



SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

11 CH 676153 A5

51 Int. Cl.⁵: G 01 N 25/66

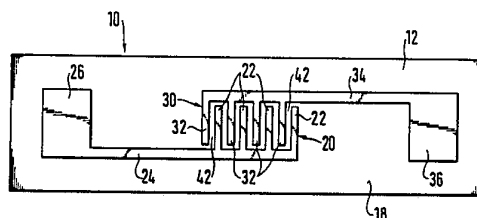
Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer:	1805/88	73 Inhaber:	Endress u. Hauser GmbH & Co., Maulburg (DE)
22 Anmeldungsdatum:	11.05.1988		
30 Priorität(en):	16.06.1987 DE 3720189	72 Erfinder:	Herrmann, Rainer, Steinen (DE) Funken, Dieter, Lörrach (DE)
24 Patent erteilt:	14.12.1990		
45 Patentschrift veröffentlicht:	14.12.1990	74 Vertreter:	Scheidegger, Zwicky, Werner & Co., Zürich

54 Taupunkt-Sensor zur Messung des Wasserdampf-Taupunktes in Gasen.

57 Ein Taupunkt-Sensor (10) für ein Taupunkt-Messgerät zur Messung des Wasserdampf-Taupunktes in Gasen hat eine dem zu messenden Gas ausgesetzte Sensorfläche (18), auf der bei Abkühlung auf die Taupunkt-Temperatur Wasserdampf kondensiert. An der Sensorfläche (18) sind zwei Elektrodenstrukturen (20, 30) angebracht, die in gleichmässigem Abstand parallel zueinander angeordnete Elektrodenabschnitte (22, 32) aufweisen, die mit einer feuchtigkeitsunempfindlichen Isolierschicht abgedeckt sind. Das Erreichen der Taupunkt-Temperatur wird durch Messung der Impedanz oder Kapazität zwischen den beiden Elektrodenstrukturen (20, 30) festgestellt. Der Abstand zwischen den parallel zueinander angeordneten Elektrodenabschnitten (22, 32) der beiden Elektrodenstrukturen (20, 30) ist kleiner als 50 μm , und die Dicke der Isolierschicht ist um ein Vielfaches kleiner als der Abstand zwischen den Elektrodenabschnitten (22, 32).



Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Taupunkt-Sensor für ein Taupunkt-Meßgerät zur Messung des Wasserdampf-Taupunkts in Gasen, mit einer dem zu messenden Gas ausgesetzten Sensorfläche, auf der bei Abkühlung auf die Taupunkt-Temperatur Wasserdampf kondensiert, und mit zwei an der Sensorfläche angebrachten Elektrodenstrukturen mit in gleichmäßigem Abstand parallel zueinander angeordneten Elektrodenabschnitten, die mit einer feuchtigkeitsunempfindlichen Isolierschicht abgedeckt sind, um das Erreichen der Taupunkt-Temperatur durch Messung der Impedanz oder Kapazität zwischen den beiden Elektrodenstrukturen festzustellen.

Bei bekannten Taupunkt-Sensoren dieser Art beträgt der Abstand zwischen den Elektrodenabschnitten der beiden Elektrodenstrukturen mindestens 200 μm . Dieser Abstand ist wesentlich größer als der Durchmesser der ersten Kondensationströpfchen, die beim Erreichen der Taupunkt-Temperatur entstehen. Die Feststellung der Taupunkt-Temperatur beruht darauf, daß sich bei Bildung einer Tauschicht wegen der größeren Dielektrizitätskonstante von Wasser die Kapazität zwischen den beiden Elektrodenstrukturen ändert. Durch Regelung der Temperatur des Taupunkt-Sensors sucht man eine konstante Kapazität und demzufolge eine konstante Dicke der Tauschicht aufrechtzuerhalten. Die auf diese Weise eingeregelter Temperatur wird als Taupunkt-Temperatur gemessen.

Mit diesen bekannten Taupunkt-Sensoren ist es nicht möglich, den Beginn der beim Erreichen der Taupunkt-Temperatur einsetzenden Kondensation zu erkennen, weil die ersten sich bildenden Kondensationströpfchen noch zu keiner deutlich unterscheidbaren Kapazitätsänderung führen. Ferner wirken sich insbesondere Verschmutzungen der Sensorfläche stark auf das Meßergebnis aus, weil sie die Dielektrizitätskonstante der Tauschicht verändern können.

Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung eines Taupunkt-Sensors der eingangs angegebenen Art, mit dem unmittelbar die beim Erreichen der Taupunkt-Temperatur einsetzende Kondensation erkannt werden kann und der gegen Verschmutzungen der Sensorfläche wenig empfindlich ist.

Nach der Erfindung wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass der Elektrodenabstand zwischen den parallel zueinander angeordneten Elektrodenabschnitten der beiden Elektrodenstrukturen kleiner als 50 μm ist und dass die Dicke der Isolierschicht um ein Vielfaches kleiner als der Abstand zwischen den Elektrodenabschnitten ist.

Bei dem nach der Erfindung ausgebildeten Taupunkt-Sensor wird die Tatsache ausgenutzt, daß die Kondensationströpfchen beim Erreichen der Taupunkt-Temperatur sich in kürzester Zeit zu einer Mindestgröße ausbilden. Daher bilden die entstehenden Kondensationströpfchen eine Brücke zwischen den benachbarten Elektrodenabschnitten abdeckenden dünnen Isolierschichten. Da der ohmsche Widerstand dieser Kondensationströpfchen klein ist, werden dadurch die an sich feuchtigkeits-

unabhängigen Kapazitäten der Isolierschichten, die wegen der geringen Dicke dieser Isolierschichten groß gegen die Kapazität zwischen den Elektroden ist, durch eine leitende Brücke verbunden. Dies hat zur Folge, daß sich die zwischen den beiden Elektrodenstrukturen gemessene Impedanz oder Kapazität sprunghaft ändert. Dadurch kann das erste Auftreten von Kondensationströpfchen eindeutig festgestellt werden. Diese Erscheinung ist unabhängig von der Dielektrizitätskonstante des Wassers in den Kondensationströpfchen. Der Taupunkt-Sensor ist daher wesentlich empfindlicher bei der Detektion des Taupunktes und unempfindlicher gegen Verschmutzungen als Taupunkt-Sensoren, bei denen die durch die Dielektrizitätskonstante der Tauschicht verursachte Kapazitätsänderung zur Taupunkt-Detektion ausgenutzt wird.

Bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Taupunkt-Sensors nach der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen gekennzeichnet.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels, das in der Zeichnung dargestellt ist. In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 eine Draufsicht auf einen nach der Erfindung ausgebildeten Taupunkt-Sensor,

Fig. 2 einen Schnitt durch einen Teil des Taupunkt-Sensors von Fig. 1 in größerem Maßstab,

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Teils des Taupunkt-Sensors in noch größerem Maßstab und

Fig. 4 das elektrische Ersatzschaltbild des Taupunkt-Sensors von Fig. 1.

Der in Fig. 1 in Draufsicht und in Fig. 2 zum Teil in einer Schnittansicht dargestellte Taupunkt-Sensor 10 weist einen Träger 12 auf, der aus einem feuchtigkeitsunempfindlichen Isoliermaterial besteht. Wie Fig. 2 erkennen läßt, ist der Träger 12 unter Einfügung einer Trennscheibe 14 aus Aluminium auf einem Peltierelement 16 angebracht, mit dessen Hilfe er auf die Taupunkt-Temperatur abgekühlt werden kann. Die der Trennscheibe abgewandte freie Oberseite des Trägers 12 bildet die Sensorfläche 18, die der Gasatmosphäre ausgesetzt ist, deren Wasserdampf-Taupunkt gemessen werden soll, so daß sich darauf bei Abkühlung auf die Taupunkt-Temperatur durch Kondensation eine Tauschicht bildet.

Auf der Sensorfläche 18 sind zwei Elektrodenstrukturen 20 und 30 gebildet, die in Fig. 1 der Deutlichkeit wegen sehr vereinfacht dargestellt sind. Die Elektrodenstruktur 20 hat die Form eines Kammes mit einer Anzahl von parallelen Zähnen 22, die am einen Ende mit einem senkrecht dazu verlaufenden Steg 24 verbunden sind. Am Ende des Stegs 24 ist eine verbreiterte Kontaktfläche 26 angeformt, die zur Kontaktierung eines Anschlussleiters dient, über den die Elektrodenstruktur 20 mit der (nicht dargestellten) elektronischen Schaltung des Taupunkt-Meßgeräts verbunden wird, in welchem der Taupunkt-Sensor verwendet wird. Die Elektrodenstruktur 30 besteht in völlig gleicher Weise, aber spiegelbildlicher Anordnung, aus Zähnen 32, einem Steg 34 und einer Kontaktfläche 36.

Die Zähne 22 und 32 der beiden Elektrodenstrukturen liegen in einem kleinen zentralen Bereich des Trägers 12, der den eigentlichen für den Meßvorgang empfindlichen Sensorbereich bildet. Die Zähne 22 und 32 sind abwechselnd ineinandergreifend angeordnet, wobei die Zähne 22 der Elektrodenstruktur 20 in den Zwischenräumen zwischen den Zähnen 32 der Elektrodenstruktur 30 und umgekehrt die Zähne 32 der Elektrodenstruktur 30 in den Zwischenräumen zwischen den Zähnen 22 der Elektrodenstruktur 20 liegen. Jeweils zwei parallel nebeneinanderliegende Zähne stellen also Elektrodenabschnitte dar, die zu verschiedenen Elektrodenstrukturen gehören. Die Zwischenräume zwischen den Zähnen jeder Elektrodenstruktur sind so breit, daß in jedem Zwischenraum ein Zahn der anderen Elektrodenstruktur mit ausreichendem Abstand von den beiden benachbarten Zähnen aufgenommen werden kann. Dies ist insbesondere aus Fig. 2 zu erkennen, die in einem gegen die Darstellung von Fig. 1 vergrößerten Maßstab einen Schnitt durch mehrere nebeneinanderliegende Zähne 22, 32 der beiden Elektrodenstrukturen 20 bzw. 30 zeigt.

Jeder Zahn 22 und 32 der beiden Elektrodenstrukturen 20, 30 ist mit einer feuchtigkeitsempfindlichen Isolierschicht 40 überzogen, die alle freien Flächen des Zahns vollständig bedeckt. Die Zähne 22 und 32 sind also einerseits durch das Isoliermaterial des Trägers 12 und andererseits durch die Isolierschicht 40 vollständig von der Gasatmosphäre getrennt, deren Taupunkt gemessen werden soll. Bei der in Fig. 2 dargestellten Ausführungsform besteht zwischen den Isolierschichten, die zwei benachbarte Zähne bedecken, jeweils ein Spalt 42, der bis zur Oberfläche des Trägers 12 durchgeht.

Die Elektrodenstrukturen 20 und 30 sowie die die Zähne bedeckende Isolierschicht 40 können auf dem Träger 12 nach einem der üblichen Verfahren hergestellt werden, die aus der Technik der integrierten Schaltungen und aus der Leiterplattentechnik bekannt sind. Die Elektrodenstrukturen 20, 30 werden beispielsweise auf photolithographischem Weg aus einem geeigneten Metallbelag, beispielsweise aus Tantal oder Platin, gebildet. Die Isolierschicht 40 muß aus einem chemisch stabilen, elektrisch isolierenden und völlig feuchtigkeitsempfindlichen Material bestehen. Hierfür kommt Glas, Lack oder auch ein geeignetes Metalloxid in Frage. Das Material der Isolierschicht kann nach einem der bekannten Verfahren auf die Elektrodenstrukturen aufgebracht werden. Wenn das Oxid des für die Elektrodenstrukturen 20, 30 verwendeten Metalls die erforderlichen Eigenschaften aufweist, kann die Isolierschicht 40 gegebenenfalls auch durch Oberflächenoxidation des Leitermetalls gebildet werden.

Die Funktionsweise des Taupunkt-Sensors von Fig. 1 und 2 soll anhand der Fig. 3 und 4 erläutert werden. Fig. 3 zeigt schematisch in einer Schnittansicht ähnlich derjenigen von Fig. 2, aber in noch größerem Maßstab, zwei nebeneinanderliegende Zähne 22 und 32 mit ihrem Isolierschichten 40. Die Dicke D der Isolierschichten 40 ist in Fig. 3 über-

trieben groß dargestellt; sie ist in Wirklichkeit klein gegen den Abstand A zwischen zwei benachbarten Zähnen 22 und 32. Demzufolge ist auch die Breite B des Spalts 42 in Wirklichkeit nur geringfügig kleiner als der Abstand A zwischen den Zähnen. Ferner sind in Fig. 3 auch die Schaltungssymbole der für die Funktionsweise wesentlichen elektrischen Größen eingezeichnet. Fig. 4 ist ein elektrisches Ersatzschaltbild der durch diese elektrischen Größen bestimmten Impedanz der beiden Elektrodenstrukturen 20 und 30.

Für das elektrische Verhalten des Taupunkt-Sensors sind die elektrischen Größen der Strecke zwischen jeweils zwei benachbarten Zähnen 22, 32 der beiden Elektrodenstrukturen 20, 30 maßgeblich. Diese Strecke setzt sich aus drei Abschnitten zusammen, deren Impedanzen in Serie geschaltet sind: – der Isolierschicht 40 auf dem Zahn 22, deren elektrische Impedanz durch eine Parallelschaltung aus einem Widerstand R40 und einer Kapazität C40 darstellbar ist; – dem Spalt 42, dessen elektrische Impedanz durch eine Parallelschaltung aus einem Widerstand R42 und einer Kapazität C42 darstellbar ist; – der Isolierschicht 40 auf dem Zahn 32, deren elektrische Impedanz wieder durch eine Parallelschaltung aus einem Widerstand R40 und einer Kapazität C40 darstellbar ist.

Die Parallelschaltung aller dieser Teilimpedanzen zwischen den Zähnen der beiden Elektrodenstrukturen ergibt die Gesamtimpedanz der beiden Elektrodenstrukturen, die durch das Ersatzschaltbild von Fig. 4 dargestellt ist. Der Widerstand R1 entspricht der Parallelschaltung aller Spalt-Widerstände R42, und die Kapazität C1 entspricht der Parallelschaltung aller Spalt-Kapazitäten C42. Zur Vereinfachung sind die Parallelschaltungen der beiden in Serie liegenden Schicht-Widerstände R40 durch einen einzigen Widerstand R2 und die Parallelschaltungen der beiden in Serie liegenden Schicht-Kapazitäten C40 durch eine einzige Kapazität C2 dargestellt. Der Widerstand R3 symbolisiert den Widerstand der Metallschichten der Leiterstrukturen 20 und 30.

Die Taupunkt-Detektion beruht auf der Feststellung der beim Erreichen der Taupunkt-Temperatur auftretenden Veränderung der Gesamtimpedanz, die dadurch verursacht wird, daß sich auf der Sensorfläche 18 Kondensationströpfchen zu bilden beginnen. Die Änderung der Gesamtimpedanz ist also durch den Einfluß der Kondensationströpfchen auf die Werte der Schaltungselemente des Ersatzschaltbildes von Fig. 4 bestimmt.

Da das Material der Isolationsschicht 40 feuchtigkeitsempfindlich ist, werden die Werte des Widerstands R2 und der Kapazität C2 durch die Kondensation nicht geändert. Desgleichen ist der Widerstand R3 der Elektrodenstrukturen unabhängig von einer Kondensationsbildung.

Die einzigen Schaltungsbestandteile, deren Werte von der Taupunkt-Kondensation beeinflusst werden, sind der Widerstand R1 und die Kapazität C1 der Spalte zwischen den Zähnen. Für diese elektrischen Größen gelten die folgenden Feststellungen:

– Im trockenen Zustand des Taupunkt-Sensors, al-

so bei Temperaturen oberhalb der Taupunkt-Temperatur, sind die Werte des Widerstands R1 und der Kapazität C1 durch das in den Spalten 42 befindliche Gas bestimmt. Der Widerstand R1 hat daher einen sehr hohen Wert, der von gleicher Größenordnung wie der Isolationswiderstand R2 ist. Die Kapazität C1 ist klein gegen die Kapazität C2 der Isolierschicht 40, da die Dicke D der Isolierschicht 40 sehr klein gegen die Breite B des Spaltes 42 ist. Es ist zu beachten, daß in Fig. 3 die Dicke D der Isolierschicht 40 zur Verdeutlichung übertrieben groß dargestellt ist.

– Bei Abkühlung auf die Taupunkt-Temperatur bilden sich in kürzester Zeit Tautröpfchen von einer Mindestgröße auf der ganzen Sensorfläche 18 und somit natürlich auch in jedem Spalt 42. Bei noch weiterer Abkühlung auf Temperaturen unterhalb der Taupunkt-Temperatur werden diese Tröpfchen größer, und sie vereinigen sich schließlich zu einer zusammenhängenden Tauschicht. Für eine möglichst genau Detektion der Taupunkt-Temperatur ist es wesentlich, die erste Kondensation der Tautröpfchen zu erkennen. Dies wird durch eine besondere Bemessung der Breite B des Spaltes 42 erreicht: Diese Breite B entspricht dem Mindestdurchmesser der sich in kürzester Zeit durch Kondensation bildenden Tautröpfchen, so daß die ersten Tautröpfchen, die beim Erreichen der Taupunkt-Temperatur kondensieren, sofort die ganze Breite des Spaltes 42 ausfüllen. Da der Widerstand der Tautröpfchen um Größenordnungen kleiner ist als der Widerstand des Gases, ergibt sich somit beim Eintreten der Kondensation eine plötzliche Verringerung des Widerstands R1 auf einen vielfach kleineren Wert. Zugleich nimmt auch die Kapazität C1 entsprechend der größeren Dielektrizitätskonstante von Wasser etwas zu, doch steht diese Zunahme in keinem nennenswerten Verhältnis zu der gleichzeitigen Verringerung des Widerstands R1.

Aus diesen Erscheinungen ergeben sich die folgenden Auswirkungen auf die gemessene Impedanz des Taupunkt-Sensors:

– Im trockenen Zustand (oberhalb der Taupunkt-Temperatur) ist bei ausreichend hoher Meßfrequenz die gemessene Impedanz im wesentlichen durch die Serienschaltung aus den beiden Kapazitäten C1 und C2 bestimmt. Die dazu parallel liegenden hohen Widerstände R1 und R2 sind dagegen vernachlässigbar, und der niedrige Serienwiderstand R3 kann außer Betracht bleiben. Da ferner die Kapazität C2 groß gegen die Kapazität C1 ist, ist die gemessene Impedanz in erster Linie durch den kapazitiven Blindwiderstand der Kapazität C1 bestimmt.

– Beim Erreichen der Taupunkt-Temperatur nimmt der Widerstand R1 plötzlich einen sehr viel kleineren Wert an, der nun in Reihe mit der Kapazität C2 liegt. Die gemessene Impedanz ist dann in erster Linie durch den kapazitiven Blindwiderstand der Kapazität C2 bestimmt. Gegenüber dem im trockenen Zustand in erster Linie gemessenen kapazitiven Blindwiderstand der Kapazität C1 ergibt sich somit bei der ersten Tröpfchenbildung ein ausgeprägter Impedanzsprung, der das Erreichen der Taupunkt-Temperatur eindeutig kennzeichnet. Bei noch weite-

rer Absenkung der Temperatur unter die Taupunkt-Temperatur nimmt zwar der Widerstand R1 noch weiter ab, doch bleibt die Kapazität C2, die in erster Linie die gemessene Impedanz bestimmt, unverändert, so daß sich die gemessene Impedanz nicht mehr wesentlich verändert.

Stark vereinfacht läßt sich der geschilderte Mechanismus so darstellen, daß durch die Tröpfchenbildung bei der Taupunkt-Kondensation ein «Kurzschluß» zwischen den beiden Kapazitäten C40 hergestellt wird. Maßgeblich für diese Wirkung ist die richtige Bemessung der Breite B aller Spalte 42, die dem sich in kürzester Zeit bildenden Tröpfchendurchmesser entsprechen muß. Untersuchungen haben gezeigt, daß die geschilderte Wirkung nur dann eintritt, wenn die Breite B kleiner als etwa 50 µm ist; vorzugsweise soll sie in der Größenordnung von etwa 20 µm liegen. Ferner ist es wichtig, daß die Dicke der Isolierschicht 40 klein gegen die derart bemessene Breite B der Spalte 42 ist.

Bei einer praktisch erprobten Ausführungsform eines Taupunkt-Sensors der beschriebenen Art bestehen die Elektrodenstrukturen 20, 30 aus Tantal, das auf einen Träger 12 aus Aluminiumoxid aufgebracht ist. Jede Elektrodenstruktur hat einen Kamm aus 50 Zähnen mit einer Breite von 21 µm und einer Länge von 2 mm. Der Abstand zwischen den ineinandergreifenden Zähnen der beiden Elektrodenstrukturen beträgt 19 µm. Der von den beiden ineinandergreifenden Kammstrukturen gebildete eigentliche Sensorbereich nimmt daher nur eine Fläche von 2 × 4 mm ein. Die Isolierschicht 40 besteht aus hochverdichtetem und dadurch feuchtigkeitsunempfindlichem Tantalexid, das in einer Dicke von 160 nm durch Oberflächenoxidation des Tantals der Elektrodenstrukturen gebildet ist.

Durch geeignete Bemessung der Meßfrequenz kann das optimale Verhältnis zwischen den in verschiedenen Zuständen gemessenen Impedanzen erzielt werden, so daß der Impedanzsprung beim Erreichen der Taupunkt-Temperatur besonders ausgeprägt ist. Eine Meßfrequenz von etwa 100 kHz hat sich als geeignet erwiesen.

Es ist natürlich möglich, anstelle der Impedanzmessung eine reine Kapazitätsmessung vorzunehmen. In diesem Fall wird im trockenen Zustand im wesentlichen die Kapazität C1 gemessen, und beim Erreichen der Taupunkt-Temperatur geht der gemessene Kapazitätswert plötzlich auf den Wert der Kapazität C2 über. Es ist aber zu beachten, daß dieser Kapazitätssprung nicht auf einer Änderung einer physikalischen Kapazität beruht, sondern auf der kurzschlußartigen Überbrückung infolge der plötzlichen Änderung des physikalischen Widerstands R1.

Anstelle von Kammstrukturen können auch andere Elektrodenstrukturen mit im angegebenen Abstand parallel zueinander angeordneten Elektrodenabschnitten verwendet werden, beispielsweise Meander- oder Gitterstrukturen. Die Elektrodenabschnitte können auch gekrümmt sein, beispielsweise spiralförmig oder in Form konzentrischer Kreisbögen.

Patentansprüche

1. Taupunkt-Sensor für ein Taupunkt-Meßgerät zur Messung des Wasserdampf-Taupunktes in Gasen, mit einer dem zu messenden Gas ausgesetzten Sensorfläche, auf der bei Abkühlung auf die Taupunkt-Temperatur Wasserdampf kondensiert, und mit zwei an der Sensorfläche angebrachten Elektrodenstrukturen mit in gleichmäßigem Abstand parallel zueinander angeordneten Elektrodenabschnitten, die allseitig mit einer feuchtigkeitsunempfindlichen Isolierschicht abgedeckt sind, um das Erreichen der Taupunkt-Temperatur durch Messung der Impedanz oder Kapazität zwischen den beiden Elektrodenstrukturen festzustellen, dadurch gekennzeichnet, daß der Elektrodenabstand zwischen den parallel zueinander angeordneten Elektrodenabschnitten (22, 32) der beiden Elektrodenstrukturen (20, 30) kleiner als 50 µm ist und daß die Dicke (D) der Isolierschicht (40) um ein Vielfaches kleiner als der Abstand (A) zwischen den Elektrodenabschnitten ist. 5
2. Taupunkt-Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand (A) zwischen den Elektrodenabschnitten (22, 32) etwa 20 µm beträgt. 10
3. Taupunkt-Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke (D) der Isolierschicht (40) kleiner als 1 µm ist. 15
4. Taupunkt-Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenstrukturen (20, 30) Kammstrukturen mit ineinandergreifenden Zähnen (22, 32) sind. 20

35

40

45

50

55

60

65

Fig. 1

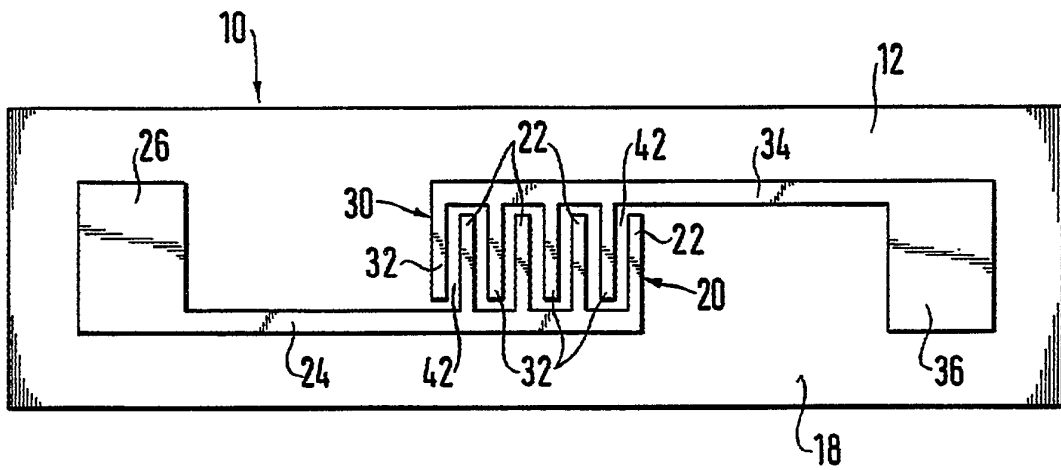


Fig. 2

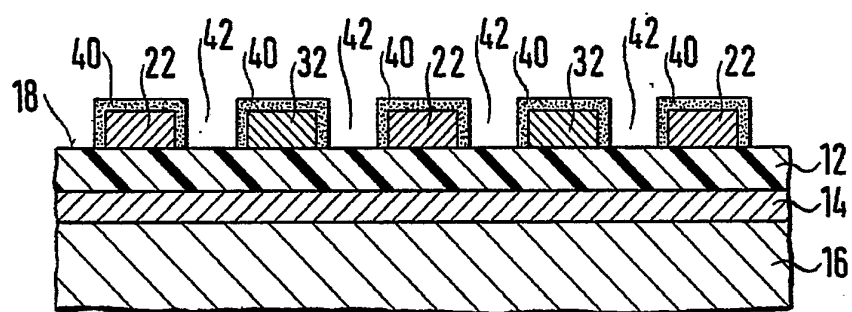


Fig. 3

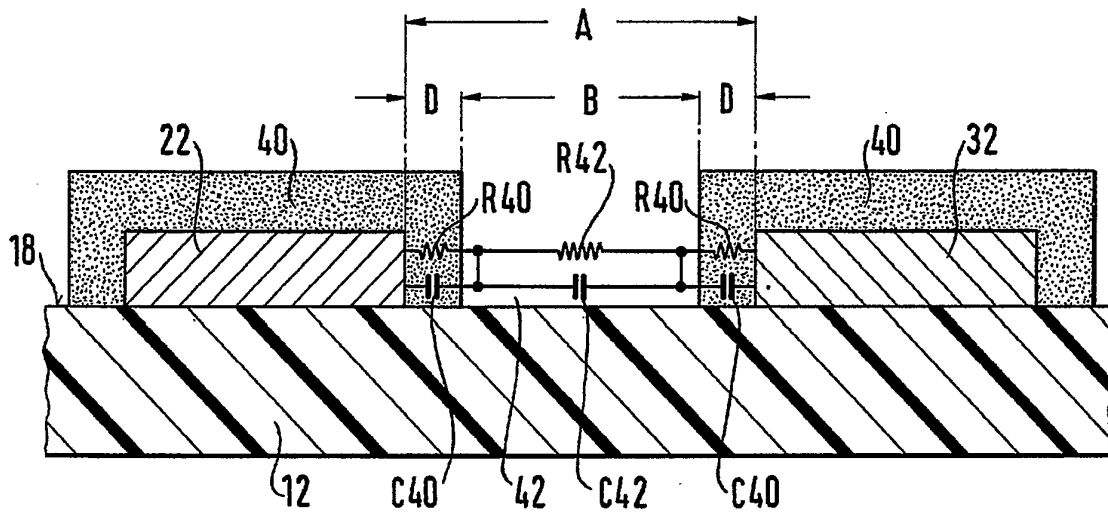


Fig. 4

