ≥ 5 Atomprozent bis ≤ 35 Atomprozent, insbesondere von ≥ 10 Atomprozent bis ≤ 35 Atomprozent an Rhodium, Rhenium oder einer Mischung davon, insbesondere Rhodium, umfassen, wobei die Summe der Atome von Platin, Rhodium und Rhenium, insbesondere Platin und Rhodium, zusammen 100 Atomprozent ergibt.

[0062] Gegebenenfalls kann die Metallverbindung der Gruppe B aus einem Oxid oder mehrere Oxiden von Bor bestehen.

[0063] Vorzugsweise besteht die Gruppe B aus Aluminium, Gallium, Magnesium, Scandium, Yttrium, Lanthan, den Lanthaniden, Titan, Zirkonium, Hafnium, Niob, Tantal, Chrom, Wolfram, Mangan, Eisen oder einer Mischung davon.

[0064] Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens besteht die Gruppe B aus Aluminium, Cer, Titan, Zirkonium, Hafnium, Niob, Tantal, Chrom oder einer Mischung davon, insbesondere aus Yttrium, Cer, Titan, Zirkonium, Tantal oder einer Mischung davon.

[0065] Beispielsweise kann das Metall oder Metallgemisch der Gruppe B und/oder die Verbindung des Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B, bezogen auf die Gesamtanzahl an Metallatomen der Gruppe A, von ≥ 70 Atomprozent bis ≤ 100 Atomprozent Aluminium, Cer, Titan, Zirkonium, Hafnium, Niob, Tantal, Chrom oder einer Mischung davon, und von ≥ 0 Atomprozent bis ≤ 30 Atomprozent an Silizium, Germanium, Zinn, Bor, Gallium, Indium, Beryllium, Magnesium, Scandium, Yttrium, Lanthan, Praseodym,

Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium, Lutetium, Molybdän, Wolfram, Mangan, Eisen, Cobalt, Nickel, Zink oder einer Mischung davon umfassen, wobei die Summe der Atome von Aluminium, Cer, Titan, Zirkonium, Hafnium, Niob, Tantal, Chrom, Silizium, Germanium, Zinn, Bor, Gallium, Indium, Beryllium, Magnesium, Scandium, Yttrium, Lanthan, Praseodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium, Lutetium, Molybdän, Wolfram, Mangan, Eisen, Cobalt, Nickel und Zink zusammen 100 Atomprozent ergibt.

[0066] In Verfahrensschritt a2) können auch zwei oder mehr Verbindungen eines Metalls oder Metallgemischs bereitgestellt werden. Dabei können sich die Verbindungen sowohl in der Art des Metalls und/oder in der Art des bindenden Teilchens, insbesondere des Salzbildners beziehungsweise Komplexbildners, unterscheiden. Beispielsweise kann in Verfahrensschritt a2) eine erste Verbindung, beispielsweise ein Ethoxylat, Isopropoxylat oder Isobutylat, eines ersten Metalls der Gruppe B, beispielsweise ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Yttrium, Cer, Titan, Zirkonium und Tantal, und eine zweite, von der ersten gleichen oder unterschiedliche Verbindung, beispielsweise ein Ethoxylat, Isopropoxylat oder Isobutylat, eines zweiten, vom ersten gleichen oder unterschiedlichen, insbesondere unterschiedlichen, Metalls der Gruppe B, beispielsweise ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Yttrium, Cer, Titan, Zirkonium und Tantal, bereitgestellt werden.

[0067] Bezogen auf die Gesamtanzahl an Metallatomen der Gruppe A der ersten und zweiten Verbindung, können von ≥ 1 Atomprozent bis ≤ 99 Atomprozent, beispielsweise von ≥ 45 Atomprozent bis ≤ 55 Atomprozent an erster Verbindung, zum Beispiel Zirkoniumtetraisopropoxid oder Tantalpentaethoxid, und von ≥ 1 Atomprozent bis ≤ 99 Atomprozent, beispielsweise von ≥ 45 Atomprozent bis ≤ 55 Atomprozent, an zweiter Verbindung, zum Beispiel Ceracetat oder Yttriumacetat, bereitgestellt werden, wobei die Summe der Metallatomen der ersten und zweiten Verbindung zusammen 100 Atomprozent ergibt.

[0068] Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein durch ein erfindungsgemäßes Verfahren hergestelltes, elektrisch leitfähiges Material, insbesondere Elektrodenmaterial und/oder Leiterbahnmaterial und/oder elektrisch leitfähiges, chemosensitives, insbesondere gassensitives, Material, sowie dessen Verwendung. Zum Beispiel kann ein durch ein erfindungsgemäßes Verfahren hergestelltes, elektrisch leitfähiges Material als Elektrodenmaterial und/oder Leiterbahnmaterial und/oder elektrisch leitfähiges, chemosensitives, insbesondere gassensitives, Material für einen Sensor, einen Katalysator oder eine Brennstoffzelle verwendet werden. Insbesondere kann ein durch ein erfindungsgemäßes Verfahren hergestelltes, elektrisch leitfähiges Material in einem Abgassensoren, wie einer Lambda-Sonde, in einem Chemosensor, wie einem Feldeffekt-Chemosensor, oder in einem, beispielsweise chemosensitiven, Feldeffekttransistor(-Sensor), beispielsweise als Gate-Elektrode beziehungsweise Gate-Elektrodenmaterial und/oder als Leiterbahn beziehungsweise Leiterbahnmaterial verwendet werden.

Zeichnungen und Beispiele

[0069] Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Gegenstände werden durch die Zeichnungen veranschaulicht und in der nachfolgenden Beschreibung erläutert. Dabei ist zu beachten, dass die Zeichnungen nur beschreibenden Charakter haben und nicht dazu gedacht sind, die Erfindung in irgendeiner Form einzuschränken. Es zeigt

[0070] Fig. 1 einen stark schematisierten Querschnitt durch eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen, elektrisch leitfähigen Materials;

[0071] Fig. 2 einen stark schematisierten Querschnitt durch eine zweite Ausführungsform eines erfindungsgemäßen, elektrisch leitfähigen Materials;

[0072] Fig. 3a einen stark schematisierten Querschnitt durch eine dritte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen, elektrisch leitfähigen Materials;

[0073] Fig. 3b einen stark schematisierten Querschnitt durch eine vierte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen, elektrisch leitfähigen Materials; und

[0074] Fig. 4 einen stark schematisierten Querschnitt durch eine fünfte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen, elektrisch leitfähigen Materials.

[0075] Fig. 1 zeigt, dass das elektrisch leitfähige Material der ersten Ausführungsform, Kerne **1** aus einem Metall oder Metallgemisch der Gruppe A umfasst, wobei die die Kerne von Oxid/en **2a**, **2b** eines Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B zumindest teilweise umgeben sind. Ein derartiges Material kann beispielsweise – gemäß Verfahrensschritt a2) – durch den Einsatz von gleich großen Nanoteilchen der Gruppen A und B hergestellt werden.

[0076] Fig. 2 zeigt, dass sich das elektrisch leitfähige Material der zweiten Ausführungsform dadurch von dem elektrisch leitfähigen Material der ersten Ausführungsform unterscheidet, dass in Verfahrensschritt a2) für die Gruppe B Nanoteilchen eingesetzt wurden, welche deutlich kleiner als die Nanoteilchen der Gruppe A sind.

[0077] Fig. 3a illustriert einen Partikel **3**, welcher – gemäß Verfahrensschritt a1) – aus der Oxidation von Nanoteilchen die sowohl Metalle der Gruppe A als auch Metalle der Gruppe B resultiert. Fig. 3a zeigt, dass der auf diese Weise hergestellte Partikel **3** einen Kern **1** aus einem Metall oder Metallgemisch der Gruppe A aufweist, welcher vollständig mit einer Oxidschicht **2b** eines Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B umgeben ist. Fig. 3a zeigt weiterhin, dass der Übergang von Kern **1** zu Oxidschicht **2b** fließend ist.

[0078] Fig. 3b illustriert einen Partikel **3**, welcher – gemäß Verfahrensschritt a2) – aus der Umsetzung von Nanoteilchen der Gruppe A mit einer Lösung aus einer Verbindung eines Metalls der Gruppe B und anschließender Oxidation resultiert. Fig. 3b zeigt, dass der auf diese Weise hergestellte Partikel **3** einen Kern **1** aus einem Metall oder Metallgemisch der Gruppe A aufweist, welcher vollständig mit einer Oxidschicht **2c** eines Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B umgeben ist.

[0079] Fig. 4 veranschaulicht, dass das elektrisch leitfähige Material der fünften Ausführungsform aus miteinander verbundenen Partikeln **3** mit dazwischen liegenden Poren **4** aufgebaut ist, wobei die Partikel **3** jeweils einen Kern **1** aus einem Metall oder Metallgemisch der Gruppe A aufweisen, welcher zumindest teilweise, insbesondere im Wesentlichen vollständig, mit einer Oxidschicht **2a**, **2b** eines Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B umgeben ist. Ein derartiges Material kann sowohl – gemäß Verfahrensschritt a1) – aus der Oxidation von Nanoteilchen, die sowohl Metalle der Gruppe A als auch Metalle der Gruppe B umfassen, als auch gemäß Verfahrensschritt a2) – aus der Umsetzung von Nanoteilchen der Gruppe A mit einer Lösung aus einer Verbindung eines Metalls der Gruppe B und anschließender Oxidation, hergestellt werden.

Beispiel 1:

[0080] Aus 80 Gewichtsprozent Platin, 10 Gewichtsprozent Rhodium und 10 Gewichtsprozent Titan bestehende Nanoteilchen werden kolloidal, in einem Lösungsmittel gelöster Form auf eine Zirkoniumdioxid-Oberfläche aufgetragen und eingetrocknet. Der resultierende lackartige Film wird zuerst in einer nichtoxidierenden Atmosphäre, welche 2,5 Volumenprozent an elementarem Wasserstoff umfasst, bei 650°C für fünf Stunden einer ersten Behandlung und anschließend in Luft als oxidierender Atmosphäre ebenfalls bei 650°C für fünf Stunden der zweiten Behandlung unterzogen.

Beispiel 2:

[0081] Eine (kolloidale) Lösung in N-Methylpyrrolidon von Nanoteilchen, bestehend aus 94 Gewichtsprozent Platin und 6 Gewichtsprozent Rhodium, und von Titantetraisobutoxylat, wobei die Titanatome zur Summe der Platin- und Rhodiumatome in einem Verhältnis von 1:9 stehen, wird auf eine Silizium-Wafer-Oberfläche aufgetragen und eingetrocknet. Der resultierende lackartige Film wird zuerst mit einer nichtoxidierenden Atmosphäre, welche 2,5 Volumenprozent an elementarem Wasserstoff umfasst, bei 600°C für zwei Stunden einer ersten Behandlung und anschließend in einer oxidierenden Atmosphäre aus 10 Volumenprozent Sauerstoff in Stickstoff ebenfalls bei 600°C für zwei Stunden einer zweiten Behandlung unterzogen. Die Rasterelektronenmikroskopaufnahme des auf diese Weise hergestellten Materials ist in Fig. 5 wiedergegeben. Das auf diese Weise hergestellte Material besitzt eine hohe elektrische Leitfähigkeit von über 10^6 Sm^{-1} und besteht aus Partikeln mit einer, mittels Rasterelektronenmikroskopie bestimmten, durchschnittlichen Partikelgröße von kleiner oder gleich 5 nm.

Beispiel 3:

[0082] Eine (kolloidale) Lösung in N-Methylpyrrolidon von Nanoteilchen, bestehend aus 80 Gewichtsprozent Platin und 20 Gewichtsprozent Rhodium, und von Zirkoniumtetraisopropoxid und Ceracetat, wobei die Zirkoniumatome zu den Ceratomen und zur Summe der Platin- und Rhodiumatome in einem Verhältnis von 9:10:81 stehen, wird auf eine Silizium-Wafer-Oberfläche aufgetragen und eingetrocknet. Der resultierende lackartige Film wird zuerst in einer nichtoxidierenden Atmosphäre, welche 2,5 Volumenprozent an elementarem Wasserstoff umfasst, bei 600°C für zehn Stunden einer ersten Behandlung und anschließend in 10 Volumenprozent Sauerstoff in Stickstoff als oxidierender Atmosphäre ebenfalls bei 600°C für zwei Stunden einer zweiten Behandlung unterzogen. Die Rasterelektronenmikroskopaufnahme des auf diese Weise hergestellten Materials ist in Fig. 6 wiedergegeben. Das auf diese Weise hergestellte Material besitzt eine hohe elektrische Leitfähigkeit von über 10^6 Sm^{-1} und besteht aus Partikeln mit einer, mittels Rasterelektronenmikroskopie bestimmten, durchschnittlichen Partikelgröße von kleiner oder gleich 10 nm.

Beispiel 4:

[0083] Eine (kolloidale) Lösung in N-Methylpyrrolidon von Nanoteilchen, bestehend aus 81 Gewichtsprozent Platin und 19 Gewichtsprozent Rhodium, und von Tantalpentaethoxid und Yttriumacetat, wobei die Tantalatome zu den Yttriumatomen und zur Summe der Platin- und Rhodiumatome in einem Verhältnis von 8:8:84 stehen, wird auf eine Silizium-Wafer-Oberfläche aufgetragen und eingetrocknet. Der resultierende lackartige Film wird zuerst in einer nichtoxidierenden Atmosphäre, welche 2,5 Volumenprozent an elementarem Wasserstoff umfasst,

bei 600°C für zehn Stunden einer ersten Behandlung und anschließend in 10 Volumenprozent Sauerstoff in Stickstoff als oxidierender Atmosphäre ebenfalls bei 600°C für zwei Stunden einer zweiten Behandlung unterzogen. Anschließend wurde die Probe bei 800°C für 100 h in 10 Volumenprozent Sauerstoff in Stickstoff getempert. Die Rasterelektronenmikroskopaufnahme des auf diese Weise hergestellten Materials ist in **Fig. 7** wiedergegeben. Das auf diese Weise hergestellte Material besitzt eine hohe elektrische Leitfähigkeit von über 10^6 Sm^{-1} und besteht aus Partikeln mit einer, mittels Rasterelektronenmikroskopie bestimmten, durchschnittlichen Partikelgröße von kleiner oder gleich 25 nm.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- US 2007/0251822 A1 [**0003**]

Patentansprüche

1. Elektrisch leitfähiges Material, umfassend
– Kerne (**1**) aus einem Metall oder Metallgemisch, ausgewählt aus der Gruppe A bestehend aus Platin, Rhodium, Gold, Palladium, Silber, Kupfer, Iridium, Ruthenium, Osmium, Rhenium und Mischungen davon,
– wobei die Kerne von Oxid/en (**2a**, **2b**, **2c**) eines Metalls oder Metallgemischs, ausgewählt aus der Gruppe B bestehend aus Silizium, Germanium, Zinn, Bor, Aluminium, Gallium, Indium, Beryllium, Magnesium, Scandium, Yttrium, Lanthan, den Lanthaniden, Titan, Zirkonium, Hafnium, Niob, Tantal, Chrom, Molybdän, Wolfram, Mangan, Eisen, Cobalt, Nickel, Zink und Mischungen davon, zumindest teilweise umgeben sind,
dadurch gekennzeichnet dass
die Kerne (**1**) eine durchschnittliche Größe von kleiner oder gleich 100 nm aufweisen.

2. Material nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Material aus miteinander verbundenen Partikeln (**3**) mit dazwischen liegenden Poren (**4**) aufgebaut ist, wobei die Partikel (**3**) jeweils einen Kern (**1**) aus einem Metall oder Metallgemisch der Gruppe A aufweisen, welcher zumindest teilweise mit einer Oxidschicht (**2b**, **2c**) eines Metalls oder Metallgemischs der, Gruppe B umgeben ist.

3. Material nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Partikel (**3**) eine durchschnittlichen Partikelgröße von ≥ 0,5 nm bis ≤ 110 nm, gemessen durch Rasterelektronenmikroskopie, aufweisen.

4. Material nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die zwischen den Partikeln (**3**) liegenden Poren (**4**) eine durchschnittlichen Porengröße von ≥ 0,1 nm bis ≤ 50 nm, gemessen durch Rasterelektronenmikroskopie, aufweisen.

5. Material nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Material, bezogen auf die Gesamtanzahl an Metallatomen in dem Material:
– ≥ 65 Atomprozent bis ≤ 97 Atomprozent an Metallen der Gruppe A und
– ≥ 3 Atomprozent bis ≤ 35 Atomprozent an Metallen der Gruppe B umfasst, wobei die Summe der Metallatome der Gruppen A und B zusammen 100 Atomprozent ergibt.

6. Material nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass:
– die Gruppe A aus Platin, Rhodium, Rhenium oder einer Mischung davon, und/oder
– die Gruppe B aus Aluminium, Cer, Titan, Zirkonium, Hafnium, Niob, Tantal, Chrom oder einer Mischung davon, insbesondere aus Yttrium, Cer, Titan, Zirkonium, Tantal oder einer Mischung davon,
besteht.

7. Verfahren zur Herstellung eines elektrisch leitfähigen Materials, umfassend die Verfahrensschritte
a1) Bereitstellen von Nanoteilchen, umfassend
– ein Metall oder Metallgemisch, ausgewählt aus der Gruppe A bestehend aus Platin, Rhodium, Gold, Palladium, Silber, Kupfer, Iridium, Ruthenium, Osmium, Rhenium und Mischungen davon, und
ein Metall oder Metallgemisch, ausgewählt aus der Gruppe B bestehend aus Silizium, Germanium, Zinn, Bor, Aluminium, Gallium, Indium, Beryllium, Magnesium, Scandium, Yttrium, Lanthan, den Lanthaniden, Titan, Zirkonium, Hafnium, Niob, Tantal, Chrom, Molybdän, Wolfram, Mangan, Eisen, Cobalt, Nickel, Zink und Mischungen davon, und/oder
a2) Bereitstellen einer homogenen Mischung aus
– Nanoteilchen, umfassend ein Metall oder Metallgemisch, ausgewählt aus der Gruppe A bestehend aus Platin, Rhodium, Gold, Palladium, Silber, Kupfer, Iridium, Ruthenium, Osmium, Rhenium und Mischungen davon, und
– einem Metall oder Metallgemisch, ausgewählt aus der Gruppe B bestehend aus Silizium, Germanium, Zinn, Bor, Aluminium, Gallium, Indium, Beryllium, Magnesium, Scandium, Yttrium, Lanthan, den Lanthaniden, Titan, Zirkonium, Hafnium, Niob, Tantal, Chrom, Molybdän, Wolfram, Mangan, Eisen, Cobalt, Nickel, Zink und Mischungen davon, und/oder
– mindestens einer Verbindung eines Metalls oder Metallgemischs, ausgewählt aus der Gruppe B bestehend aus Silizium, Germanium, Zinn, Bor, Aluminium, Gallium, Indium, Beryllium, Magnesium, Scandium, Yttrium, Lanthan, den Lanthaniden, Titan, Zirkonium, Hafnium, Niob, Tantal, Chrom, Molybdän, Wolfram, Mangan, Eisen, Cobalt, Nickel, Zink und Mischungen davon, und
b) Behandeln des Materials aus Verfahrensschritt a1) oder a2) bei mindestens 200°C für 10 Minuten mit einem oxidierenden Gas oder Gasgemisch.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass in Verfahrensschritt a2) die Verbindung des Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B in einem Lösungsmittel gelöst bereitgestellt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass:
– in Verfahrensschritt a1) das Metall oder Metallgemisch der Gruppe B in Form einer Suspension von Nanoteilchen in einem Lösungsmittel, und/oder
– in Verfahrensschritt a2) das Metall oder Metallgemisch der Gruppe B in Form einer Suspension von Nanoteilchen in einem Lösungsmittel, und/oder
– in Verfahrensschritt a2) die Verbindung des Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B in Form einer Suspension von Nanoteilchen in einem Lösungsmittel
bereitgestellt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren vor

dem Verfahrensschritt b) den Verfahrensschritt b03) : Behandeln des Materials bei mindestens 350°C für mindestens 20 Minuten mit einem nichtoxidierenden Gas oder Gasgemisch, umfasst.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass
– die Gruppe A aus Platin, Rhodium, Rhenium oder einer Mischung davon, und/oder
– die Gruppe B aus Aluminium, Cer, Titan, Zirkonium, Hafnium, Niob, Tantal, Chrom oder einer Mischung davon, insbesondere aus Yttrium, Cer, Titan, Zirkonium, Tantal oder einer Mischung davon,
besteht.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindung eines Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B
– ein Oxid, Nitrat und/oder Halogenid eines Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B, und/oder
– ein Alkoholat eines Metalls oder Metallgemischs der Gruppe B oder ein Salz einer organischen Säure mit einem Metall oder Metallgemisch der Gruppe B,
ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

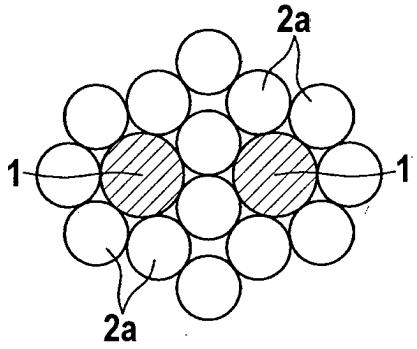


Fig. 1

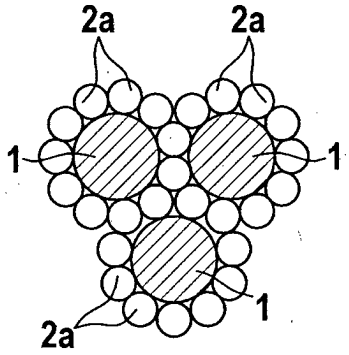


Fig. 2

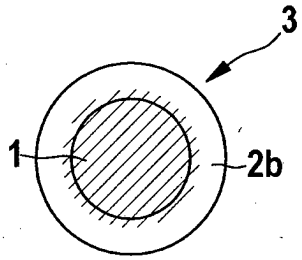


Fig. 3a

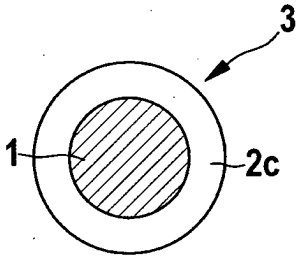


Fig. 3b

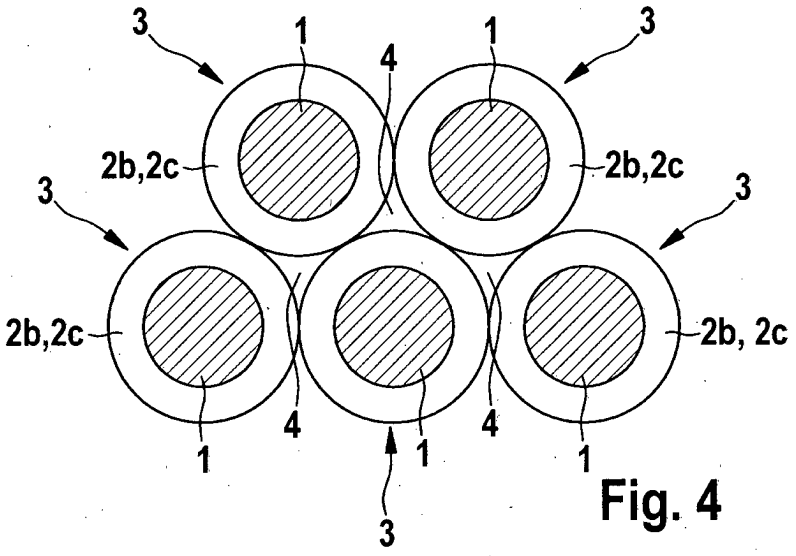


Fig. 4

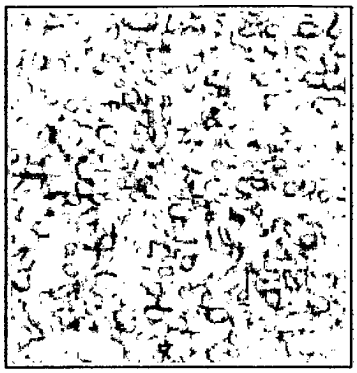


Fig. 5

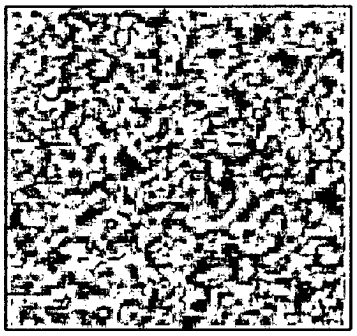


Fig. 6

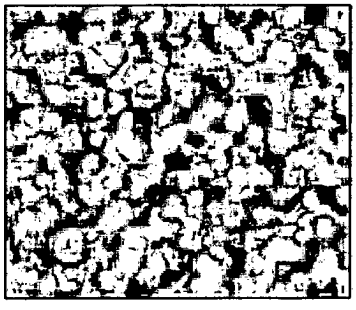


Fig. 7