

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
18. September 2008 (18.09.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/110244 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01L 9/04 (2006.01) *G01L 9/06* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/001142
- (22) Internationales Anmeldedatum:
15. Februar 2008 (15.02.2008)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2007 011 878.5 13. März 2007 (13.03.2007) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): HYDAC ELECTRONIC GMBH [DE/DE]; Hauptstrasse 27, 66128 Saarbrücken (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BRODE, Wolfgang, Kurt [DE/DE]; Lahnsteiner Strasse 14, 07629 Hermsdorf (DE).
- (74) Anwalt: BARTELS UND PARTNER; Lange Strasse 51, 70174 Stuttgart (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: INSULATING LAYER SYSTEM FOR A SENSOR AND SENSOR COMPRISING SAID TYPE OF INSULATING LAYER SYSTEM

(54) Bezeichnung: ISOLATORSCHICHTSYSTEM FÜR EINEN SENSOR UND SENSOR MIT EINEM SOLCHEN ISOLATORSCHICHTSYSTEM

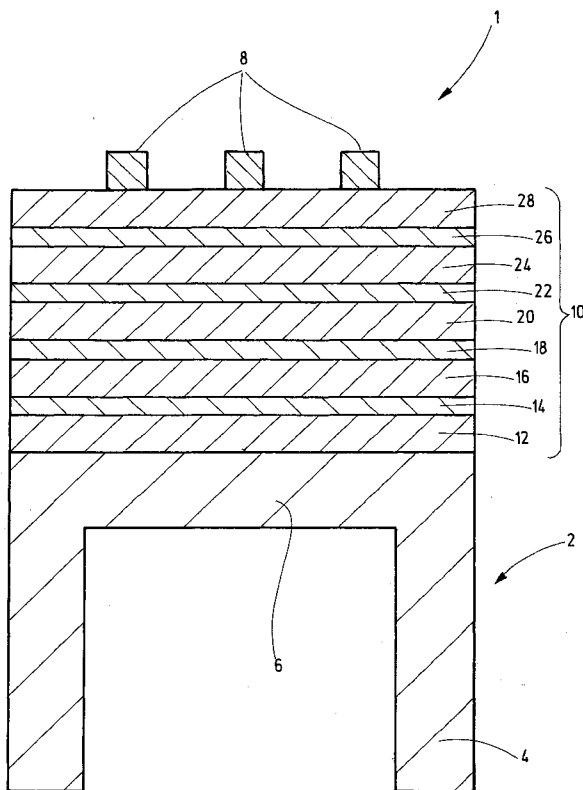


Fig.1

(57) Abstract: The invention relates to an insulating layer system (10) for a sensor (1), in particular for a pressure sensor or a force sensor that are produced according to a thin or thick layer technique, comprising a layer system (10) having a first layer and a second layer. The first layer comprises a first element and the second layer comprises a second element that differs from the first element. Said invention is characterised in that the transition between the first layer and the second layer is formed by a transition area (14, 18, 22, 26), such that the concentration of the first element in the transition area (14, 18, 22, 26) continuously increases or reduces at least in parts, starting from one end of the transition area (14, 18, 22, 26) facing the first layer in the direction of one end of the transition area (14, 18, 22, 26) facing the second layer and/or that the concentration of the second element in the transition area (14, 18, 22, 26) continuously increases or reduces, at least in parts, starting from one end of the transition area (14, 18, 22, 26) facing the second layer in the direction of one end of the transition area (14, 18, 22, 26) facing the first layer. Said invention also relates to a sensor (1) comprising said type of insulating layer system (10).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Isolatorschichtsystem (10) für einen Sensor (1), insbesondere für einen in Dünn- oder Dickschichttechnik hergestellten Druck- oder Kraftsensor, mit einem Schichtsystem (10), das eine erste Schicht und eine zweite Schicht aufweist, wobei die erste Schicht ein erstes Element aufweist und die zweite Schicht ein zweites Element aufweist, das von dem ersten Element verschieden ist, dadurch gekennzeichnet, dass der Übergang zwischen der ersten Schicht und der zweiten

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/110244 A2



SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, ZA, ZM, ZW.

EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,
BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

(84) Bestimmungsstaaten (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

Schicht durch einen Übergangsbereich (14, 18, 22, 26) gebildet ist, dass die Konzentration des ersten Elements im Übergangsbereich (14, 18, 22, 26) ausgehend von einem der ersten Schicht zugewandten Ende des Übergangsbereichs (14, 18, 22, 26) in Richtung auf ein der zweiten Schicht zugewandtes Ende des Übergangsbereichs (14, 18, 22, 26) mindestens abschnittsweise kontinuierlich zunimmt und/oder abnimmt, und/oder dass die Konzentration des zweiten Elements im Übergangsbereich (14, 18, 22, 26) ausgehend von einem der zweiten Schicht zugewandten Ende des Übergangsbereichs (14, 18, 22, 26) in Richtung auf ein der ersten Schicht zugewandtes Ende des Übergangsbereichs (14, 18, 22, 26) mindestens abschnittsweise kontinuierlich zunimmt und/oder abnimmt, sowie einen Sensor (1) mit einem solchen Isolatorschichtsystem (10).

Isolatorschichtsystem für einen Sensor und
Sensor mit einem solchen Isolatorschichtsystem

Die Erfindung betrifft ein Isolatorschichtsystem für einen Sensor,
insbesondere ein Dünnschicht-Isolatorschichtsystem für einen Sensor auf
einem leitfähigen Träger oder Substrat, sowie einen Sensor mit einem
solchen Isolatorschichtsystem, insbesondere einen in Dünnschicht- oder
5 Dickschichttechnik hergestellten Sensor.

Aus der US 4,970,487 ist ein Drucksensor bekannt, bei dem auf einer
metallischen Membran ein Schichtsystem zur Isolation von
Dehnungsmessstreifen gegenüber der Membran aufgebracht ist. Bei dem
10 bekannten Sensor ist das Schichtsystem aus mindestens zwei Schichten
gebildet, die jeweils durch Kathodenzerstäubung (Sputtern) hergestellt sind.
Nach dem Aufbringen einer Schicht wird jeweils eine Ultraschallreinigung
durchgeführt, bevor die nächste Schicht aufgebracht wird. Als infrage
kommende Werkstoffe für die einzelnen Schichten sind SiO₂, Al₂O₃,
15 Ta₂O₅, AlN und Si₃N₄ angegeben. Vorzugsweise sind die einzelnen
Schichten aus identischen Werkstoffen gebildet.

Obgleich der bekannte Sensor bereits dahingehend spezialisiert ist, dass das
elektrische Isolationsverhalten gegenüber einem Sensor mit einer
20 einschichtigen Isolationsschicht verbessert ist, ist für einige Anwendungen,

insbesondere für Anwendungen bei einer Temperatur von mehr als 150 °C, das Isolationsverhalten noch nicht ausreichend.

- Aus der DD 296 571 B5 ist ein sogenanntes SOI-(Silicon-On-Insulator)-
- 5 Substrat bekannt, das zur Herstellung von dielektrisch isolierten elektronischen Bauelementen dient, die eine erhöhte Spannungs- und Strahlungsfestigkeit aufweisen. Das SOI-Substrat besteht aus einer zu rekristallisierenden Polysiliciumschicht und Siliciumbulkmaterial sowie einem unter der Polysiliciumschicht befindlichen Isolator, bestehend aus
- 10 einer auf dem Bulkmaterial ausgebildeten Siliciumdioxidschicht, einer auf der Siliciumdioxidschicht abgeschiedenen Siliciumnitridschicht und einer auf der Siliciumnitridschicht zur Grenzflächenmodifikation ausgebildeten Oxynitridschicht.
- 15 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Isolatorschichtsystem für einen Sensor und einen zugehörigen Sensor bereitzustellen, welche die Nachteile des Standes der Technik überwinden. Insbesondere soll ein Sensor bereitgestellt werden, welcher auch bei Temperaturen oberhalb von 150 °C ein verbessertes Isolationsverhalten aufweist. In einer
- 20 Ausführungsart soll darüber hinaus die Haftung des Isolatorschichtsystems auf dem Substrat verbessert sein. Der Sensor soll außerdem dauerhaft eine hohe Betriebssicherheit gewährleisten und bei hoher Ausbeute kostengünstig herstellbar sein.
- 25 Diese Aufgabe ist durch das im Anspruch 1 bestimmte Isolatorschichtsystem sowie durch den im nebengeordneten Anspruch bestimmten Sensor gelöst. Besondere Ausführungsarten der Erfindung sind in den Unteransprüchen bestimmt.

- In einer Ausführungsart weist das vorzugsweise zwischen dem Substrat und dem Sensorelement angeordnete Schichtsystem mindestens zwei Schichten auf, von denen eine erste Schicht ein erstes Element aufweist und eine zweite Schicht ein zweites Element aufweist, und wobei das zweite Element von dem ersten Element verschieden ist. Im Unterschied zum Stand der Technik ist der Übergang von der ersten Schicht zur zweiten Schicht nicht abrupt, sondern durch einen Übergangsbereich gebildet, innerhalb dessen die Konzentration des ersten Elements sich nicht sprunghaft von dem Wert in der ersten Schicht auf den Wert in der zweiten Schicht ändert, sondern mindestens abschnittsweise kontinuierlich zunimmt und/oder abnimmt, insbesondere von dem Wert in der ersten Schicht auf einen demgegenüber geringeren oder auch Null betragenden Wert abnimmt. Alternativ oder ergänzend kann auch die Konzentration des zweiten Elements im Übergangsbereich mindestens abschnittsweise kontinuierlich zunehmen und/oder abnehmen. In einer Ausführungsart ist die Zunahme oder Abnahme stetig, d. h. die Konzentration des ersten oder zweiten Elements ist im Übergangsbereich mindestens abschnittsweise im mathematischen Sinn monoton steigend oder fallend.
- 20 In einer Ausführungsart ist die erste Schicht beispielsweise ein Oxid eines Metalls oder Halbleiters, der ein Basiselement dieser Schicht bildet, beispielsweise Al_2O_3 oder SiO_2 . Die zweite Schicht ist das Nitrid des Basiselements, beispielsweise AlN oder Si_3N_4 . Im Übergangsbereich nimmt die Konzentration des ersten Elements Sauerstoff ausgehend von einem der ersten Schicht zugewandten Ende des Übergangsbereich in Richtung auf ein der zweiten Schicht zugewandten Ende des Übergangsbereichs mindestens abschnittsweise kontinuierlich ab, insbesondere von dem in der ersten Schicht vorliegenden Maximalwert der Konzentration auf einen Wert von im Wesentlichen Null, der in der

- zweiten Schicht vorliegt. Alternativ oder ergänzend nimmt im Übergangsbereich die Konzentration des zweiten Elements Stickstoff ausgehend von einem der zweiten Schicht zugewandten Ende des Übergangsbereichs in Richtung auf ein der ersten Schicht zugewandtes Ende des Übergangsbereichs mindestens abschnittsweise kontinuierlich ab, insbesondere von dem in der zweiten Schicht vorliegenden Maximalwert der Konzentration auf einen Wert von im Wesentlichen Null, der in der ersten Schicht vorliegt.
- 10 In einer Ausführungsart beträgt die Zunahme oder Abnahme der Konzentration des ersten oder zweiten Elements im Übergangsbereich über eine Erstreckung von mindestens 5 nm rechtwinklig zur flächigen Ausdehnung der ersten Schicht mindestens 10 % des Wertes der Konzentration des ersten Elements oder des zweiten Elements in dem an dem Übergangsbereich angrenzenden Bereich der ersten bzw. zweiten Schicht. Vorzugsweise beträgt die Zunahme oder Abnahme über eine Erstreckung von mindestens 10 nm mindestens 20 % des Ausgangswertes und insbesondere über eine Erstreckung von mindestens 20 nm mindestens 50 % des Ausgangswertes. In einer Ausführungsart ist die Zunahme oder Abnahme der Konzentration des ersten oder zweiten Elements von im Wesentlichen Null auf den Maximalwert über eine Erstreckung von mindestens 20 nm, insbesondere mindestens 40 nm und typischerweise zwischen 20 bis 1.000 nm, insbesondere 40 bis 250 nm und vorzugsweise 50 bis 100 nm.
- 25 In einer Ausführungsart ist die Zunahme oder Abnahme der Konzentration des ersten oder zweiten Elements kontinuierlich ohne Sprung. Alternativ hierzu kann die Zunahme oder Abnahme nach einem abschnittsweise

kontinuierlichen Verlauf auch einen Sprung aufweisen und anschließend konstant sein oder erneut kontinuierlich zunehmen oder abnehmen.

5 In einer Ausführungsart erstreckt sich die Zunahme oder Abnahme über den gesamten Übergangsbereich, sowohl für das erste Element als auch für das zweite Element. Alternativ hierzu kann die Zunahme oder Abnahme mindestens eines der beiden Elemente lediglich in einem Teilbereich des Übergangsbereichs erfolgen und in dem verbleibenden Abschnitt des Übergangsbereichs konstant bleiben.

10

In einer Ausführungsart ist außerhalb des Übergangsbereichs die Konzentration des ersten und/oder zweiten Elements in den sich an den Übergangsbereich anschließenden ersten und zweiten Schichten konstant.

15 In einer Ausführungsart sind mindestens einige, vorzugsweise alle Schichten des Schichtsystems durch Kathodenzerstäubung hergestellt, insbesondere durch so genanntes reaktives Sputtern, bei dem alternativ oder ergänzend zu dem Arbeitsgas, typischerweise Argon oder ein anderes
20 sogenanntes Edelgas, ein Reaktionsgas wie beispielsweise Sauerstoff oder Stickstoff zugesetzt wird. Die Ionen des Reaktionsgases reagieren mit den abgesputterten Schichtatomen in der Vakuumkammer und/oder auf der Substratoberfläche, so dass nur Reaktionsprodukte die Substratoberfläche bedecken. Auf diese Weise ist es beispielsweise möglich, unter
25 Verwendung eines Aluminiumtargets und Sauerstoff als Reaktionsgas eine Aluminiumoxidschicht (Al_2O_3) abzuscheiden.

Um eine Oxidation der Targetoberfläche bei reaktiven Prozessen zu verhindern, wird als Beschichtungsverfahren das Hochfrequenzsputtern oder das DC-Impulssputtern genutzt. Beide Verfahren verwenden ein

Magnetron als Sputterquelle, wodurch alternativ oder ergänzend zu dem bei der normalen Kathodenzerstäubung angelegten elektrischen Feld ein magnetisches Feld die aus dem Target herausgelösten Sekundärelektronen auf Zykloidenbahnen zwingt. Durch die sich dadurch ergebenden längeren
5 Teilchenbahnen stehen die Sekundärelektronen dem Plasma länger für Ionisierungsprozesse zur Verfügung. Dadurch lassen sich die Prozessdrücke bei gleichbleibender Schichtwachstumsrate reduzieren, was zu einer besseren, insbesondere weil dichteren und weniger porösen Schicht führt, die dementsprechend u. a. ein besseres elektrisches Isolationsverhalten
10 aufweist.

In einer Ausführungsart werden mindestens einige, vorzugsweise alle Schichten des Schichtsystems durch Kathodenzerstäubung hergestellt und dabei die Vakuumkammer nicht belüftet, sondern die einzelnen Schichten
15 nacheinander ohne Belüftung der Vakuumkammer aufgebracht. Eventuell erforderliche Reinigungsschritte können durch Rückspütern und unmittelbar anschließendes Aufbringen der darauf folgenden Schicht durchgeführt werden.

20 In einer Ausführungsart ist die erste Schicht elektrisch leitfähig und die zweite Schicht elektrisch isolierend. Die elektrisch leitfähige Schicht kann insbesondere durch ein Metall wie etwa Aluminium, Tantal oder Titan gebildet sein. In einer Ausführungsart grenzt die erste Schicht an das Substrat an, entweder unmittelbar an den Substratwerkstoff oder an eine auf
25 den Substratwerkstoff aufgebraute Haftvermittlungsschicht, beispielsweise aus Nickel/Chrom. Dadurch ergibt sich eine besonderes gute Haftung der ersten Schicht an dem Substrat aufgrund des Metall/Metall-Überganges. Außerdem kann durch diesen Metall/Metall-Übergang und in Ausgestaltung der Dicke der Metallschicht eine Duktilität und eine Anpassung des

thermischen Ausdehnungskoeffizienten erreicht werden, durch den die temperaturinduzierten mechanischen Spannungen reduziert sind, was sowohl die Haftfähigkeit des Schichtsystems auf dem Substrat verbessert, insbesondere ein Ablösen der Isolationsschichten voneinander und/oder von dem Substrat verhindert, als auch die Sensoreigenschaften verbessert, weil die Offsetspannung des Sensors und vorallem der Temperaturkoeffizient der Offsetspannung des Sensors herabgesetzt ist.

Anschließend wird eine zweite Schicht beispielsweise aus einem Oxid oder einem Nitrid des Metalles der ersten Schicht aufgebracht und dadurch eine erste Isolationsschicht auf das Substrat aufgebracht, wobei im Übergangsbereich die Konzentration von Sauerstoff und/oder Stickstoff mindestens abschnittsweise ausgehend von dem der ersten Schicht zugewandten Ende des Übergangsbereichs kontinuierlich bis zu dem stöchiometrischen Wert in der zweiten Schicht zunimmt. Dementsprechend nimmt die Konzentration des ersten Elements ausgehend von dem Maximalwert in der ersten Schicht auf dem stöchiometrischen Wert des Oxids oder Nitrids in der zweiten Schicht kontinuierlich ab.

In einer Ausführungsart sind zwei aneinandergrenzende Schichten durch ein Oxid einerseits und ein Nitrid andererseits desselben Basiselements gebildet, beispielsweise Übergänge wie $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AlN}$ oder $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$.

In einer Ausführungsart sind zwei aneinandergrenzende Schichten jeweils übereinstimmend ein Oxid oder ein Nitrid eines ersten bzw. eines zweiten Basiselements, beispielsweise $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ oder $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{AlN}$.

In einer Ausführungsart sind zwei aneinandergrenzende Schichten ein Oxid eines ersten Basiselements einerseits und ein Nitrid eines zweiten Basiselements andererseits, beispielsweise $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}_3\text{N}_4$ oder AlN/SiO_2 .

- 5 In einer Ausführungsart ist das Substrat aus einem elektrisch leitfähigen Werkstoff gebildet, beispielsweise aus Stahl oder Edelstahl. Es kann sich dabei um ein Plattenmaterial handeln oder um ein zylindrisches Material, auf dessen Stirnseite das Schichtsystem und die Sensorelemente aufgebracht sind. In einer Ausführungsart ist der Sensor ein in Dünnschichttechnik oder
- 10 Dickschichttechnik hergestellter Drucksensor, bei dem das Substrat vorzugsweise einstückig eine Membran bildet, die infolge einer Druckbeaufschlagung ausgelenkt wird.

- Die Sensorelemente können durch Dehnungsmessstreifen oder
- 15 piezoresistive Widerstände gebildet sein, bei denen infolge der Verformung des Substrats bzw. der Membran eine Geometrieänderung und/oder eine Änderung der Ladungsträgerbeweglichkeit erfolgt, die in ein Ausgangssignal des Sensors umgewandelt werden kann, beispielsweise durch Anordnung von zwei oder vier derartiger Sensorelemente in einer Halb- oder
- 20 Vollbrücke. Die Wandlung der physikalischen Größe in ein elektrisches Signal erfolgt dabei mittelbar über die Verformung des Substrats bzw. die Durchbiegung der Membran. Alternativ oder ergänzend können auch andere Signalwandlerprinzipien eingesetzt werden, beispielsweise piezoelektrische Sensorelemente, bei denen eine Verformung zu einer
- 25 Polarisierung und mithin zu einer Ladungsträgerverschiebung verführt, die als Spannung abgreifbar ist. Weiterhin alternativ oder ergänzend können auch Wandlerprinzipien eingesetzt werden, bei denen die zu detektierende Größe unmittelbar in ein elektrisches Signal umgewandelt wird, beispielsweise chemische Sensoren oder optische Sensoren.

In einer Ausführungsart handelt es sich bei dem Sensor um einen Temperatursensor, insbesondere um einen Temperatursensor auf einem metallischen Träger. In einer Ausführungsart handelt es sich bei dem Sensor
5 um einen kalorimetrischen Sensor, insbesondere einen kalorimetrischen Strömungssensor, der ebenfalls auf einem metallischen Träger aufgebracht sein kann.

Erfindungsgemäße Sensoren können bei Temperaturen über 150°
10 eingesetzt werden, insbesondere bei Temperaturen über 250° und vorzugsweise bis zu Temperaturen von 600°. Die bei diesen Temperaturen einsetzende und das Isolationsverhalten negativ beeinflussende Ionenbewegung wird an den Übergängen der einzelnen Schichten des Schichtsystems gehemmt, insbesondere wenn zwei aneinandergrenzende
15 Schichten unterschiedliche Basiselemente aufweisen. So ist die Einlagerung von Siliziumionen, die aus einer SiO₂- oder Si₃N₄-Schicht stammen, in einer daran anschließenden, beispielsweise auf Aluminium basierenden Schicht deutlich ungünstiger als bei einem Übergang beispielsweise von SiO₂ zu Si₃N₄. Die Schichten des Schichtsystems können beispielsweise
20 aus SiO₂, Si₃N₄, Al₂O₃, AlN, ZrO₂, BeO, Zr₃N₄, Ta₂O₅ und TaN hergestellt sein.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung, in der
25 unter Bezugnahme auf die Zeichnungen mehrere Ausführungsbeispiele im Einzelnen beschrieben sind. Dabei können die in den Ansprüchen und in der Beschreibung erwähnten Merkmale jeweils einzeln für sich oder in beliebiger Kombination erfindungswesentlich sein.

- Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen Sensor,
Fig. 2 zeigt den Verlauf der Konzentration der Elemente in dem ersten Übergangsbereich,
Fig. 3 zeigt den Verlauf der Konzentration der Elemente im Bereich des
5 zweiten Übergangsbereichs,
Fig. 4 zeigt den Verlauf der Konzentration der Elemente in dem dritten Übergangsbereich, und
Fig. 5 zeigt den Verlauf der Konzentration der Elemente in dem vierten Übergangsbereich.

10

Die Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen Sensor 1. Das Substrat 2 ist aus einem scheibenförmigen Körper aus Edelstahl hergestellt, in dem auf der Rückseite unter Belassung eines umlaufenden Versteifungs- oder Befestigungsringes 4 eine Bohrung
15 eingebracht oder ausgedreht ist, durch welche eine Membran 6 des Substrats 2 gebildet ist. In dem Bereich der Membran 6 sind auf der Vorderseite des Sensors 1 Sensorelemente 8 angeordnet, im Ausführungsbeispiel Dehnungsmessstreifen oder piezoresistive Widerstände. Infolge einer Druckdifferenz zwischen Vorder- und Rückseite
20 kommt es zu einer Durchbiegung der Membran 6 und demzufolge zu einer Stauchung bzw. Dehnung der Sensorelemente 8, die bei entsprechender Verschaltung der Sensorelemente 8 zu einer Halb- oder Vollbrücke ein elektrisches Signal erzeugt.

25 Zwischen den Sensorelementen 8 und der Membran 6 ist ein Schichtsystem 10 angeordnet, dessen Dicke aus Gründen der Darstellbarkeit vergrößert ist. Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist das Schichtsystem 10 aus insgesamt fünf Schichten 12, 16, 20, 24, 28 gebildet. Unmittelbar auf die Vorderseite des Substrats 2 ist durch Kathodenzerstäubung eine typisch

zwischen 1 nm und 50 nm dicke metallische Schicht 12, im Ausführungsbeispiel eine Aluminiumschicht 12 aufgebracht. Die Aluminiumschicht 12 kann dabei unmittelbar auf die Edelstahloberfläche des Substrats 2 aufgebracht sein oder es kann zuvor eine dünne, typisch
5 zwischen 1 und 10 nm dicke Chrom/Nickel-Haftvermittlungsschicht auf das Substrat 2 aufgebracht sein, durch welche die Haftung der Aluminiumschicht 12 auf dem Substrat 2 noch weiter verbessert ist.

Während des Sputterns der Aluminiumschicht 12 kann nach einer gewissen
10 Zeit ein Reaktivgas zugeführt werden, beispielsweise Sauerstoff oder Stickstoff. Im Ausführungsbeispiel wurde Sauerstoff zugeführt, und zwar in einer Weise, dass sich ausgehend von der Aluminiumschicht 12 unter Bildung eines ersten Übergangsbereiches 14 eine Aluminiumoxidschicht 16 bildet, deren Dicke typischerweise zwischen 10 nm und 2.000 nm beträgt,
15 und insbesondere zwischen 200 und 2.000 nm beträgt. Die Dicke des ersten Übergangsbereiches 14 beträgt mindestens 10 nm, vorzugsweise zwischen 20 und 250 nm und insbesondere zwischen 50 und 100 nm.

Nachdem eine ausreichende Dicke der Aluminiumoxidschicht 14
20 hergestellt ist, kann, ohne dass die Reaktionskammer der Sputteranlage belüftet wird, der Anteil des Reaktionsgases Sauerstoff sprunghaft oder kontinuierlich reduziert werden und gleichzeitig oder zeitversetzt der Anteil eines weiteren Reaktionsgases, im Ausführungsbeispiel Stickstoff, erhöht werden, ebenfalls sprunghaft oder kontinuierlich. Dadurch bildet sich nach
25 einer zweiten Übergangsschicht 18, innerhalb welcher der Sauerstoffgehalt auf Null reduziert wird, eine Aluminiumnitridschicht 20 aus, deren Dicke typischerweise zwischen 10 nm und 2.000 nm beträgt, und insbesondere zwischen 100 und 1.000 nm beträgt. Die Dicke des zweiten

Übergangsbereichs 18 beträgt mindestens 10 nm, vorzugsweise zwischen 20 und 250 nm und insbesondere zwischen 50 und 100 nm.

Nachdem die Aluminiumnitridschicht 20 in ausreichender Dicke hergestellt ist, kann entweder ein abrupter oder ein kontinuierlicher Übergang zu der sich daran anschließenden Siliciumoxidschicht 24 hergestellt werden. Im dargestellten Ausführungsbeispiel erfolgt der Übergang kontinuierlich mittels eines dritten Übergangsbereiches 22, innerhalb dessen gleichzeitig die Konzentration von Aluminium und Stickstoff abnimmt und in
10 entsprechendem Maße die Konzentration von Silicium und Sauerstoff zunimmt bis an dem der Siliciumoxidschicht 24 zugewandten Ende des dritten Übergangsbereiches 22 eine reine Siliciumoxidschicht 24 vorliegt, deren Dicke typischerweise zwischen 10 nm und 2.000 nm beträgt, und insbesondere zwischen 100 und 1.000 nm beträgt. Die Dicke des dritten
15 Übergangsbereichs 22 beträgt mindestens 10 nm, vorzugsweise zwischen 20 und 250 nm und insbesondere zwischen 50 und 100 nm.

Die kontinuierlichen Materialübergänge haben den Vorteil, dass eine kontinuierliche Anpassung des thermischen Ausdehnungskoeffizienten erfolgt, sodass zum einen Ablösungserscheinungen der Schichten
20 voneinander und insbesondere von dem Substrat 2 vermieden sind und zum anderen die bei Temperaturänderungen auftretenden und durch die Nichtübereinstimmung der thermischen Ausdehnungskoeffizienten der einzelnen Schichten hervorgerufenen Spannungen reduziert sind.

25

Abweichend von dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist es auch möglich, dass jedenfalls der ein oder andere Übergang zwischen den einzelnen Schichten abrupt erfolgt, beispielsweise der Übergang von der Aluminiumnitridschicht 20 zu der Siliciumoxidschicht 24. So kann

beispielsweise das Sputtern des Aluminiumtargets unter Verwendung von Stickstoff als Reaktionsgas beendet werden und anschließend unmittelbar ein Siliciumtarget unter Verwendung von Sauerstoff als Reaktionsgas oder auch direkt ein Siliciumoxidtarget gesputtert werden und dadurch die
5 Siliciumoxidschicht 24 aufgebracht werden.

Nachdem die Siliciumoxidschicht 24 in ausreichender Dicke hergestellt ist, wird noch eine Siliciumnitridschicht 28 aufgebracht. Dies kann auch dadurch erfolgen, dass der Sputtervorgang der Siliciumoxidschicht 24
10 abgeschlossen wird und anschließend unmittelbar ein Siliciumnitridtarget gesputtert wird und dadurch die Siliciumnitridschicht 28 aufgebracht wird. Alternativ hierzu ist es auch möglich, sowohl für das Aufbringen der Siliciumoxidschicht 24 als auch der Siliciumnitridschicht 28 jeweils ein Siliciumtarget zu zerstäuben und dabei zunächst Sauerstoff als Reaktionsgas
15 zu verwenden, um dadurch die Siliciumoxidschicht 24 herzustellen, und anschließend, entweder abrupt oder kontinuierlich, den Sauerstoffanteil zu reduzieren und/oder den Stickstoffanteil zu erhöhen, sodass am Ende die Siliciumnitridschicht 28 abgeschieden wird. In diesem Fall ergibt sich ein vierter Übergangsbereich 26, der nicht nur Anteile von Siliciumoxid und
20 Siliciumnitrid aufweist, sondern auch Anteile von Siliciumoxinitrid. Die Dicke des vierten Übergangsbereichs 26 beträgt mindestens 10 nm, vorzugsweise zwischen 20 und 250 nm und insbesondere zwischen 50 und 100 nm. Die Dicke der Siliciumnitridschicht 28 beträgt typischerweise zwischen 10 nm und 2.000 nm beträgt, und insbesondere zwischen 200
25 und 2.000 nm beträgt.

Auf das so hergestellte Schichtsystem 10, das insgesamt eine Schichtdicke zwischen 1 und 50 μm aufweist, insbesondere zwischen 2 und 40 μm und vorzugsweise zwischen 5 und 20 μm , werden die Sensorelemente 8 in

Dickschichttechnik oder Dünnschichttechnik aufgebracht. Im Falle der Dickschichttechnik kann das Aufbringen strukturiert erfolgen, wohingegen im Falle der Dünnschichttechnik zunächst eine ganzflächige Schicht aufgebracht wird, die anschließend strukturiert wird, um die

5 Sensorelemente 8 herzustellen. Die Sensorelemente 8 können insbesondere aus einem Metall oder einer Legierung hergestellt sein, beispielsweise aus Chrom-Nickel-Stahl, oder aus polykristallinen Werkstoffen, beispielsweise dotiertem Silizium. Je nach Anwendungsfall können auf die Sensorelemente 8 noch eine oder mehrere Passivierungsschichten aufgebracht werden, um

10 die Sensorelemente 8 gegenüber Umgebungseinwirkungen zu schützen und dadurch die Langzeitstabilität des Sensors 1 zu erhöhen.

Eine alternative Schichtfolge des Schichtsystems 10 ist ausgehend von dem metallischen Substrat 2 Aluminium-Aluminiumoxid-Aluminiumnitrid-

15 Siliciumnitrid-Siliciumoxid oder auch Aluminium-Aluminiumoxid-Siliciumoxid-Siliciumnitrid-Siliciumoxid-Siliciumnitrid.

Die Fig. 2 zeigt den Verlauf der Konzentration der Elemente in dem ersten Übergangsbereich 14. Ausgehend von dem Substrat 2 besteht die erste

20 metallische Schicht 12 im Wesentlichen aus dem Metall Aluminium. Im ersten Übergangsbereich 14 sinkt der Anteil der Aluminiumatome von im Wesentlichen 100 % auf im Wesentlichen 40 %, entsprechend der Zusammensetzung des Aluminiumoxids Al_2O_3 in der Aluminiumoxidschicht 16. In entsprechender Weise steigt die

25 Konzentration des Sauerstoffs ausgehend von einem Wert von im Wesentlichen Null sowohl im Substrat 2 als auch in der ersten metallischen Schicht 12 auf den stöchiometrischen Wert von etwa 60 % in der Aluminiumoxidschicht 16 an.

Die Abnahme der Konzentration des Aluminiums und die Zunahme der Konzentration von Sauerstoff verläuft dabei kontinuierlich, insbesondere stetig monoton fallend für das Aluminium bzw. stetig monoton steigend für den Sauerstoff. Die Steilheit der Abnahme bzw. Zunahme, d. h. der Gradient des Konzentrationsverlaufes, kann dabei an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden. Insbesondere kann der Gradient entweder an dem der ersten metallischen Schicht 12 zugewandten Ende des ersten Übergangsbereichs 14 größer oder kleiner als in einem mittleren Abschnitt des ersten Übergangsbereichs 14 sein, oder größer oder kleiner als an dem der Aluminiumoxidschicht 16 zugewandten Ende des ersten Übergangsbereichs 14 sein. Der Gradient kann auch mindestens abschnittsweise konstant sein, d. h. die Konzentration verläuft über dem Ort x linear.

Grundsätzlich ist es auch möglich, dass an dem der ersten metallischen Schicht 12 zugewandten Ende, und/oder in einem mittleren Abschnitt, und/oder an dem der Aluminiumoxidschicht 16 zugewandten Ende der Verlauf der Konzentration der Elemente einen Sprung aufweist. Außerdem ist es möglich, dass der Konzentrationsverlauf nicht streng monoton ist, sondern ein lokales Minimum oder Maximum ausbildet. Letztlich kann der Verlauf der Konzentration der Elemente an den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden, insbesondere um die thermisch induzierten Spannungen zu minimieren oder um eine Barriere für Ladungsträger zu bilden und dadurch die Isolationseigenschaften zu verbessern.

Das vorstehend Genannte gilt in entsprechender Weise für die anderen Übergangsbereiche 18, 22 und 26.

Die Fig. 3 zeigt den Verlauf der Konzentration der Elemente in Atom% im Bereich des zweiten Übergangsbereichs 18. Ausgehend von den stöchiometrischen Werten für Aluminium (40 %) und Sauerstoff (60 %) in der Aluminiumoxidschicht 16 sinkt die Konzentration des Sauerstoffs innerhalb des zweiten Übergangsbereichs 18 bis auf Null ab und behält diesen Wert im Wesentlichen auch in der daran anschließenden Aluminiumnitridschicht bei. Demgegenüber erhöht sich der Gehalt an Aluminium ausgehend von dem der Aluminiumoxidschicht 16 zugewandten Ende des zweiten Übergangsbereichs 18 zu dem der Aluminiumnitridschicht 20 zugewandten Ende bis auf den in der Aluminiumnitridschicht 20 vorliegenden stöchiometrischen Wert von 50 % kontinuierlich und stetig steigend. In entsprechender Weise erhöht sich auch der Anteil des Stickstoffs von einem im Wesentlichen Null betragenden Wert in der Aluminiumoxidschicht 16 und in dem der Aluminiumoxidschicht 16 zugewandten Ende des zweiten Übergangsbereichs 18 bis auf den stöchiometrischen Wert von 50 % in der Aluminiumnitridschicht 20 und an dem der Aluminiumnitridschicht 20 zugewandten Ende des zweiten Übergangsbereichs 18. Auch dieser Anstieg ist stetig und monoton.

20

Innerhalb des zweiten Übergangsbereichs 18 bildet sich eine Aluminiumoxinitridschicht, die sowohl als Barriere gegenüber thermisch induzierten Ladungsträgern dient und damit die Isolationsfestigkeit verbessert, als auch eine Anpassung der unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Aluminiumnitridschicht 20 an die Aluminiumoxidschicht 16 bildet. Die Aluminiumnitridschicht 20 ist auch deshalb besonders vorteilhaft, weil sie eine hohe Wärmeleitfähigkeit aufweist und dadurch die Ausbildung von lokalen Hotspots vermeidet.

Die Fig. 4 zeigt den Verlauf der Konzentration der Elemente in dem dritten Übergangsbereich 22. Ausgehend von den stöchiometrischen Werten 50 % für Stickstoff und Aluminium in der Aluminiumnitridschicht 20 sinkt die Konzentration dieser Elemente stetig und kontinuierlich in dem dritten Übergangsbereich 22. Allerdings erreichen die Konzentrationswerte dieser Elemente erst an dem der anschließenden Siliciumoxidschicht 24 zugewandten Ende in dem dritten Übergangsbereich 22 den Wert Null. Dementsprechend erfolgt an der Grenze zwischen dem dritten Übergangsbereich 22 und der Siliciumoxidschicht 24 eine sprunghafte Absenkung der Konzentration von Stickstoff und Aluminium auf Null, beispielsweise indem ein Sputtervorgang, an dem noch ein Aluminiumtarget beteiligt war, beendet wird und anschließend ein Sputtervorgang gestartet wird, an dem kein Aluminiumtarget mehr beteiligt ist. Dadurch entsteht auch ein Sprung in der Konzentration von Silicium und Sauerstoff an dem Übergang von dem dritten Übergangsbereich 22 zu der Siliciumoxidschicht 24. Innerhalb der Siliciumoxidschicht 24 ist die Konzentration der Silicium- und Sauerstoffatome konstant und beträgt insbesondere den stöchiometrischen Wert $1/3$ bzw. $2/3$. Innerhalb des dritten Übergangsbereiches 22 steigt die Konzentration der Silicium- und Sauerstoffatome ausgehend von einem Wert von im Wesentlichen Null an dem der Aluminiumnitridschicht 20 zugewandten Ende stetig und kontinuierlich an.

Die Fig. 5 zeigt den Verlauf der Konzentration der Elemente in dem vierten Übergangsbereich 26. Dabei sinkt der Anteil des Sauerstoffs ausgehend von dem in der Siliciumoxidschicht 24 vorliegenden stöchiometrischen Wert von etwa $2/3$ innerhalb des vierten Übergangsbereiches 26 auf den Wert von annähernd Null ab. Demgegenüber steigt der Anteil der Stickstoffatome von einem Wert von im Wesentlichen Null an dem der Siliciumoxidschicht

24 zugewandten Ende des vierten Übergangsbereichs 26 auf den in der anschließenden Siliciumnitridschicht 28 herrschenden stöchiometrischen Wert von $4/7$ kontinuierlich und stetig an. Der Anteil der Siliciumatome steigt ebenfalls ausgehend von dem in der Siliciumoxidschicht 24 vorliegenden stöchiometrischen Anteil von etwa $1/3$ auf den in der Siliciumnitridschicht 28 vorliegenden stöchiometrischen Anteil von $3/7$ innerhalb des vierten Übergangsbereichs 26 kontinuierlich und stetig an.

Abweichend von dem dargestellten Ausführungsbeispiel können die Übergangsbereiche 14, 18, 22, 26, in denen sich die Konzentration der Elemente mindestens abschnittsweise ohne Sprung kontinuierlich ändert, auch nur zwischen einzelnen Schichtpaaren eines mehrschichtigen Schichtsystems 10 vorgesehen sein und andere Übergänge zwischen einem Schichtpaar können abrupt erfolgen. Ebenso können Schichtsysteme 10 weniger oder mehr Schichten als das dargestellte Ausführungsbeispiel aufweisen, wobei vorzugsweise mindestens zwei Schichten in dem Schichtsystem 10 vorhanden sind, die aus unterschiedlichen Basiselementen, beispielsweise aus Silicium einerseits und Aluminium andererseits, hergestellt sind.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Isolatorschichtsystem (10) für einen Sensor (1), insbesondere für einen
in Dünn- oder Dickschichttechnik hergestellten Druck- oder
5 Kraftsensor, mit einem Schichtsystem (10), das eine erste Schicht und
eine zweite Schicht aufweist, wobei die erste Schicht ein erstes
Element aufweist und die zweite Schicht ein zweites Element
aufweist, das von dem ersten Element verschieden ist, **dadurch**
gekennzeichnet, dass der Übergang zwischen der ersten Schicht und
10 der zweiten Schicht durch einen Übergangsbereich (14, 18, 22, 26)
gebildet ist, dass die Konzentration des ersten Elements im
Übergangsbereich (14, 18, 22, 26) ausgehend von einem der ersten
Schicht zugewandten Ende des Übergangsbereichs (14, 18, 22, 26) in
Richtung auf ein der zweiten Schicht zugewandtes Ende des
15 Übergangsbereichs (14, 18, 22, 26) mindestens abschnittsweise
kontinuierlich zunimmt und/oder abnimmt, und/oder dass die
Konzentration des zweiten Elements im Übergangsbereich (14, 18,
22, 26) ausgehend von einem der zweiten Schicht zugewandten Ende
des Übergangsbereichs (14, 18, 22, 26) in Richtung auf ein der ersten
20 Schicht zugewandtes Ende des Übergangsbereichs (14, 18, 22, 26)
mindestens abschnittsweise kontinuierlich zunimmt und/oder
abnimmt.

2. Isolatorschichtsystem (10) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
25 dass die Konzentration des ersten Elements im Übergangsbereich (14,
18, 22, 26) mindestens abschnittsweise kontinuierlich abnimmt
und/oder die Konzentration des zweiten Elements im
Übergangsbereich (14, 18, 22, 26) mindestens abschnittsweise
kontinuierlich zunimmt.

3. Isolatorschichtsystem (10) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Zunahme oder Abnahme der Konzentration des ersten Elements im Übergangsbereich (14, 18, 22, 26) über eine
5 Erstreckung von mindestens 5 nm rechtwinklig zur flächigen Ausdehnung der ersten Schicht mindestens 10 % des Wertes der Konzentration des ersten Elements in dem an den Übergangsbereich (14, 18, 22, 26) angrenzenden Bereich der ersten Schicht beträgt.
- 10 4. Isolatorschichtsystem (10) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die kontinuierliche Zunahme oder Abnahme der Konzentration des zweiten Elements im
15 Übergangsbereich (14, 18, 22, 26) über eine Erstreckung von mindestens 5 nm rechtwinklig zur flächigen Ausdehnung der zweiten Schicht mindestens 10 % des Wertes der Konzentration des zweiten
15 Elements in dem an den Übergangsbereich (14, 18, 22, 26) angrenzenden Bereich der zweiten Schicht beträgt.
- 20 5. Isolatorschichtsystem (10) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Schicht elektrisch leitfähig ist und die zweite Schicht elektrisch isolierend ist.
6. Isolatorschichtsystem (10) nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Schicht an ein Substrat (2) angrenzt.
25
7. Isolatorschichtsystem (10) nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Schicht ein Oxid oder Nitrid eines in der ersten Schicht enthaltenen oder die erste Schicht bildenden Werkstoffes ist.

8. Isolatorschichtsystem (10) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine der Schichten des Schichtsystems (10) ein Oxid eines Basiselements ist und eine daran anschließende weitere Schicht des Schichtsystems ein Nitrid des Basiselements ist, und dass der Übergangsbereich (14, 18, 22, 26) ein Oxinitrid ist.
9. Isolatorschichtsystem (10) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine der Schichten des Schichtsystems (10) ein Oxid oder Nitrid eines ersten Basiselements ist und eine daran anschließende weitere Schicht des Schichtsystems ein Oxid oder Nitrid eines zweiten Basiselements ist, und dass im Übergangsbereich (14, 18, 22, 26) die Konzentration des ersten Basiselements mindestens abschnittsweise abnimmt und/oder die Konzentration des zweiten Basiselements mindestens abschnittsweise kontinuierlich zunimmt.
10. Isolatorschichtsystem (10) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Isolatorschichtsystem (10) auf ein elektrisch leitfähiges Substrat (2) aufbringbar ist.
11. Sensor (1), insbesondere in Dünn- oder Dickschichttechnik hergestellter Druck- oder Kraftsensor, mit einem flächigen Substrat (2) und mindestens einem Sensorelement (8) zum unmittelbaren oder mittelbaren Wandeln einer zu ermittelnden Größe in ein elektrisches Signal, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Substrat (2) und dem Sensorelement (8) ein Isolatorschichtsystem (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche angeordnet ist.

12. Sensor (1) nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (2) elektrisch leitfähig ist.
- 5 13. Sensor (1) nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor (1) ein in Dünnschichttechnik oder Dickschichttechnik hergestellter Drucksensor ist mit einem vorzugsweise einstückig eine Membran (6) bildenden Substrat (2), auf welches das Schichtsystem (10) aufgebracht ist.

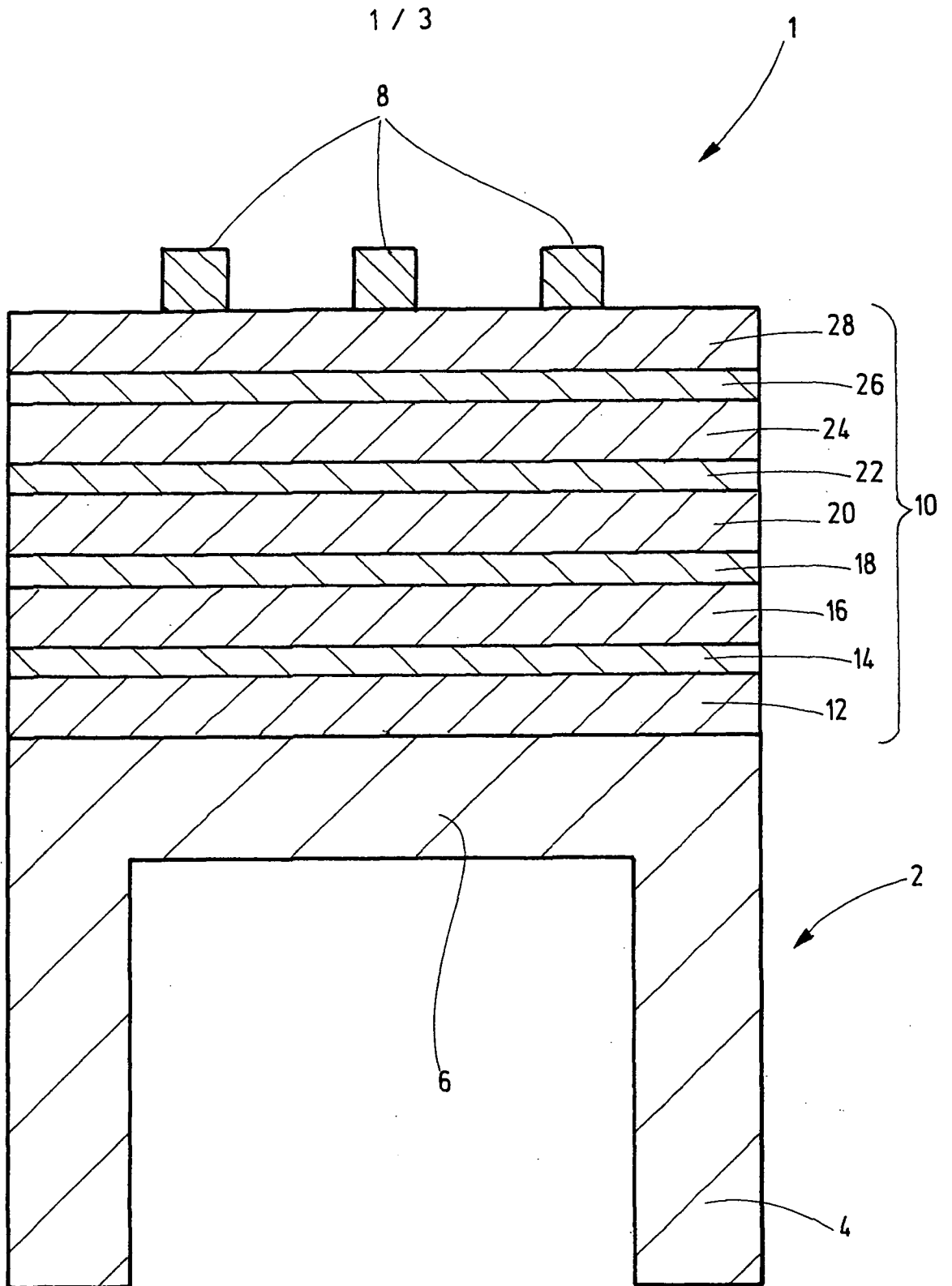


Fig.1

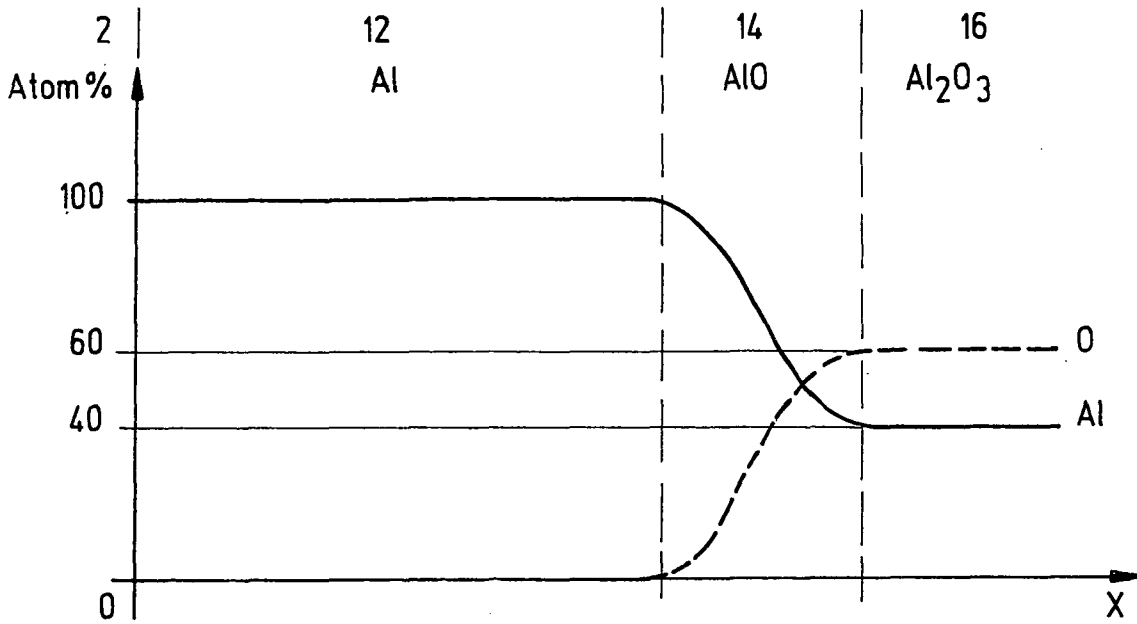


Fig.2

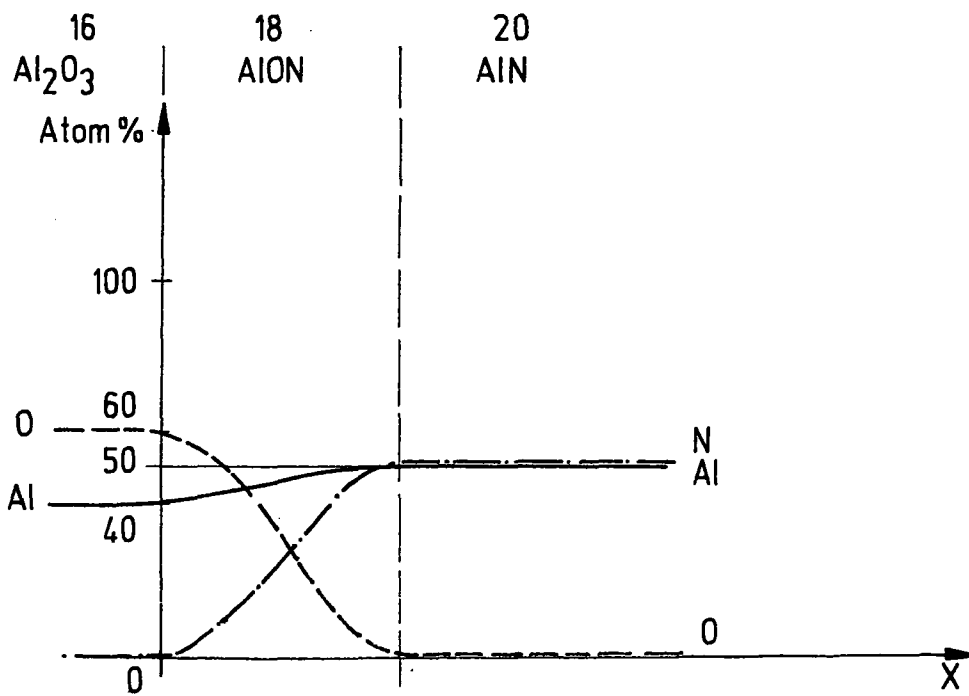


Fig.3

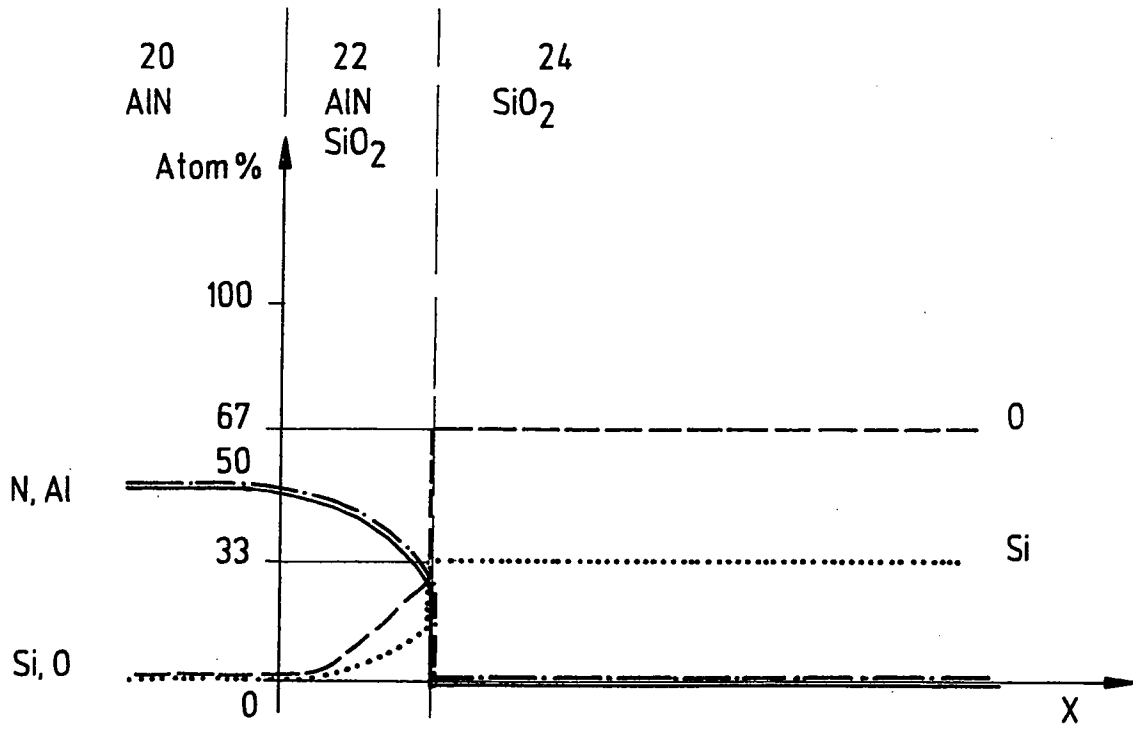


Fig.4

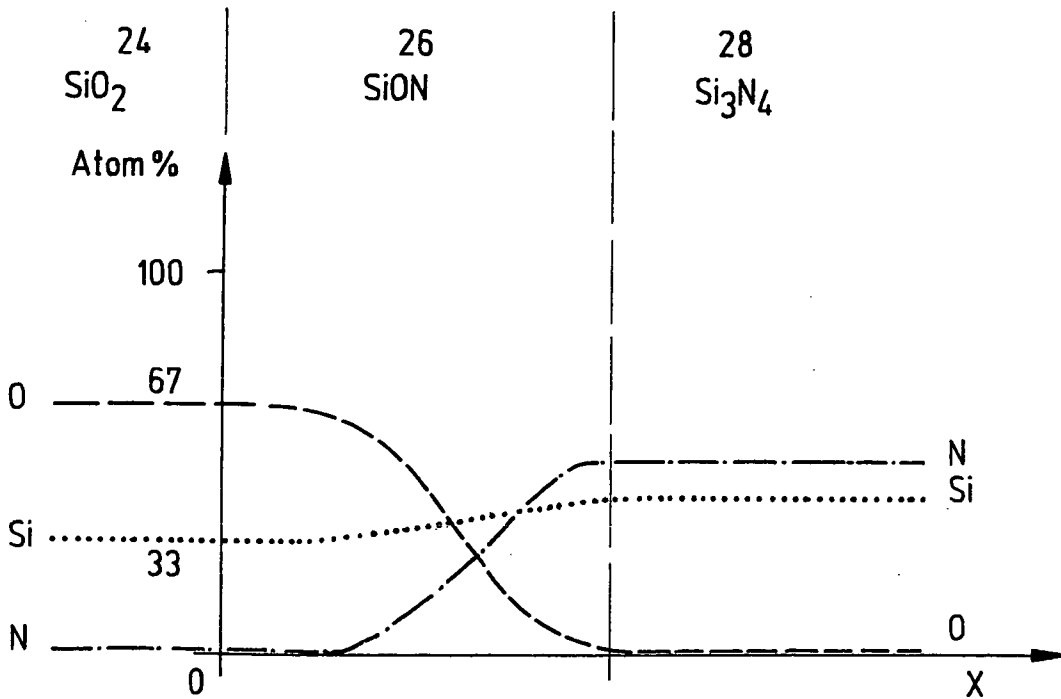


Fig.5