



(12)

PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: A 1387/2001
(22) Anmeldetag: 31.08.2001
(42) Beginn der Patentdauer: 15.01.2005
(45) Ausgabetag: 25.08.2005

(51) Int. Cl.⁷: **G01B 7/34**

(56) Entgegenhaltungen:
US 4908574A EP 1108977A1
DE 4035075A1 DE 69307511T2
DE 900278C

(72) Erfinder:
GERHARD EDMUND DR.ING.
KREFELD (DE).
FRANEK FRIEDRICH DIPL.ING. DR.
ST. PÖLTEN, NIEDERÖSTERREICH (AT).
PAUSCHITZ ANDREAS DIPL.ING. DR.
WIEN (AT).
SCHNABL HELMUT DR.
MELK, NIEDERÖSTERREICH (AT).

(73) Patentinhaber:
FRANEK FRIEDRICH DIPL.ING. DR.
A-3100 ST. PÖLTEN, NIEDERÖSTERREICH
(AT).
SCHNABL HELMUT DIPL.ING. DR.
A-3390 MELK, NIEDERÖSTERREICH (AT).
PAUSCHITZ ANDREAS DIPL.ING. DR.
A-1230 WIEN (AT).
GERHARD EDMUND DR.ING.
D-47803 KREFELD (DE).

(54) SENSOR ZUR BESTIMMUNG VON OBERFLÄCHENPARAMETERN EINES MESSOBJEKTS

(57) Bei einem Sensor zur Bestimmung von Oberflächenparametern eines Meßobjekts, mit einem zumindest eine Sensor-Meßfläche aufweisenden Sensorelement, das mit seiner Sensor-Meßfläche auf der oder in einem Abstand zur Oberfläche des Meßobjekts positionierbar ist, wobei die Sensor-Meßfläche (4) aus einer Vielzahl von Sub-Sensorelementen (6) mit separaten Meßwert-Ausgängen bzw. mit separaten Meßwert-Wandlern zusammengesetzt ist und die aus Sub-Sensorelementen (6) zusammengesetzte Sensor-Meßfläche (4) in einem Sensorkopf (2) angeordnet ist, der aus einem an einer Seite offenen Hohlkörper gebildet ist, und daß die aus den Sub-Sensorelementen (6) zusammengesetzte Sensor-Meßfläche (4) an der offenen Seite des Sensorkopfes (2) angebracht ist, sodaß diese mit dem Sensorkopf (2) auf der Oberfläche des Meßobjekts oder in einem Abstand zu dieser positionierbar ist, wird für eine zuverlässige, reproduzierbare und kostengünstige Online Beurteilung der Oberflächenqualität vorgeschlagen, daß der Sensorkopf (2) mittels einer über einen bestimmten Weg bzw. Winkelweg in allen Richtungen frei beweglichen an sich bekannten kardanischen Aufhängung (5) gegenüber einem an einer Seite offenen Sensorgehäuse (1) angeordnet ist, wobei der Sensorkopf (2) - in seiner nicht applizierten Lage - mit seiner offenen Seite aus der offenen Seite des Sensorgehäuses (1) vorragt.

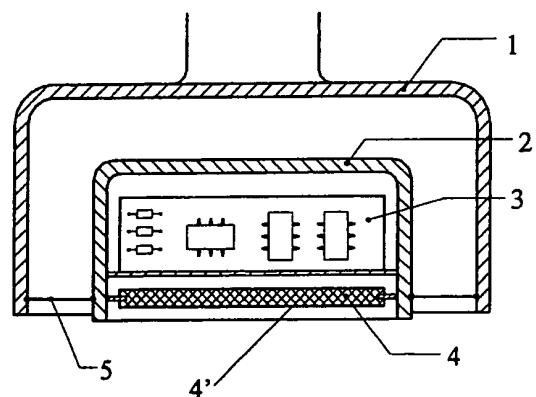


FIG.2

Die Erfindung betrifft einen Sensor zur Bestimmung von Oberflächenparametern eines Meßobjekts, z.B. eines Werkstückes, mit einem zumindest eine Sensor-Meßfläche aufweisenden Sensorelement, das mit seiner Sensor-Meßfläche auf der oder in einem Abstand zur Oberfläche des Meßobjekts positionierbar ist, wobei die Sensor-Meßfläche aus einer Vielzahl von Sub-Sensorelementen mit separaten Meßwert-Ausgängen bzw. mit separaten Meßwert-Wandlern zusammengesetzt ist und die aus Sub-Sensorelementen zusammengesetzte Sensor-Meßfläche in einem Sensorkopf angeordnet ist, der aus einem an einer Seite offenen Hohlkörper gebildet ist, und daß die aus den Sub-Sensorelementen zusammengesetzte Sensor-Meßfläche an der offenen Seite des Sensorkopfes angebracht ist, sodaß diese mit dem Sensorkopf auf der Oberfläche des Meßobjekts oder in einem Abstand zu dieser positionierbar ist.

Einen wichtigen Bestandteil der Qualitätskontrolle bei der Fertigung von Werkstücken bildet die Beurteilung der erzielten Oberflächengüte, für welche bereits eine Vielzahl an Methoden entwickelt worden ist. Unter den relevanten Oberflächenparametern ist die Rauheit von besonderer Bedeutung für die Qualitätskontrolle.

Beim Tastschnittverfahren, welches zu den mechanischen Verfahren zu zählen ist, erfolgt die Abtastung des Oberflächenprofils durch ein Tastsystem mit einer Diamantnadel (Einkufentastsystem, Pendeltastsystem, Bezugsflächentastsystem), über welche unter Zuhilfenahme elektronischer Hilfsmittel ein überhöhter Profilschnitt aufgezeichnet wird. Die vertikale Auflösung dieser Systeme liegt in der Größenordnung von ca. 0,01 μm , die horizontale Auflösung ist durch den Spitzenradius der Diamantnadel (z.B. 5 μm) und den Kegelwinkel (z.B. 60°) begrenzt. Insbesondere gesinterte Oberflächen können mit diesem Verfahren nicht zuverlässig beurteilt werden, da die Poren in den Oberflächen von Sinterteilen nicht vollständig erfaßt werden können. Die gemessenen Rauheitswerte für gesinterte Oberflächen sind aus diesem Grund nicht verwertbar, es verursacht dieses Verfahren für eine Anwendung in einem Fertigungsprozeß aber auch einen zu hohen Zeitaufwand und zu hohe Kosten.

Relativ häufig angewendet werden mikroskopische Verfahren, insbesondere sind hier die Lichtschnitt- und die Interferenzmikroskopie zu nennen.

Beim Lichtschnittmikroskop erfährt eine unter 45° auf eine Oberfläche projizierte, schmale Lichtlinie (optisches Spaltbild) durch die Oberflächengeometrie eine affine Verzerrung, die photographisch dargestellt oder mit einem Okularmikrometer ausgemessen werden kann. Dieses Verfahren läßt eine Bestimmung von Rauhtiefen < 1 μm zu.

Die Rauhtiefen von spiegelnden, nicht zu rauen Oberflächen können mit dem Interferenzmikroskop vermessen werden, mit dem ein durch Interferenz gebildetes Höhenschichtlinienbild mit Niveaulinien im Abstand von $\lambda/2$ der Lichtwellenlänge erzeugt wird. Die meßbaren Rauhtiefenunterschiede betragen ca. 0,01 μm .

Ein weiteres bekanntes optisches Verfahren stellt die Laserabtastung dar, bei der mittels eines fokussierten Laserstrahls die zu vermessende Oberfläche abgetastet wird und aufgrund der Intensität des reflektierten Lichtes ein Abbild der Oberfläche entsteht. Obgleich das Meßergebnis der Messung relativ rasch erhalten werden kann, ist eine wesentliche Beschränkung der Anwendung dieser Methode dadurch gegeben, daß ihre Durchführbarkeit von den Reflexionseigenschaften der Oberfläche abhängig ist.

Große Schwierigkeiten bereitet allerdings die Anwendung der bekannten Verfahren bei Fertigungsprozessen mit hohen Stückzahlen, da der hohe apparative Aufwand und die erforderlichen langen Meßzeiten für solche Oberflächenmessungen die Rentabilität des Herstellungsvorganges negativ beeinflussen. Auch stellen die rauen Umgebungsbedingungen oder die komplizierte Bedienung der Meßgeräte oftmals ein Hindernis beim Einsatz derselben dar.

Andererseits sind oftmals Werkstücke aufgrund bestimmter Umstände, z.B. wegen der besonderen Beschaffenheit der Oberfläche, einer verlässlichen Bewertung nicht zugänglich. Dies ist etwa bei porösen Oberflächen der Fall, da durch deren zerklüftete Struktur die Oberflächenqualität mit vielen bekannten Verfahren gar nicht oder nur unzulänglich bestimmt werden kann.

Aus der DE 900 278 C geht ein Sensorkopf mit einer Meßelektrode hervor, wobei die Meßelektrode kugelig gelagert sein kann, insbesondere da die Auswirkungen dieser Veränderung aus dem Stand der Technik nicht abschätzbar sind. Der Sensorkopf der DE 900 278 C umfaßt jedoch lediglich ein Sensorelement und nicht eine Vielzahl an Sub-Sensorelementen. Quantitative Aussage über die Oberflächenparameter können mit einem solchen Sensorkopf daher nicht getroffen

werden.

Die EP 1 108 977 A1 betrifft einen Sensor zur Bestimmung der Rauigkeit einer Oberfläche mit einem Meßaufnehmer mit mehreren elektrisch leitenden Elektroden, die gegeneinander isoliert in einer Ebene liegen. Aus der EP 1 108 977 A1 ist jedoch kein Hinweis zu entnehmen, wie der Meßaufnehmer reproduzierbar auf eine Werkstückoberfläche aufgesetzt werden kann, sodaß sich der Meßaufnehmer selbsttätig ausrichtet.

Die DE 40 35 075 A1 betrifft eine Anordnung zum Messen mit einem Meßkopf, der eine Vielzahl an Sensoren umfaßt. Auch aus der DE 40 35 075 A1 ist nicht zu entnehmen, wie der Meßkopf reproduzierbar auf eine Werkstückoberfläche aufgesetzt werden kann, sodaß sich der Meßkopf selbsttätig ausrichtet.

Die DE 693 07 511 T2 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Halten einer Gruppe von Werkzeugen in einer konstanten Relativstellung bezüglich einer nichtebenen Fläche. Die Einrichtung weist eine Platine mit mehreren akustischen Sensoren zum Senden und Empfangen von Signalen auf. Aus der Differenz der Signallaufzeit zweier gegenüberliegender Sensoren wird ein Steuersignal zum Verstellen der Platine ermittelt. Nachteilig an einem Verfahren gemäß der DE 693 07 511 T2 ist, daß für die Ausrichtung der Platine ein großer apparativer Aufwand mit einer Vielzahl an beweglichen Teilen erforderlich ist, wodurch hohe Herstellungskosten und erforderliche Wartungsarbeiten bedingt sind.

Die US 4 908 574 A offenbart einen kapazitiven Sensor zur Bestimmung der Oberflächenbeschaffenheit eines Werkstückes, wobei die Sensor-Meßfläche aus einer Vielzahl an Sub-Sensorelementen zusammengesetzt ist. Die Sensor-Meßfläche kann in einem aus ring- und scheibenförmigen Elementen zusammengesetzten Gehäuse angeordnet sein, wobei das Gehäuse an einer Seite offen ist und die Sensor-Meßfläche an der offenen Seite des Gehäuses angebracht ist. Nachteilig an einem Sensor gemäß der US 4 908 574 A ist, daß die Meßergebnisse vom Winkel und dem Meßbereich des Sensors gegenüber dem Werkstück abhängen, wobei sich bereits bei einer geringen Veränderung eines dieser Parameter große Meßunterschiede ergeben können. Dabei liegt der Sensor bei einer Messung üblicherweise an einem Punkt auf der Werkstückoberfläche auf. Daher sind die Meßergebnisse mit einem Sensor gemäß der US 4 908 574 A ungenügend reproduzierbar, insbesondere bei einer im wesentlichen starren Werkstückoberfläche.

Unter Berücksichtigung des Standes der Technik wird als Aufgabe der Erfindung angesehen, einen Sensor gemäß dem Oberbegriff des neuen Patentanspruches 1 zu schaffen, der eine Messung von Oberflächenparametern mit relativ geringem technischen Aufwand ermöglicht, wobei die Dauer des Meßvorganges und die dafür aufzuwendenden Kosten gering sind, der eine selbsttätige Ausrichtung der Sensor-Meßfläche sicherstellt, sodaß eine Online-Beurteilung der Oberflächenqualität von Werkstücken durchführbar ist und mit dem die zuverlässige und reproduzierbare Bestimmung von Oberflächenparametern in verhältnismäßig kurzer Zeit auch bei sehr unregelmäßiger Oberflächenbeschaffenheit realisierbar ist.

Weiters soll es mit dem anzugebenden Sensor möglich sein, integrale Oberflächenkennwerte über einen bestimmten Bereich des Meßobjektes zu ermitteln.

Weitere Aufgabe ist es, einen möglichst robusten und wenig stör anfälligen Sensor anzugeben, bei dem sich die Sensorpositionierung auf der Meßobjektfläche selbsttätig einstellt.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß der Sensorkopf mittels einer über einen bestimmten Weg bzw. Winkelweg in allen Richtungen frei beweglichen an sich bekannten kardanschen Aufhängung gegenüber einem an einer Seite offenen Sensorgehäuse angeordnet ist, wobei der Sensorkopf - in seiner nicht applizierten Lage - mit seiner offenen Seite aus der offenen Seite des Sensorgehäuses vorragt.

Dadurch ergibt sich der Vorteil, daß sich der Sensorkopf unabhängig von dem Aufsetzwinkel entsprechend der lokalen Werkstückoberfläche der Meßstelle ausrichtet, wodurch die Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse sichergestellt wird. Dabei stellt sich die Anordnung mit dem geringsten Durchschnitts-Abstand des Sensorkopfes von der Werkstückoberfläche ein, wodurch die Meßgenauigkeit verbessert wird.

Dadurch ist garantiert, daß der Sensorkopf jeweils auf dem zu vermessenden Werkstück selbstständig auf den lokal höchsten Oberflächenbereichen aufliegt. Die Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse läßt sich dadurch verbessern.

Durch die Unterteilung der Sensor-Meßfläche kann sowohl eine integrale als auch eine auf

eine eng begrenzte Fläche bezogene, lokale Meßwert-Bestimmung sowie eine rasche Mittelung von Meßwerten vorgenommen werden. Dies ermöglicht einerseits die Reduktion von Störeinflüssen und andererseits eine Korrelation von Sensor-Meßwerten und Oberflächenparametern.

5 Eine andere Variante der Erfindung kann darin bestehen, daß zumindest eines der Sub-Sensorelemente, vorzugsweise über eine Klemmeinrichtung, lösbar mit der Sensor-Meßfläche verbunden ist. Auf diese Weise ist ein einfacher Austausch der Sub-Elektroden möglich. Die Klemmeinrichtung kann für jede Art von Sub-Sensorelementen vorgesehen sein.

10 Eine weitere Ausführungsform der Erfindung kann darin bestehen, daß die Sensor-Meßfläche durch eine Meßelektrode gebildet ist und daß die Sub-Sensorelemente als Sub-Elektroden ausgebildet sind, die elektrisch voneinander isoliert sind und als Meßwert-Ausgang jeweils einen elektrischen Anschluß aufweisen, über den sie mit einer Auswertevorrichtung verbunden sind.

15 Mittels der voneinander getrennten Sub-Elektroden ist die gesamte Sensor-Meßfläche in sehr kleine Teilbereiche unterteilt und es können daher an einer entsprechend hohen Anzahl von über die Sensor-Meßfläche verteilten Meßwertpunkten Kapazitäts-Meßwerte bestimmt werden, aus welchen sehr genau Oberflächen-Kennwerte berechnet werden können.

Da in den meisten Fällen eine nominell ebene Meßobjekt-Oberfläche gegeben sein wird, können die Sub-Elektroden aus in einer Ebene angeordneten Metallelektroden gebildet sein. Eine weitere Fortbildung der Erfindung kann darin bestehen, daß die Sub-Elektroden aus der nominellen Oberflächengeometrie des Meßobjekts angepaßten Metallelektroden gebildet sind.

20 Eine andere Ausführungsform der Erfindung kann darin bestehen, daß auf den Subelektroden eine aus einem Dielektrikum gebildete Schicht aufgebracht ist. Diese Schicht verhindert, daß die Subelektroden unbeabsichtigt direkt in Kontakt mit der Meßobjekt-Oberfläche gelangen können.

25 Die Form und Anordnung der Sub-Elektroden kann in beliebiger Weise gewählt werden, eine mit geringem technischen Aufwand herstellbare Bauart läßt sich erzielen, wenn in Weiterbildung der Erfindung die Sub-Elektroden aus drei-, vier-, sechs- oder achteckigen Flächen gebildet sind, die gleich voneinander beabstandet sind.

Eine auf einfache Weise bewertbare Verteilung der Sub-Elektroden ergibt sich, wenn in weiterer Fortbildung der Erfindung die Sub-Elektroden quadratisch ausgebildet und in Form einer Matrix angeordnet sind.

30 Um die Beeinflussung der Meßauswertung durch parasitäre Kapazitäten weitestgehend herabzusetzen, kann Meßelektrode zusammen mit der Auswertevorrichtung in einem Sensorkopf angeordnet sein.

35 Schließlich können in weiterer Ausbildung der Erfindung die Sub-Sensorelemente mikrosystemtechnisch gefertigt werden. Der mit dieser Herstellungsart erreichbare hohe Miniaturisierungsgrad erlaubt eine Unterteilung der Sensor-Meßfläche in viele kleine Sub-Sensoren mit separaten Meßwertausgängen bzw. Meßwertwandlern.

Weiters bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zur Bestimmung von Oberflächenparametern eines Meßobjekts, z.B. eines Werkstückes unter Verwendung eines erfindungsgemäßen Sensors.

40 Erfindungsgemäß wird das Sensorelement mit seiner aus den Sub-Elektroden zusammengesetzten Meßelektrode auf der oder in einem Abstand zur Oberfläche des Meßobjekts positioniert, die Kapazitäten jeweils zwischen den Sub-Elektroden und dem gegenüberliegenden Bereich des Meßobjektes und deren Mittelwert sowie der integrale Wert der Kapazität über alle Sub-Elektroden bestimmt und unter Einbeziehung der gemessenen Werte die 3D-Glättungstiefe berechnet.

45 Der auf diese Weise angegebene Wert der 3D-Glättungstiefe wird nicht aus punktuell durch aufeinanderfolgende Einzelmessungen gewonnenen Werten sondern durch inhärente Mittelwertbildung über eine Sensorfläche oder Mittelung der Einzelmeßwerte der Sub-Sensoren abgeleitet, weshalb eine wesentliche schnellere und apparativ weniger aufwendige Beurteilung der Oberflächengüte ermöglicht wird.

50 In weiterer Ausbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, daß in einem dem Meßvorgang vorangehenden Kalibrierschritt der Minimalwert und der Maximalwert aus den zwischen den Sub-Elektroden und der Oberfläche des Meßobjektes bestimmten Kapazitätswerten ermittelt werden.

55 Der beim eigentlichen Meßvorgang erhältliche integrale Wert für die Kapazität zwischen Meßelektrode und Meßobjekttoberfläche kann auf die Minimal- und Maximalwerte der Sub-Elektroden-Kapazitäten bezogen werden. Damit werden die gemessenen Kapazitätswerte mit den Höhen-

koordinaten der Meßobjekt-Oberfläche korrelierbar.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der beigeschlossenen Zeichnungen eingehend erläutert. Es zeigt dabei

Fig.1 zeigt eine vergrößerte Draufsicht auf einen Teilbereich einer Ausführungsform einer Sensor-Meßfläche des erfindungsgemäßen Sensors;

Fig.2 einen Schnitt durch das Gehäuse einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Sensors;

Fig.3 eine Schaltungsanordnung zur Messung der Kapazität zwischen einer Sub-Elektrode und der Meßobjekt-Oberfläche bzw. zwischen zwei Sub-Elektroden;

Fig. 4 eine schematische Seitenansicht eines im Abstand von der Meßobjekt-Oberfläche positionierten erfindungsgemäßen Sensors und

Fig.5 eine weitere schematische Seitenansicht eines im Abstand von der Meßobjekt-Oberfläche positionierten erfindungsgemäßen Sensors.

Fig.2 zeigt einen vertikalen Schnitt durch einen Sensor zur Bestimmung von Oberflächenparametern eines Meßobjekts, z.B. eines Werkstückes, über welche etwa die Oberflächengüte eines solchen Meßobjekts bestimmt werden kann. Im gezeigten Ausführungsbeispiel wird eine kapazitive Meßmethode angewandt, die Erfindung ist aber nicht auf diese Art der Meßwerterfassung beschränkt. Zur technischen Realisierung stehen, wie nachfolgend noch erläutert werden wird, eine Fülle von Möglichkeiten zur Verfügung. Das Erfindungsprinzip wird aber zunächst anhand des in Fig.2 gezeigten kapazitiven Oberflächensensors beschrieben.

Bei diesem ist ein, eine Sensor-Meßfläche 4 aufweisendes Sensorelement vorgesehen, das mit seiner Sensor-Meßfläche 4 auf der oder in einem Abstand zur Oberfläche des Meßobjektes positionierbar ist. Die Sensor-Meßfläche 4 beträgt für die Beurteilung gebräuchlicher Werkstück-Oberflächen ungefähr $1-2 \text{ mm}^2$ (bis zu 20 mm^2).

Eine wesentliche Größe bei der Beurteilung der Oberflächengüte stellt die Rauheit dar, die bisher nur mit sehr komplizierten und aufwendigen Apparaturen verlässlich ermittelt werden konnte. Besonders bei Meßobjekten mit einer sehr hohen Porosität, die, wie etwa bei Sinterteilen, durchaus in dieser Form gewünscht ist, weil das Werkstück z.B. ein ganz bestimmtes Restporenvolumen zur Aufnahme von bestimmten Schmierstoffen aufweisen soll, kann es bei Anwendung der bisher üblichen Bestimmungsmethoden zu einer Fehlbewertung kommen, da die relativ großen Poren von Sinterteilen jede Messung so beeinflussen, daß entsprechend hohe Rauheitswerte vorgetäuscht werden, obwohl die ganz außen liegende Funktionsoberfläche in Wirklichkeit eine sehr glatte Struktur aufweist. Um derartige Fehlmessungen zu vermeiden, müssen sehr hochauflösende Verfahren angewandt werden, die aber entsprechend lange Meßzeiten und hohe Kosten mit sich bringen.

Erfindungsgemäß werden die vorgenannten Probleme dadurch gelöst, daß die Sensor-Meßfläche 4 aus einer Vielzahl von Sub-Sensorelementen 6 zusammengesetzt ist.

Je nach Art der Meßmethode wird dabei der Sensor in mehrere, z.B. 100 bis 1000, vorzugsweise 400 Untereinheiten unterteilt, aus denen voneinander unabhängige Meßwerte gewonnen werden können.

Bei der im Ausführungsbeispiel gemäß Fig.2 angewandten kapazitiven Meßmethode ist die Sensor-Meßfläche 4 durch eine, aus einer Vielzahl von Sub-Elektroden 6' zusammengesetzten Meßelektrode 4' gebildet, die elektrisch voneinander isoliert sind und die als Meßwert-Ausgang jeweils einen elektrischen Anschluß aufweisen, über den sie mit einer Auswertevorrichtung 3 (Fig.2) verbunden sind. Über diese elektrische Anschlüsse ist das Meßsignal der Sub-Elektroden 6' getrennt voneinander oder in Gruppen gleichzeitig abgreifbar, wodurch die Möglichkeit besteht, Einzelmeßwerte, insbesondere Minimal- und Maximalwerte oder integrale Meßwerte zu ermitteln.

Diese Unterteilung in eine Vielzahl von Sub-Elektroden erfolgt in der Praxis bevorzugt mit Hilfe von mikrosystemtechnischen Methoden auf Basis einer miniaturisierten Sensorfläche mit geeigneten Sub-Unterteilungen.

Der dabei genutzte physikalische Effekt muß sich aber nicht auf das elektrische Feld zwischen einer Meß-Elektrode und der Meßobjekt-Oberfläche beschränken, sondern kann ebenso andere geeignete Größen, z.B. magnetische, optische, piezo-elektrische oder pneumatische Größen, die mittels einer Vielzahl von Sub-Sensorelementen erfaßt werden können, betreffen.

Fig.1 zeigt einen Teil einer Meßelektrode, bei der die Sub-Elektroden 6' aus in einer Ebene

angeordneten quadratischen Metallelektroden gebildet sind, die in Form einer Matrix angeordnet sind. Die einzelnen elektrischen Anschlüsse sind in Fig.1 aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt, können aber beispielsweise unter Anwendung eines mikrotechnischen Verfahrens zusammen mit den Sub-Elektroden aus einem geeigneten Substrat geätzt werden.

5 Die Sub-Elektroden 6' bilden dabei, sobald sie im richtigen Abstand von der zu vermessenden Oberfläche positioniert worden sind, jeweils eine Teilelektrode eines Kondensators (Fig.4), dessen anderer Teil durch einen Teilbereich der Oberfläche des Meßobjektes 7 gebildet ist, wobei als Dielektrikum entweder ein durch den Abstand zwischen den Sub-Elektroden 6' und der Meßobjekt-Oberfläche bestehender Luftspalt wirkt oder eine Schicht eines isolierenden Festkörpers bzw. eine
10 entsprechende dielektrische Flüssigkeit, die zwischen die Meßobjekt-Oberfläche und die Sub-Elektroden 6' eingebracht worden ist.

Die Form der Sub-Elektroden 6' und ihre gegenseitige Beabstandung bzw. ihre Anordnung sind im Rahmen der Erfindung ebenfalls keinerlei Beschränkung unterworfen.

15 Aus geometrischen Gründen sind aus drei-, vier-, sechs- oder achteckigen Flächen gebildete Sub-Elektroden 6', die gleich voneinander beabstandet sind, in der Praxis die geeignetsten Realisierungsformen.

Werden die den Sub-Elektroden gegenüberliegenden Oberflächenbereiche des Meßobjektes 7 als zweite Elektrode des so gebildeten Plattenkondensators verwendet, so ist ein relativ hoher Leitfähigkeitswert des Meßobjektes Voraussetzung für das Funktionieren des erfindungsgemäßen
20 Sensors. Für die Messung kann das Meßobjekt 7 durch eine leitfähige Verbindung oder Kontaktierung mit der Auswertevorrichtung 3, bzw. wie in Fig.4 angedeutet, mit Masse verbunden sein.

Sofern das Meßobjekt aus einem elektrisch nicht leitenden Material besteht und eine Erhöhung seiner Leitfähigkeit nicht möglich ist, kann auch die Kapazität zwischen jeweils zwei Sub-Elektroden 6' als Meßwert herangezogen werden, wie dies in Fig.5 gezeigt ist. Das Feld zwischen
25 den zwei Sub-Elektroden 6' wird dabei durch die Oberfläche des Meßobjektes 7 entsprechend ihrer Beschaffenheit beeinflusst.

Analog dazu können bei einer optischen oder pneumatischen Sensor-Meßfläche 4 abwechselnd aktive und passive Sub-Sensorelemente vorgesehen sein, wobei jeweils die passiven Sub-Sensorelemente, z.B. Phototransistoren, Mikro-Drucksensoren das von der Meßobjekt-Oberfläche
30 zurückgegebene bzw. reflektierte Signal der benachbarten aktiven Sub-Sensorelemente, z.B. Photodioden, Mikro-Druckgeber in ein Meßsignal umwandeln.

Der erfindungsgemäße Sensor kann auch an die Kontur der Meßobjekt-Oberfläche angepaßt werden. Dies ist im einfachsten Fall durch Verwendung verschiedener Elektrodenformen möglich, es besteht aber auch die Möglichkeit, die Sensorelektrode so auszuführen, daß sie an das Meßobjekt, z.B. an dessen nominelle Oberflächengeometrie, z.B. die eines Zylinders anpaßbar wird. Auf
35 diese Weise ergibt sich eine deutliche Verringerung von unerwünschten Streufeldern im Raum zwischen Elektrode und Meßobjekt. Weiters kann durch die Verwendung eines geeigneten Dielektrikums zwischen Sub-Elektroden und Meßobjekt-Oberfläche im Feldraum der Einfluß von Streufeldern noch weiter reduziert werden.

40 Dies kann z.B. dadurch geschehen, daß auf den Sub-Elektroden 6' eine aus einem Dielektrikum gebildete Schicht aufgebracht ist. Über diese Schicht können die Sub-Elektroden 6' mit der Oberfläche des Meßobjektes in Berührung gebracht werden.

Bei der in Fig.2 gezeigten Ausführungsform ist die aus Sub-Elektroden 6' zusammengesetzte Meßelektrode 4' zusammen mit der Auswertevorrichtung 3 in einem Sensorkopf 2 angeordnet, der
45 aus einem an einer Seite offenen Hohlkörper gebildet ist. Bei der angewandten kapazitiven Meßmethode bewirken auch Leitungskapazitäten wie sie bei Verbindungsleitungen zwischen der Auswertevorrichtung 3 und den Sub-Elektroden 6' bestehen, einen deutlich meßbaren Störeinfluß auf das Meßergebnis. Durch die räumliche Nähe zwischen der Auswertevorrichtung 3 und der Meßelektrode 4' können jedoch die parasitären Kapazitäten gering gehalten werden, wodurch sich die
50 Qualität des Meßsignals deutlich verbessert.

Die aus den Sub-Elektroden 6' zusammengesetzte Meßelektrode 4' ist an der offenen Seite des Hohlkörpers angebracht, sodaß diese mit dem Sensorkopf 2 auf die Oberfläche des Meßobjektes 7 oder in einem Abstand zu dieser positionierbar ist.

55 Einen großen Einfluß auf die Reproduzierbarkeit des Meßergebnisses hat die Sensorpositionierung auf der Meßobjektoberfläche selbst. Um eine genau definierte Aufsetzbewegung des

erfindungsgemäßen Sensors zu ermöglichen, ist der Sensorkopf 2 mittels einer, in allen Richtungen über einen bestimmten Weg bzw. Winkelweg frei beweglichen kardanischen Aufhängung 5 oder eines mechanischen Äquivalents gegenüber einem an einer Seite offenen Sensorgehäuse 1 angeordnet, wobei der Sensorkopf 2 mit seiner offenen Seite aus der offenen Seite des Sensorgehäuses 1 vorragt.

Die kardanische Aufhängung bewirkt somit, daß der erfindungsgemäße Sensor auf dem gleichen Abschnitt des Meßobjektes 7 immer in definierter und reproduzierbarer Weise aufsetzt, weil der Sensorkopf 2 durch seine Bewegbarkeit gegenüber dem Sensorgehäuse 1 auf den lokal höchsten Punkten der Meßobjekt-Oberfläche zu liegen kommt. Ein Verkanten der Sensor-Meßfläche ist damit ausgeschlossen. Die Messung der Kapazität geschieht immer in Bezug auf diese lokal höchsten Erhebungen. Die beschriebene Anordnung der Sensor-Meßfläche 7 innerhalb des Sensorkopfes 2 und die kardanische Aufhängung bezüglich des Sensor-Gehäuses 1 ist für jedes Sensorprinzip anwendbar. Anstelle einer aus Sub-Elektroden 6' zusammengesetzten Sensor-Meßfläche 7 können also entsprechende optische, pneumatische, piezo-elektrische Sub-Sensoren o.ä. treten.

Die Messung der während des Meßvorganges zwischen den Sub-Elektroden 6' und der Meßobjekt-Oberfläche gebildeten Kapazitäten geschieht aus meßtechnischen Gründen mit Hilfe eines elektrischen Wechselfeldes, wobei bei der Messung die jeweils zu bestimmende Kapazität die Frequenz eines Oszillators beeinflusst, der z.B. mit einer Frequenz von 30 MHz schwingt. Aus der gemessenen Oszillator-Frequenz kann die zwischen der jeweiligen Sub-Elektrode 6' und der Meßobjekt-Oberfläche vorhandene Kapazität berechnet werden.

Eine dafür geeignete Meßanordnung ist in Fig. 3 gezeigt. Der aus einem Schmitt-Trigger 13 und den Widerständen 11, 12 und dem Kondensator 14 gebildete Oszillator gibt eine rechteckförmige Ausgangsspannung U_a aus, deren Frequenz in Abhängigkeit von einer am Oszillator-Eingang 15 parallel geschalteten Kapazität 10 (C_{Mess}) variiert, welche die zu messende Kapazität, z.B. zwischen der Sub-Elektrode 6' und der Meßobjekt-Oberfläche repräsentiert. Die Ermittlung der Kapazität kann aber auch in anderer Form durchgeführt werden.

Die Frequenz des in Fig.3 gezeigten Schwingkreises ist somit ein Maß für die Kapazität zwischen der jeweiligen Sub-Elektrode 6' und der Oberfläche des Meßobjektes 7 und somit ein Maß für die Rauheit der Werkstückoberfläche.

Die in Form einer Matrix angeordneten Sub-Elektroden 6' können während der Messung unabhängig voneinander mit dem Oszillator-Eingang 15 verbunden werden. Sobald die Sensor-Meßfläche 4 relativ zur Meßobjekt-Oberfläche positioniert worden ist, können alle Sub-Elektroden 6' nacheinander mit dem Oszillator-Eingang 15 verbunden und in dem von der Sensor-Meßfläche 4 überdeckten Oberflächenbereich der minimale und der maximale Kapazitätswert ermittelt werden, die mit den maximalen und minimalen Höhenkoordinaten im Oberflächenbereich korrelieren.

Im eigentlichen Meßvorgang werden vorzugsweise alle Sub-Elektroden 6' gemeinsam mit dem Oszillator-Eingang 15 verbunden und ein für die gesamte Sensor-Meßfläche 4 gültiger, integraler Kapazitätswert bestimmt. Wird dieser Meßwert in Relation zu den im vorangehenden Kalibriervorgang bestimmten minimalen und maximalen Kapazitäts-Meßwerte gesetzt, ergibt sich ein auf die Sensor-Meßfläche 4 bezogener Referenzwert. Auf diese Weise werden die gemessenen Kapazitätswerte mit den Höhenkoordinaten korrelierbar. Gleichzeitig bewirkt dieser Meßvorgang eine deutliche Reduktion des Einflusses die bei der Messung auftretenden, parasitären Kapazitäten.

Die in Sub-Elektroden 6' unterteilte Sensor-Meßfläche 4 kann sowohl zur Ermittlung eines Kalibrierwertes zur Sensorpositionierung als auch zur Berechnung eines Korrekturwertes für die direkte Messung von 3D-Oberflächenparametern, z.B. der 3-D Glättungstiefe S_p , der mittleren 3D-Rauheit S_a und der 3D-Rautiefe S_t verwendet werden.

Im folgenden wird die Auswertung des Meßsignals zur Bestimmung der 3-D Glättungstiefe S_p eines Meßobjektes beschrieben. Diese Meßgröße ist auf Basis des erfindungsgemäßen Verfahrens mit einem genormten Kennwert, wie er mit bisher in Verwendung stehenden Meßeinrichtungen bestimmt werden kann, korrelierbar.

Folgende Meßwerte werden während des Meßvorganges ermittelt:

C_{ges} : Kapazitätsmesswert über die gesamte Sensor-Meßfläche 4

$C_{\text{sub,avg}}$: Mittelwert der Kapazitätsmeßwerte aller Sub-Elektroden 6'

$C_{\text{sub,min}}$: Minimaler Kapazitätsmesswert aller Sub-Elektroden 6'

$C_{sub,max}$: Maximaler Kapazitätsmesswert aller Sub-Elektroden 6'

Aus diesen Meßwerten können äquivalente Elektrodenabstände nach folgender Formel ermittelt werden:

$$d_{\text{äqu}} = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A_{\text{Sensor}}}{C_{\text{mess}}}$$

Für die Berechnung der äquivalenten Plattenabstände für die Subelektrodenmessungen ist für A_{Sensor} die Fläche einer Subelektrode 6' einzusetzen, ansonsten die gesamte Elektrodenfläche. Somit entspricht der äquivalente Plattenabstand dem Elektrodenabstand eines äquivalenten Plattenkondensators mit ideal glatten Elektrodenflächen.

Nach obiger Formel können aus den angeführten Messwerten die zugehörigen äquivalenten Plattenabstände d_{ges} , $d_{\text{sub,avg}}$, $d_{\text{sub,min}}$, und $d_{\text{sub,max}}$ ermittelt werden.

Ermittlung der 3D-Glättungstiefe S_p :

Setzt man die Werte für S_p und $d_{\text{sub,avg}}$ zueinander in Beziehung und zieht den (bekannten) Sensorabstand d_{Sensor} ab, so zeigen diese Werte bereits eine relativ gute Übereinstimmung. Als problematisch erweist sich allerdings, daß die Differenz dieser Werte mit steigender Rauheit zunimmt. Daher wird ein Korrekturfaktor k_1 berechnet, mit dessen Hilfe aus dem Wert $d_{\text{sub,avg}}$ der Wert S_p ermittelt werden kann

$$d_{\text{sub,avg1}} = d_{\text{sub,avg}} - d_{\text{Sensor}}$$

$$k_1 = \frac{d_{\text{ges}}}{d_{\text{sub,avg}}}$$

$$d_{\text{sub,avg2}} = \frac{1}{k_1} \cdot d_{\text{sub,avg1}}$$

Der Faktor k_1 ist ein Maß dafür, wie "uneben" die Fläche ist, für eine ideal glatte Fläche wäre dieser Wert = 1. Genau diese Unebenheit wird aber durch die Glättungstiefe letztendlich beschrieben, daher führt der um den Faktor $1/k_1$ korrigierte Wert $d_{\text{sub,avg2}}$ zu einer verbesserten Beurteilung der Glättungstiefe, der maximale relative Fehler liegt im Bereich von ca. 2 %.

Somit ergibt sich die 3D-Glättungstiefe aus den Kapazitätsmeßwerten und den bekannten Sensorabmessungen zu

$$S_p \approx \frac{C_{\text{ges}}}{C_{\text{sub,avg}}} \cdot \frac{A_{\text{sub}}}{A_{\text{ges}}} \cdot \left(\frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A_{\text{sub}}}{C_{\text{sub,avg}}} - d_{\text{Sensor}} \right)$$

Wie bereits erwähnt, beschränkt sich der Erfindungsgedanke nicht auf die Messung mittels einer bestimmten physikalischen Größe und kann daher auf verschiedenartige Weise umgesetzt werden.

So kann die Bestimmung der Rauigkeit auch durch Beleuchtung eines auf wenige mm² begrenzten Oberflächenbereiches und Ausweitung des von der Oberfläche reflektierten Lichtes über eine opto-elektronische Bildpunkt-Wandlung erfolgen. Erhöhungen und Vertiefungen erscheinen als Lichtintensitäts- oder Lichtfarbensignal.

Eine Unterteilung der Sensor-Meßfläche wird durch einen vielsegmentigen Mikrospiegel erreicht, der von einem Laserlichtstrahl angestrahlt wird und das Licht punktwise auf die Oberfläche des Meßobjektes lenkt. Dort wird es reflektiert und nimmt denselben Weg wie das auf die Oberfläche gelenkte Licht bis zu einem Strahlteiler, über den die reflektierten Lichtstrahlen zu photoelektrischen Wandlern gelangen, welche die Auswertung übernehmen.

Alternativ dazu kann das von einer beleuchteten Oberfläche reflektierte Licht über eine Abbildungsoptik direkt auf ein opto-elektrisches Dioden-Array gelangen und so punktförmig ausgewertet werden.

Weiters kann auch Laserlicht über eine, aus vielen Einzelsegmenten, z.B. Photodioden gebildete, opto-elektronische Lichtventil-Matrix in Form einer Lichtpunkt-Matrix auf die Meßobjekt-Oberfläche gestrahlt werden und das reflektierte Licht räumlich getrennt delektiert und in elektronische Meßsignale gewandelt werden.

5 Genauso ist es auch denkbar, eine Sensor-Meßfläche aus einer Vielzahl von Piezo-Aktuatoren oder auf anderen Kraftwechselwirkungen mit der Oberfläche beruhenden Aktuatoren zusammenzusetzen. Die Auswertung der gemessenen Meßsignale geschieht in analoger Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

10

PATENTANSPRÜCHE:

1. Sensor zur Bestimmung von Oberflächenparametern eines Meßobjekts, z.B. eines Werkstückes, mit einem zumindest eine Sensor-Meßfläche aufweisenden Sensorelement, das mit seiner Sensor-Meßfläche auf der oder in einem Abstand zur Oberfläche des Meßobjekts positionierbar ist, wobei die Sensor-Meßfläche (4) aus einer Vielzahl von Sub-Sensorelementen (6) mit separaten Meßwert-Ausgängen bzw. mit separaten Meßwert-Wandlern zusammengesetzt ist und die aus Sub-Sensorelementen (6) zusammengesetzte Sensor-Meßfläche (4) in einem Sensorkopf (2) angeordnet ist, der aus einem an einer Seite offenen Hohlkörper gebildet ist, und daß die aus den Sub-Sensorelementen (6) zusammengesetzte Sensor-Meßfläche (4) an der offenen Seite des Sensorkopfes (2) angebracht ist, sodaß diese mit dem Sensorkopf (2) auf der Oberfläche des Meßobjekts oder in einem Abstand zu dieser positionierbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Sensorkopf (2) mittels einer über einen bestimmten Weg bzw. Winkelweg in allen Richtungen frei beweglichen an sich bekannten kardanischen Aufhängung (5) gegenüber einem an einer Seite offenen Sensorgehäuse (1) angeordnet ist, wobei der Sensorkopf (2) - in seiner nicht applizierten Lage - mit seiner offenen Seite aus der offenen Seite des Sensorgehäuses (1) vorragt.
2. Sensor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß zumindest eines der Sub-Sensorelemente (6), vorzugsweise über eine Klemmeinrichtung, lösbar mit der Sensor-Meßfläche (4) verbunden ist.
3. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Sensor-Meßfläche (4) durch eine Meßelektrode (4') gebildet ist und daß die Sub-Sensorelemente (6) als Sub-Elektroden (6') ausgebildet sind, die elektrisch voneinander isoliert sind und als Meßwert-Ausgang jeweils einen elektrischen Anschluß aufweisen, über den sie mit einer Auswertevorrichtung (3) verbunden sind.
4. Sensor nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Sub-Elektroden (6') aus der nominellen Oberflächengeometrie des Meßobjekts angepaßten Metallektroden gebildet sind.
5. Sensor nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf den Sub-Elektroden (6') eine aus einem Dielektrikum gebildete Schicht aufgebracht ist.
6. Sensor nach Anspruch 3, 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Sub-Elektroden (6') aus drei-, vier-, sechs- oder achteckigen Flächen gebildet sind, die gleich voneinander beabstandet sind.
7. Sensor nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Sub-Elektroden (6') quadratisch ausgebildet und in Form einer Matrix angeordnet sind.
8. Sensor nach einem der Ansprüche 3 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Meßelektrode (4') zusammen mit der Auswertevorrichtung (3) in dem Sensorkopf (2) angeordnet ist.
9. Sensor nach einem der vorgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Sub-Sensorelemente (6) mikrosystemtechnisch gefertigt sind.
10. Verfahren zur Bestimmung von Oberflächenparametern eines Meßobjekts, z.B. eines Werkstückes unter Verwendung eines Sensors nach einem der Ansprüche 3 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Sensorelement mit seiner aus den Sub-Elektroden (6') zusammengesetzten Meßelektrode (4') auf der oder in einem Abstand zur Oberfläche des

55

Meßobjekts (7) positioniert wird, daß die Kapazitäten jeweils zwischen den Sub-Elektroden (6') und dem gegenüberliegenden Bereich des Meßobjektes (7) und deren Mittelwert sowie der integrale Wert der Kapazität über alle Sub-Elektroden (6') bestimmt wird, und daß unter Einbeziehung der gemessenen Werte die 3D-Glättungstiefe berechnet wird.

- 5 11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß in einem dem Meßvorgang vorangehenden Kalibrierschritt der Minimalwert und der Maximalwert aus den zwischen den Sub-Elektroden (6') und der Oberfläche des Meßobjektes (7) bestimmten Kapazitätswerten ermittelt werden.

10

HIEZU 2 BLATT ZEICHNUNGEN

15

20

25

30

35

40

45

50

55

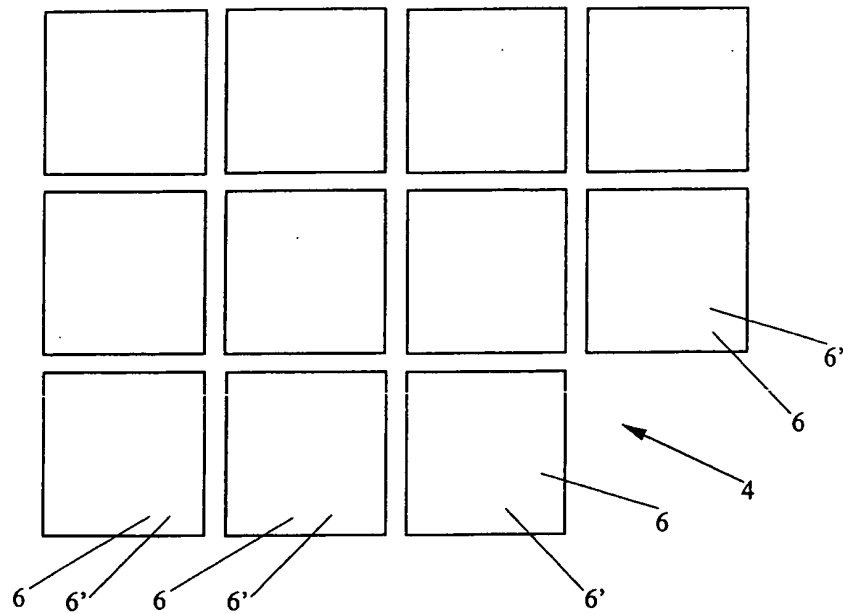


FIG.1

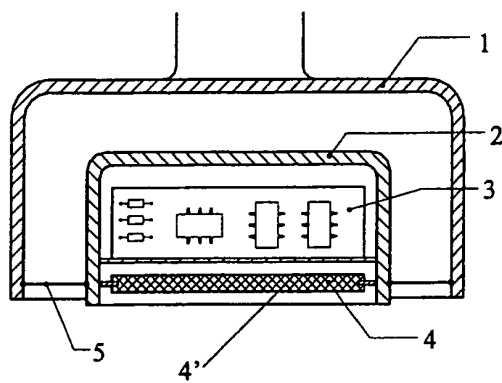


FIG.2

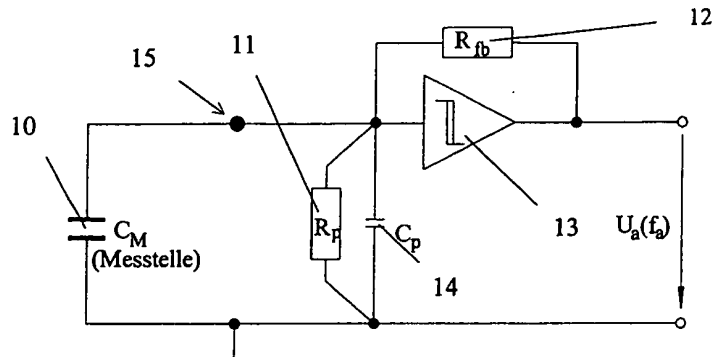


FIG.3

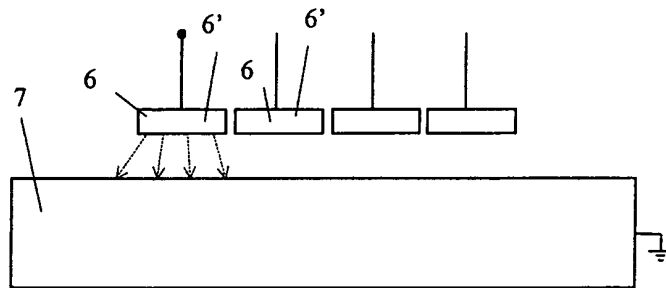


FIG.4

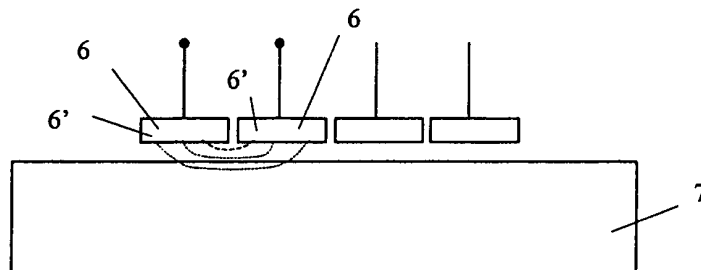


FIG.5