



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 042 570 A1** 2010.05.20

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 042 570.2**

(22) Anmeldetag: **02.10.2008**

(43) Offenlegungstag: **20.05.2010**

(51) Int Cl.⁸: **G01N 27/72** (2006.01)

(71) Anmelder:

Airbus Deutschland GmbH, 21129 Hamburg, DE

(74) Vertreter:

**PAe Reinhard, Skuhra, Weise & Partner GbR,
80801 München**

(72) Erfinder:

**Dörr, Tillmann, Dr., 28719 Bremen, DE; Hack, Theo,
85635 Höhenkirchen-Siegertsbrunn, DE; Schulz
(verstorben), Christoph, Dr., 58642 Iserlohn, DE;
Feser, Ralf, Dr., 58644 Iserlohn, DE**

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

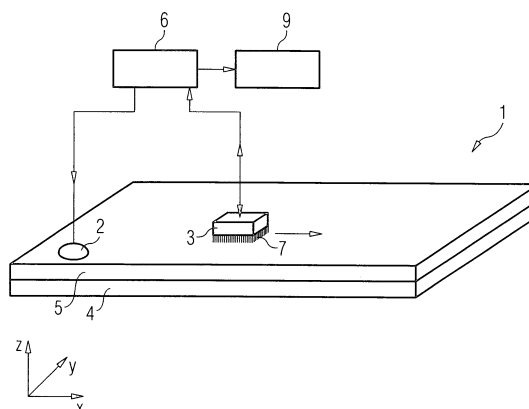
WO	02/1 03 376	A1
DE	692 18 100	T2
DE	42 27 735	A1
DE	32 36 112	C2
EP	00 45 456	A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Anordnung zur zerstörungsfreien Detektion von Beschichtungsfehlern**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung schafft ein Verfahren und eine Messanordnung (1) zur zerstörungsfreien Detektion von Beschichtungsfehlern bei einer elektrisch leitfähigen Substratschicht (4), die mit mindestens einer elektrisch isolierenden Deckschicht (5) beschichtet ist. Über eine Signaleinkoppleinrichtung (4) wird ein Einkoppelsignal induktiv oder kapazitiv in die elektrisch leitfähige Substratschicht (4) eingekoppelt. Über eine Signalauskoppleinrichtung (3) wird ein Messsignal aus der Substratschicht (4) über die Deckschicht (5) ausgekoppelt. Eine Auswerteeinheit (6) dient zum Auswerten des ausgekoppelten Messsignals. Dabei wird ein Beschichtungsfehler detektiert, wenn eine Signalparameteränderung eines Signalparameters des ausgekoppelten Messsignals einen einstellbaren Schwellenwert überschreitet.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Messanordnung zum zerstörungsfreien Detektieren von Beschichtungsfehlern bei einer elektrisch leitfähigen Substratschicht, die mit mindestens einer elektrisch isolierenden Deckschicht beschichtet ist.

[0002] Elektrisch leitfähige Substratschichten, die beispielsweise aus Metall oder aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff bestehen, werden mit einer elektrisch isolierenden Deckschicht beschichtet, um sie beispielsweise gegen Korrosion zu schützen. Die Deckschicht bildet dabei einen passiven Korrosionsschutz, der verhindert, dass korrosionsfördernde Stoffe bis zu der Substratschicht gelangen und dort chemische oder elektrochemische Reaktionen bewirken. Die elektrisch isolierende Deckschicht kann unterschiedliche Defekte aufweisen, beispielsweise Poren, Risse, Blasen oder dergleichen. Bleiben diese Beschichtungsdefekte unentdeckt, kann das darunterliegende elektrisch leitfähige Substrat korrodieren. Sofern es sich um nichtmetallische Substrate handelt, treten dort elektrochemische Reaktionen auf, die im Kontaktfall mit unedleren Metallen Kontaktkorrosion auslösen können.

[0003] Es werden daher induktive und kapazitive Messverfahren eingesetzt, die darauf beruhen, dass mit einem steigenden Abstand des Messkopfes dessen Induktivität bzw. dessen Kapazität verändert wird. Diese Induktivität- bzw. Kapazitätsänderung wird anschließend in einen Abstand- bzw. Schichtdickenwert umgerechnet. Zur Erfassung bzw. Detektion von kleineren Defekten an der Oberfläche der Beschichtung bzw. der Deckschicht sind derartige herkömmliche induktive und kapazitive Verfahren allerdings nicht geeignet, selbst wenn man einen hinreichend kleinen Detektor bzw. Messkopf einsetzt. Die bei diesen herkömmlichen Messverfahren eingesetzten Detektorköpfe haben den Nachteil, dass sie auf der Deckschicht plan anliegen müssen und bereits ein sehr geringes Verkippen des Messkopfes zu einer drastischen Signaländerung führt. Daher sind diese bekannten induktiven und kapazitiven Messverfahren, selbst wenn sie miniaturisierte Detektorköpfe, beispielsweise mit einer Größe von ca. 100 µm einsetzen, nicht anwendbar, um Defekte beispielsweise in der Größenordnung von einigen Mikrometern zu erfassen.

[0004] Ein weiteres herkömmliches Verfahren zur Messung von Schichtdicken verwendet zur Prüfung von Deckschichten eine Hochspannung. An einer beschädigten Stelle bzw. an einem Defekt kommt es aufgrund der angelegten Hochspannung zu einem Funkendurchschlag. Der Nachteil dieses Verfahrens besteht darin, dass die elektrisch leitfähige Substratschicht beim Anlegen der Hochspannung an die Hochspannungsquelle elektrisch leitend angeschlos-

sen werden muss. Ein weiterer Nachteil dieses herkömmlichen Messverfahrens besteht darin, dass es nicht zerstörungsfrei arbeitet. Falls in der elektrisch isolierenden Deckschicht eine Schwachstelle bzw. ein Defekt vorliegt, wird dieser Defekt aufgrund der Messung noch verstärkt bzw. die auszumessende isolierende Deckschicht völlig durchbrochen.

[0005] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Messanordnung zu schaffen, die es erlauben, selbst kleinste Beschichtungsfehler in sicherer und zuverlässiger Weise zerstörungsfrei zu detektieren.

[0006] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den in Patentanspruch 1 angegebenen Merkmalen gelöst.

[0007] Die Erfindung schafft ein Verfahren zum zerstörungsfreien Detektieren von Beschichtungsfehlern bei einer elektrisch leitfähigen Substratschicht, die mit mindestens einer elektrisch isolierenden Deckschicht beschichtet ist, mit den Schritten:

- a) Einkoppeln eines Einkoppelsignals in die Substratschicht;
- b) Auskoppeln eines Messsignals aus der Substratschicht über die Deckschicht; und
- c) Detektieren eines Beschichtungsfehlers, wenn eine Signalparameteränderung eines Signalparameters des ausgekoppelten Messsignals einen einstellbaren Schwellenwert überschreitet.

[0008] Das erfindungsgemäße Verfahren arbeitet zerstörungsfrei, d. h. an einer vorhandenen Schwachstelle der elektrisch isolierenden Deckschicht bzw. an einem Defekt der Deckschicht wird dieser Beschichtungsfehler nicht zusätzlich vergrößert. Dies bedeutet auch, dass ein unterkritischer Beschichtungsfehler aufgrund der Messung nicht in einen kritischen Beschichtungsfehler verwandelt wird.

[0009] Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Messverfahrens besteht darin, dass kein direkter Kontakt mit der elektrisch leitfähigen Substratschicht benötigt wird. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn die Beschichtung bzw. die elektrisch isolierende Deckschicht das zu messende Bauteil vollständig umschließt, so dass eine direkte Kontaktierung der elektrisch leitfähigen Substratschicht nur nach einer mechanischen Beschädigung der Deckschicht möglich ist. Diese mechanische Beschädigung wäre dann anschließend zu reparieren.

[0010] Das erfindungsgemäße Messverfahren ermöglicht ein Einkoppeln eines Einkoppelsignals durch die Deckschicht bzw. die Beschichtung hindurch und daher kann das Einkoppelsignal an einer beliebigen Stelle des Bauteils appliziert werden, ohne die Beschichtung bzw. die Deckschicht zu beeinträchtigen.

[0011] Bei einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Messsignal mittels flexibler und elektrisch leitfähiger Borsten ausgekoppelt, die über die Oberfläche der isolierenden Deckschicht geführt werden.

[0012] Dabei werden die flexiblen, elektrisch leitfähigen Borsten vorzugsweise mit einer elektrolytischen Flüssigkeit bzw. einem Hilfselektrolyten befeuchtet.

[0013] Bei einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Einkoppelsignal kapazitiv oder induktiv in die elektrisch leitfähige Substratschicht eingekoppelt.

[0014] Bei einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Einkoppelsignal durch ein gepulstes Gleichspannungssignal gebildet.

[0015] Bei einer möglichen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Einkoppelsignal durch ein Wechselspannungssignal mit einstellbarer Frequenz gebildet.

[0016] Bei diesem Wechselspannungssignal handelt es sich beispielsweise um ein sinusförmiges Wechselspannungssignal mit einstellbarer Signalfrequenz.

[0017] Bei einer möglichen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Koordinaten eines erfassten Beschichtungsfehlers erfasst.

[0018] Bei einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine Art eines Beschichtungsfehlers ermittelt.

[0019] Bei einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird erfasst, ob der Beschichtungsfehler durch ein Loch, das durchgehend bis hin zur Substratschicht reicht, durch ein Loch in der Deckschicht, das nicht durchgehend bis zur Substratschicht reicht, oder durch eine Erhebung der Deckschicht gebildet wird.

[0020] Bei einer möglichen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird in Abhängigkeit von der erkannten Art des Beschichtungsfehlers der jeweilige Beschichtungsfehler anschließend automatisch repariert.

[0021] Bei einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird zur Reparatur ein erkanntes Loch in der Deckschicht aufgefüllt und eine erkannte Erhebung in der Deckschicht abgetragen.

[0022] Bei einer möglichen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens handelt es sich bei

der elektrolytischen Flüssigkeit um deionisiertes Wasser.

[0023] Deionisiertes Wasser hat den Vorteil, dass es einerseits noch eine genügend hohe Leitfähigkeit aufweist und andererseits nach einem Verdunsten keine sichtbaren Rückstände auf der Deckschicht- bzw. der Beschichtung hinterlässt.

[0024] Ein weiterer Vorteil der Verwendung von deionisiertem Wasser als elektrolytische Flüssigkeit bzw. als Hilfselektrolyt besteht darin, dass destilliertes Wasser durch Wartungstechniker in einfacher Weise benutzt werden kann und ferner keinerlei Gesundheitsrisiken für Wartungstechniker birgt.

[0025] Bei einer möglichen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die elektrisch leitfähigen, flexiblen Borsten an einer Bürste angebracht, die über eine Oberfläche der elektrisch isolierenden Deckschicht gestrichen wird.

[0026] Bei einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens bestehen die elektrisch leitfähigen, flexiblen Borsten aus elektrisch leitfähigen Polymeren, aus Metallfasern oder aus Naturborsten, wobei die Naturborsten durch den Hilfselektrolyten, beispielsweise durch deionisiertes Wasser, ihre Leitfähigkeit erhalten.

[0027] Bei einer möglichen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein zeitlicher Amplitudenverlauf des ausgekoppelten Messsignals erfasst und ein Beschichtungsfehler dann erkannt, wenn eine Amplitudenänderung einen einstellbaren Amplitudenschwellenwert überschreitet.

[0028] Bei einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung des ausgekoppelten Messsignals erfasst und ein Beschichtungsfehler dann erkannt, wenn eine Phasenänderung einen einstellbaren Phasenschwellenwert überschreitet.

[0029] Bei einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine Lade- und/oder Entladezeit eines RC-Gliedes mit einem Kondensator, dessen Kapazität von der Schichtdicke der Deckschicht beeinflusst wird, erfasst und ein Beschichtungsfehler wird dann erkannt, wenn eine Lade- und/oder Entladezeitänderung einen einstellbaren Zeitdauer-Schwellenwert überschreitet.

[0030] Bei einer möglichen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens weist die elektrisch leitfähige Substratschicht einen kohlefaserverstärkten Kunststoff, Metall oder ein Halbleitermaterial auf.

[0031] Bei einer möglichen Ausführungsform des

erfindungsgemäßen Verfahrens weist die elektrisch isolierende Deckschicht einen Schutzlack auf.

[0032] Bei einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden in Abhängigkeit von einer Signalparameteränderung eine Dicke der Deckschicht und eine Größe eines Beschichtungsfehlers berechnet.

[0033] Die Erfindung schafft ferner eine Messanordnung zur zerstörungsfreien Detektion von Beschichtungsfehlern bei einer elektrisch leitfähigen Substratschicht, die mit mindestens einer elektrisch isolierenden Deckschicht beschichtet ist, mit:

- a) einer Signal-Einkoppeleinrichtung zum Einkoppeln eines Einkoppelsignals in die Substratschicht;
- b) einer Signal-Auskoppeleinrichtung zum Auskoppeln eines Messsignals aus der Substratschicht über die Deckschicht; und
- c) einer Auswerteeinheit zum Auswerten des ausgekoppelten Messsignals, wobei ein Beschichtungsfehler detektiert wird, wenn eine Signalparameteränderung eines Signalparameters des ausgekoppelten Messsignals einen einstellbaren Schwellenwert überschreitet.

[0034] Bei einer möglichen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Messanordnung koppelt die Signaleinkoppeleinrichtung das Einkoppelsignal induktiv oder kapazitiv in die Substratschicht ein.

[0035] Bei einer möglichen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Messanordnung koppelt die Signalauskoppeleinrichtung das Messsignal aus der Substratschicht über die Deckschicht induktiv oder kapazitiv aus.

[0036] Bei einer möglichen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Messanordnung weist die Signalauskoppeleinrichtung flexible und elektrisch leitfähige Borsten auf.

[0037] Bei einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Messanordnung weist die Signal-Auskoppeleinrichtung einen Vorratsbehälter zur Aufnahme einer elektrolytischen Flüssigkeit auf, die zum Befeuchten der Borsten vorgesehen ist.

[0038] Bei einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Messanordnung weist die elektrolytische Flüssigkeit destilliertes Wasser oder deionisiertes Wasser auf.

[0039] Bei einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Messanordnung weist die Signalauskoppeleinrichtung einen Motor auf, der die Signalauskoppeleinrichtung über die Oberfläche der Deckschicht bewegt, um die Deckschicht zum Erkennen von Beschichtungsfehlern zu scannen.

[0040] Bei einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Messanordnung werden die räumlichen Koordinaten der beweglichen Signalauskoppeleinrichtung zusammen mit den Signalparametern des Messsignals in einem Speicher zu deren Auswertung gespeichert.

[0041] Bei einer möglichen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Messanordnung weist diese einen Mikroprozessor auf.

[0042] Bei einer möglichen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Messanordnung weist die Signaleinkoppeleinrichtung einen elektrisch leitfähigen Saugnapf, einen leitfähigen Schaumgummi, eine leitfähige Rolle oder eine leitfähige Walze auf.

[0043] Bei einer möglichen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Messanordnung wird die Signaleinkoppeleinrichtung zum Zwecke der Messung auf der zu isolierenden Deckschicht oder auf der elektrisch leitfähigen Substratschicht angebracht.

[0044] Die Erfindung schafft ferner ein Computerprogramm mit Programmbefehlen zur Durchführung eines Verfahrens zum zerstörungsfreien Detektieren von Beschichtungsfehlern bei einer elektrisch leitfähigen Substratschicht, die mit mindestens einer elektrisch isolierenden Deckschicht beschichtet ist mit den Schritten:

- a) Einkoppeln eines Einkoppelsignals in die Substratschicht;
- b) Auskoppeln eines Messsignals aus der Substratschicht über die Deckschicht; und
- c) Detektieren eines Beschichtungsfehlers, wenn eine Signalparameteränderung eines Signalparameters des ausgekoppelten Messsignals einen einstellbaren Schwellenwert überschreitet.

[0045] Die Erfindung schafft ferner einen Datenträger, der ein derartiges Computerprogramm speichert.

[0046] Die Erfindung schafft ferner einen Datenträger, der die durch das erfindungsgemäße Verfahren erhaltenen Messergebnisse speichert.

[0047] Im Weiteren werden bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Messanordnung zum störungsfreien Detektieren von Beschichtungsfehlern unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren beschrieben.

[0048] Es zeigen:

[0049] [Fig. 1A](#), [Fig. 1B](#) Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Messanordnung zur zerstörungsfreien Detektion von Beschichtungsfehlern;

[0050] [Fig. 2](#) Verschiedene Arten detektierbarer Be-

schichtungsfehler zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Messverfahrens;

[0051] [Fig. 3](#) eine weitere Darstellung einer erfindungsgemäßen Messanordnung;

[0052] [Fig. 4](#) ein weiteres Blockschaltbild zur Darstellung einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Messanordnung;

[0053] [Fig. 5](#) ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Messanordnung;

[0054] [Fig. 6](#) ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Messanordnung;

[0055] [Fig. 7](#) ein einfaches Ablaufdiagramm einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zum zerstörungsfreien Detektieren von Beschichtungsfehlern;

[0056] [Fig. 8](#) ein Diagramm zur Darstellung eines beispielhaften Messergebnisses des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0057] Wie man in den [Fig. 1A](#), [Fig. 1B](#) erkennen kann, enthält eine erfindungsgemäße Messanordnung **1** zum zerstörungsfreien Detektieren von Beschichtungsfehlern BF eine Signaleinkoppeleinrichtung **2** und eine Signalauskoppeleinrichtung **3**. Die Messanordnung **1** detektiert bzw. erfasst Beschichtungsfehler bei einer elektrisch leitfähigen Substratschicht **4**, die mit mindestens einer elektrisch isolierenden Deckschicht **5** beschichtet ist. Die elektrisch leitfähige Substratschicht **4** kann aus einem kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff bestehen. Bei einer alternativen Ausführungsform besteht die elektrisch leitfähige Substratschicht **4** aus einem Metall oder aus einem Halbleitermaterial. Die elektrisch isolierende Deckschicht **5** besteht beispielsweise aus einem Schutzlack. Bei einer möglichen Ausführungsform ist dieser Schutzlack ein Korrosionsschutzlack.

[0058] Wie man in den [Fig. 1A](#), [Fig. 1B](#) erkennen kann, sind die Signaleinkoppeleinrichtung **2** zum Einkoppeln eines Einkoppelsignals in die Substratschicht **4** und die Signalauskoppeleinrichtung **3** zum Auskoppeln eines Messsignals aus der Substratschicht **4** an eine Einheit **6** angeschlossen, die einerseits zur Generierung des Einkoppelsignals, andererseits zur Auswertung des von der Signal-Auskoppeleinrichtung **3** gelieferten Messsignals vorgesehen ist.

[0059] Die Signal-Einkoppeleinrichtung **2** koppelt das von der Einheit **6** generierte Einkoppelsignal induktiv oder kapazitiv in die elektrisch leitfähige Substratschicht **4** ein. Bei der in [Fig. 1A](#) dargestellten Ausführungsform folgt eine kapazitive Einkoppelung in die elektrisch leitfähige Substratschicht **4** über die elektrisch isolierende Deckschicht **5** hinweg. Bei der

in [Fig. 1B](#) dargestellten Ausführungsform erfolgt die Einkoppelung des Einkoppelsignals hingegen direkt in die elektrische Substratschicht **4**. Die in [Fig. 1A](#) dargestellte Ausführungsform einer kapazitiven Einkoppelung des Einkoppelsignals über die Deckschicht **5** hat den Vorteil, dass kein direkter Kontakt mit der elektrisch leitfähigen Substratschicht **4** hergestellt werden muss. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn die elektrisch leitfähige Schicht **4** rundherum mit einer isolierenden Deckschicht **5** umgeben ist und ein direkter elektrischer Kontakt mit der Substratschicht **4** nicht ohne Beschädigung der elektrisch isolierenden Deckschicht **5** hergestellt werden kann.

[0060] Bei einer möglichen Ausführungsform weist die Signaleinkoppeleinrichtung **2** einen elektrisch leitfähigen Saugnapf auf, der wie in [Fig. 1A](#) dargestellt, auf die elektrisch isolierende Deckschicht **5** aufgesetzt wird oder wie in [Fig. 1B](#) dargestellt, direkt an die elektrisch leitfähige Schicht **4** angebracht wird.

[0061] Bei einer alternativen Ausführungsform ist die Signal-Einkoppeleinrichtung **2** beispielsweise ein leitfähiger Schaumgummi. Bei einer weiteren Ausführungsform besteht die Signal-Einkoppeleinrichtung **2** aus einer leitfähigen Rolle oder aus einer leitfähigen Walze.

[0062] Wie in den [Fig. 1A](#), [Fig. 1B](#) dargestellt, weist die dort gezeigte elektrisch isolierende Deckschicht **5** einen Beschichtungsfehler BF auf. Im dargestellten Beispiel ist der Beschichtungsfehler BF ein Loch, das durchgehend bis hin zur Substratschicht **4** reicht. Weitere Arten von Beschichtungsfehlern sind möglich, wie im Zusammenhang mit [Fig. 2A](#), [Fig. 2B](#), [3C](#) erläutert. Zum Erfassen bzw. Detektieren des Beschichtungsfehlers BF durch die Signalauskoppeleinrichtung **3**, wird das in die elektrisch leitfähige Substratschicht **4** eingekoppelte Messsignal ausgekoppelt und anschließend durch die Auswerteeinheit **6** ausgewertet. Die Auskoppelung des Messsignals kann wiederum induktiv oder kapazitiv erfolgen.

[0063] Bei den in [Fig. 1A](#), [Fig. 1B](#) dargestellten Ausführungsformen weist die Signalauskoppeleinrichtung **3** elektrisch leitfähige, flexible Borsten **7** auf, die an einer Bürste angebracht sein können. Diese Bürste wird über die Oberfläche der elektrisch isolierenden Deckschicht **5** gestrichen, wie in den [Fig. 1A](#), [Fig. 1B](#) schematisch dargestellt ist. Das eingekoppelte Messsignal wird mittels der flexiblen und elektrisch leitfähigen Borsten **7** ausgekoppelt und der Auswerteeinheit **6** zugeführt. Die Auswerteeinheit **6** wertet das ausgekoppelte Messsignal aus, wobei ein Beschichtungsfehler BF detektiert wird, wenn eine Signalparameteränderung mindestens eines Signalparameters des ausgekoppelten Messsignals einen einstellbaren Stellenwert überschreitet. Wie in [Fig. 1A](#), [Fig. 1B](#) dargestellt, sind die flexiblen elektrisch leitfähigen Borsten **7** der Signalauskoppelein-

richtung **3** oder die Oberfläche der Deckschicht **5** mit einer elektrolytischen Flüssigkeit **8** befeuchtet. Diese elektrolytische Flüssigkeit **8** bildet einen Hilfselektrolyt, welcher elektrisch leitfähig ist. Bei einer möglichen Ausführungsform wird die elektrolytische Flüssigkeit durch deionisiertes Wasser oder sogar destilliertes Wasser gebildet. Eine mögliche Vorgehensweise besteht darin, die Borsten **7** der Signalauskoppeleinrichtung **3** mit dem Hilfselektrolyten bzw. der elektrolytischen Flüssigkeit zu befeuchten und anschließend die Bürste bzw. die Signalauskoppeleinrichtung **3** mit den befeuchteten Borsten **7** über die Oberfläche der Deckschicht **5** zu führen. Sobald eine oder mehrere der Borsten **7** über einen Beschichtungsfehler bewegt werden, führt es zu einer Signalparameteränderung des ausgekoppelten Messsignals, welcher die durch die Auswerteeinheit **6** erfasst wird. Darüber hinaus kann bei einer möglichen Ausführungsform auf Basis der Signalparameteränderung auch auf die Art des Beschichtungsfehlers BF geschlossen werden.

[0064] Bei einer möglichen Ausführungsform wird ein zeitlicher Amplitudenverlauf des ausgekoppelten Messsignals erfasst und ein Beschichtungsfehler BF erkannt, wenn eine Amplitudenänderung ΔA einen einstellbaren Amplitudenschwellenwert überschreitet.

[0065] Bei einer alternativen Ausführungsform wird eine Phasenverschiebung zwischen einem Strom- und Spannungssignal des ausgekoppelten Messsignals durch die Auswerteeinheit **6** erfasst und ein Beschichtungsfehler BF dann erkannt, wenn eine Phasenänderung $\Delta\phi$ einen einstellbaren Phasenschwellenwert überschreitet.

[0066] Bei einer weiteren Ausführungsform wird eine Lade- und/oder eine Entladezeit eines RC-Gliedes, das einen Kondensator enthält, dessen Kapazität von der Schichtdicke der Deckschicht **5** beeinflusst wird, durch die Auswerteeinheit **6** erfasst und ein Beschichtungsfehler BF dann erkannt, wenn eine Lade- und/oder Entladezeitänderung einen einstellbaren Zeitdauer-Schwellenwert überschreitet.

[0067] Die Signalparameteränderung erlaubt es zudem, Art und Ausmaß eines Beschichtungsfehlers BF zu erkennen. [Fig. 2A](#), [Fig. 2B](#), [Fig. 2C](#) zeigen verschiedene detektierbare Beschichtungsfehlerarten.

[0068] Bei der in [Fig. 2A](#) gezeigten Beschichtungsfehlerart handelt es sich um ein in der Deckschicht **5** vorhandenes Loch, das durchgehend bis hin zu der elektrisch leitfähigen Substratschicht **4** reicht. Bei dem in [Fig. 2A](#) schematisch dargestellten Loch kann es sich um ein sehr kleines Loch oder um einen Riss handeln, wobei die räumliche Ausdehnung eines derartigen Loches bzw. Risses größer oder kleiner sein

kann als der Durchmesser einer Borste **7**.

[0069] Bei dem in [Fig. 2B](#) dargestellten Beschichtungsfehler BF handelt es sich um ein Loch in der Deckschicht **5**, das nicht durchgehend bis zur Substratschicht **4** reicht. Ein derartiger Beschichtungsfehler ist mit dem erfindungsgemäßen Messverfahren ebenfalls detektierbar, da an der Stelle des Beschichtungsfehlers BF die Kapazität deutlich erhöht ist. Das liegt daran, dass der Abstand zwischen der elektrisch leitfähigen Substratschicht **4** der befeuchteten Borste **7** an der Stelle des Beschichtungsfehlers geringer ist als an den übrigen Stellen. Da die Kapazität C eines Kondensators umgekehrt proportional zum Abstand d seiner Platten ist, ist somit die Kapazität C an der Stelle des in [Fig. 2B](#) dargestellten Beschichtungsfehlers BF deutlich erhöht:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

[0070] [Fig. 2C](#) zeigt eine weitere Beschichtungsfehlerart, bei der die Deckschicht **5** eine ungewollte Erhöhung als Beschichtungsfehler aufweist. Bei dem in [Fig. 2C](#) dargestellten Beispiel sinkt die Kapazität C an der Stelle des Beschichtungsfehlers BF ab.

[0071] [Fig. 3A](#) zeigt schematisch ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Messanordnung **1**. Die Signal-Auskoppeleinrichtung **3** mit den daran angebrachten leitfähigen Borsten **7** liest das von der Signal-Einkoppeleinrichtung **2** die elektrisch leitfähige Substratschicht **4** eingekoppelte Messsignal zur Auswertung aus.

[0072] Bei dem in [Fig. 3A](#) dargestellte Ausführungsbeispiel ist die Signal-Auskoppeleinrichtung **3** in einer Bürste integriert, die eine Vielzahl von befeuchteten Borsten **7** aufweist. Diese Bürste kann manuell oder rechnergesteuert über die Oberfläche der Deckschicht **5** gestrichen werden, um Beschichtungsfehler BF in der Deckschicht **5** zu entdecken. Sobald eine Signalparameteränderung eines Signalparameters des ausgekoppelten Messsignals einen einstellbaren Schwellenwert überschreitet, wird der Beschichtungsfehler BF zusammen mit den Koordinaten des Beschichtungsfehlers ausgegeben bzw. in einem Speicher **9** abgelegt. [Fig. 3B](#) zeigt beispielhaft eine Tabelle verschiedener detektierter Beschichtungsfehler BF, mit zugehörigen Koordinaten und weiteren Angaben bzw. Informationen über die detektierten Beschichtungsfehler. Diese Beschreibungsdaten können beispielsweise die Art des Beschichtungsfehlers BF angeben, d. h. ob es sich um ein Loch (L) oder eine Erhebung (E) handelt. Weiterhin können aufgrund der erfassten Signalparameteränderungen Angaben über die Dimensionen des Beschichtungsfehlers errechnet und abgespeichert werden.

[0073] Die in [Fig. 3A](#) dargestellte Bürste wird von einem Wartungstechniker manuell über eine Deckschicht **5** geführt, wobei die Koordinaten x , y der Bürste bei einer möglichen Ausführungsform über eine drahtlose Schnittstelle und Triangulation ermittelt werden.

[0074] [Fig. 3A](#) zeigt ein einfaches Bauteil, nämlich eine Platte mit einer elektrisch leitfähigen Substratschicht **4** und einer Deckschicht **5**. Die Ausdehnung einer derartigen Platte sowohl in x , als auch in y -Richtung kann einige Meter umfassen. Das erfindungsgemäße Messverfahren ist keineswegs nur auf einfache Platten mit einer flachen Oberfläche beschränkt, sondern eignet sich auch für sonstige Oberflächen, insbesondere zylinderförmige Hohlkörper.

[0075] Bei einer möglichen Ausführungsform weist die in [Fig. 3A](#) dargestellte Bürste zusätzlich ein Vorratsbehälter zur Aufnahme einer elektrolytischen Flüssigkeit zum Befeuchten der Borsten **7** auf. Die elektrisch leitfähigen, flexiblen Borsten **7** können aus elektrisch leitfähigen Polymeren, aus Metallfasern oder aus Naturborsten bestehen. Die Naturborsten erhalten ihre Leitfähigkeit durch den Hilfselektrolyten.

[0076] Bei einer möglichen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Messverfahrens wird ein Beschichtungsfehler BF nicht nur detektiert, sondern anschließend auch ein erkannter Beschichtungsfehler automatisch repariert.

[0077] Bei dem in [Fig. 4](#) dargestellten Ausführungsbeispiel generiert die Einheit **6** ein Einkoppelsignal, das durch eine Signal-Einkoppeleinrichtung **2**, beispielsweise einen elektrisch leitfähigen Saugnapf, kapazitiv in die elektrisch leitfähige Substratschicht **4** über die Deckschicht **5** eingekoppelt wird. Das kapazitiv eingekoppelte Messsignal breitet sich in der elektrisch leitfähigen Schicht **4** aus und wird durch die Auskoppeleinrichtung **3** der Einheit **6** zur Signalauswertung zugeführt. Aufgrund einer hinreichend großen Signalparameteränderung wird der in [Fig. 4](#) schematisch dargestellte Beschichtungsfehler BF beim Streichen der Borsten **7** über der Beschichtungsfehler BF erkannt. Bei dem Einkoppelsignal kann es sich beispielsweise um ein gepulstes Gleichspannungssignal handeln. Bei einer alternativen Ausführungsform kann es sich bei dem Einkoppelsignal um ein Wechsellspannungssignal mit einstellbarer Frequenz handeln. Bei dem in [Fig. 4](#) dargestellten Ausführungsbeispiel wird die in einer Bürste integrierte Signal-Auskoppeleinrichtung durch einen gesteuerten Motor **10** über die Deckschicht **5** zur Erfassung von Beschichtungsfehlern BF geführt. Ein Motor **10** wird durch eine Motorsteuerung innerhalb der Einheit **6** angesteuert. Beispielsweise wird die Bürste meanderförmig über die gesamte Oberfläche der Deckschicht **5** geführt, um Beschichtungsfehler BF zu erkennen. Bei dem in [Fig. 4](#) dargestellten Ausführungs-

beispiel ist an der durch den Motor **10** angetriebenen Bürste eine Reparatureinheit **11** vorgesehen, die einen erkannten Beschichtungsfehler BF an der detektierten Stelle automatisch repariert. Dabei wird ein erkanntes Loch in der Deckschicht **5** aufgefüllt und eine erkannte Erhebung in der Deckschicht **5** durch die Reparatureinheit **11** abgetragen.

[0078] [Fig. 5](#) zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Messanordnung **1**. Bei der in [Fig. 5](#) dargestellten Ausführungsform wird eine Lade- oder Entladezeit eines RC-Gliedes mit einem Kondensator, dessen Kapazität von der Schichtdicke der Deckschicht **5** beeinflusst wird, erfasst. Ein Beschichtungsfehler BF wird dann erkannt, wenn eine Lade- und/oder Entladezeitänderung einen einstellbaren Zeitdauerschwellenwert überschreitet. Eine Gleichspannung von beispielsweise 5 V wird über einen gesteuerten Schalter **12** an das auszumessende Bauteil angelegt, welches einen komplexen Widerstand Z aufweist. Durch das regelmäßige Schalten des Schalters **12** entsteht ein gepulstes Gleichspannungssignal zum Auf- und Entladen eines RC-Gliedes. Beispielsweise wird der Schalter **12** 1000mal pro Sekunde ein- und ausgeschaltet. Ist die Deckschicht **5** unbeschädigt und somit gut isolierend, ist der komplexe Widerstand Z unendlich groß. Das Zeitverhalten des RC-Gliedes hängt von dem Widerstand R_1 und der Kapazität C_1 ab. Der Widerstand R_1 weist beispielsweise einen Widerstand von 1 MOhm auf und der Kondensator C_1 eine Kapazität von 68 pF. Hat die auszumessende Oberfläche einen Beschichtungsfehler BF, ändert sich der komplexe Widerstand Z . Bei einem durchgängigen Loch wird ein Kurzschluss zwischen der Signal-Einkoppeleinrichtung und der Signal-Auskoppeleinrichtung hervorgerufen, so dass der in [Fig. 5](#) dargestellte Kondensator C_2 parallel zu dem RC-Glied geschaltet wird. Der Kondensator C_2 weist beispielsweise eine Kapazität von 100 nF auf. Durch die Parallelschaltung des Kondensators C_2 wird die Auflade- und Entladezeit des RC-Gliedes drastisch erhöht. Diese Änderung der Auf- und Entladezeit wird durch einen in der Auswerteeinheit **6** enthaltenen Mikroprozessor erfasst.

[0079] [Fig. 6](#) zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Messanordnung **1**. Dabei wird durch einen in die Einheit **6** enthaltenen Signal-generator ein Wechsellspannungssignal mit einer einstellbaren Signalfrequenz über eine Signal-Einkoppeleinrichtung kapazitiv an das beschichtete Bauteil gekoppelt und anschließend über eine Signal-Auskoppeleinrichtung wieder kapazitiv ausgekoppelt und ausgewertet. Die Signaleinkoppeleinrichtung wird beispielsweise durch einen elektrisch leitfähigen Saugnapf mit einer Kapazität C_1 gebildet. Die Signalauskoppeleinrichtung wird beispielsweise durch einen nassen Pinsel bzw. eine befeuchtete Bürste mit einer Kapazität C_2 gebildet. Bei dem Wechsellspannungssignal handelt es sich beispielsweise um einen

sinusförmiges Wechsellspannungssignal. Der Messsignalaufnehmer bzw. die Signalauskoppeleinrichtung, die durch einen nassen Pinsel gebildet sein kann, weist zusammen mit einer unbeschädigten Oberfläche beispielsweise eine Kapazität von etwa 100 pF auf. Wird das beschichtete Bauteil beschädigt sinkt der Widerstand Z , wobei dies zu einem Anstieg der gemessenen Amplitude des Wechsellspannungssignals führt. Dieser Anstieg wird durch die Auswerteeinheit **6** erfasst. Weitere Messvarianten sind möglich. Beispielsweise stellt die zu untersuchende Oberfläche an dem unbeschädigten Zustand, d. h. ohne Beschichtungsfehler einen fast idealen Kondensator dar, der zwischen einem gemessenen Strom und einem gemessenen Spannungssignal eine Phasenverschiebung von bis zu 90° liefert. Wenn nun die Deckschicht lokal defekt ist, führt dies zu einer Reduzierung der Kapazität bzw. die Kapazität entfällt ganz. Dies kann zu einer Änderung des Phasenwinkels auf 0 führen. Diese Phasenwinkeländerung $\Delta\varphi$ kann durch die Auswerteeinheit **6** erfasst werden.

[0080] [Fig. 7](#) zeigt ein einfaches Ablaufdiagramm einer möglichen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Messverfahrens.

[0081] Bei einem ersten Schritt S1 wird ein Einkoppelsignal in die elektrisch leitfähige Substratschicht **4** direkt oder indirekt eingekoppelt. Das Einkoppeln kann beispielsweise kapazitiv oder induktiv erfolgen. Bei einer möglichen Ausführungsform ist das Einkoppelsignal ein gepulstes Gleichspannungssignal. Bei einer alternativen Ausführungsform ist das Einkoppelsignal ein Wechsellspannungssignal mit einstellbarer Frequenz.

[0082] In einem weiteren Schritt S2 wird ein Messsignal aus der Substratschicht **4** über die Deckschicht **5** ausgekoppelt. Das Auskoppeln des Messsignals kann seinerseits induktiv oder kapazitiv erfolgen.

[0083] Im weiteren Schritt S3 erfolgt die Auswertung des ausgekoppelten Messsignals. Dabei wird ein Beschichtungsfehler in der Deckschicht **5** detektiert, wenn eine Signalparameteränderung mindestens eines Signalparameters des ausgekoppelten Messsignals einen einstellbaren Schwellenwert überschreitet. Dieser einstellbare Schwellenwert kann beispielsweise die Schichtdicke der Deckschicht **5** berücksichtigen. Das Auskoppeln des Messsignals im Schritt S2 erfolgt an einer örtlich variablen Stelle, wobei beispielsweise ein befeuchteter Pinsel bzw. eine Bürste mit leitfähigen Borsten über die Oberfläche der Deckschicht **5** bewegt wird, um das Messsignal aufzunehmen.

[0084] [Fig. 8](#) zeigt schematisch ein Messergebnis der erfindungsgemäßen Messanordnung **1**. Die Dicke der Deckschicht **5** wird beispielsweise als Höhen-

profil gespeichert. Beim dargestellten Beispiel weist die Deckschicht an der Stelle X1, Y1 eine bis zur Substratschicht **4** reichende Vertiefung auf.

[0085] Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Messanordnung **1** sind vielseitig einsetzbar. Beispielsweise können mit der erfindungsgemäßen Messanordnung **1** Beschichtungsfehler bei einem kohlenstoffaserverstärktem Kunststoff, der mit einer Lackschicht beschichtet ist, festgestellt werden. Derartige kohlenstoffaserverstärkte Kunststoffe werden beispielsweise im Flugzeugbau oder im Kraftfahrzeugbau eingesetzt. Das erfindungsgemäße Messverfahren erlaubt es, zerstörungsfrei, auf beliebig geformten Oberflächen Beschichtungsfehler zu detektieren, wobei die eingesetzten Signalspannungen gering sind. Diese geringen Signalspannungen führen zu keinerlei Gefährdung an der Wartungstechniker. Andererseits wird auch die zu untersuchende Deckschicht nicht beschädigt. Ein direkter leitender elektrischer Kontakt mit der leitfähigen Substratschicht **4** wird nicht benötigt, da die Einkopplung induktiv oder kapazitiv erfolgt.

[0086] Bei einer weiteren Variante der erfindungsgemäßen Messanordnung **1** wird nicht die Signalauskoppeleinrichtung **3** über die Deckschicht **5** bewegt, sondern der auszumessende Bauteil wird über eine örtlich fest platzierte Signalauskoppeleinrichtung **3** bewegt.

[0087] Bei einer weiteren Ausführungsvariante der erfindungsgemäßen Messanordnung **1** erfolgt die Signalübertragung von/zu der Auswerteeinheit **6** über die Signaleinkoppel- und auskoppeleinrichtung über eine drahtlose Schnittstelle. Darüber hinaus kann die Auswerteeinheit **6** über ein Netzwerk mit einem entfernten Server und einer zugehörigen Datenbank verbunden sein.

[0088] Bei einer weiteren Ausführungsvariante der erfindungsgemäßen Messanordnung **1** wird nicht nur ein Signalparameter des aufgenommenen Messsignals ausgewertet, sondern mehrere Signalparameter, beispielsweise Signalamplitude und eine Phasenänderung. Durch Auswertung mehrerer Signalparameter kann die Genauigkeit bei der Ausmessung der Beschichtungsfehler BF sowohl Art als auch Größe des Beschichtungsfehlers erhöht werden.

[0089] Bei einer möglichen Ausführungsvariante werden über eine Benutzerschnittstelle Kennwerte/Sollwerte eingegeben. Beispielsweise wird eine Sollstärke der Deckschicht **5** durch einen Wartungstechniker eingegeben und daraus der Sollwert eines Signalparameters berechnet. Ist die Differenz zwischen dem gemessenen Signalparameter und dem erwarteten Sollwert größer als ein einstellbarer Schwellenwert wird ein Beschichtungsfehler BF erkannt.

[0090] Die erfindungsgemäße Messanordnung 1 lässt sich beispielsweise im Rahmen der Qualitätssicherung einsetzen. Dabei können Grenzwerte, beispielsweise Sollwerte vorgegeben und verifiziert werden, die beispielsweise einen Langzeitschutz gewährleisten. Dadurch werden insbesondere die Gefahren und Risiken von Korrosionsschäden minimiert. Derartige Qualitätssicherungsmaßnahmen können spezifiziert und kontrolliert werden. Darüber hinaus kann die Messanordnung 1 schon beim Bauteilzulieferer installiert werden. Das erfindungsgemäße Messverfahren eignet sich zur Detektion von Beschichtungsfehlern bei beliebigen elektrisch leitfähigen Substratschichten 4, die mit einer elektrisch isolierenden Deckschicht 5 beschichtet sind. Die erfindungsgemäße Messanordnung 1 eignet sich insbesondere im Bereich der Luft- und Raumfahrt sowie der Automobilindustrie.

Bezugszeichenliste

1	Messanordnung
2	Signaleinkoppeleinrichtung
3	Signalauskoppeleinrichtung
4	Substratschicht
5	Deckschicht
6	Auswerteeinheit
7	Borsten
8	elektrolytische Flüssigkeit
9	Speicher
10	Motor
11	Reparatureinheit
12	Schalter
BF	Beschichtungsfehler
C	Kapazität
C1–C2	Kondensator
$\Delta\phi$	Phasenwinkeländerung
E	Erhebung
L	Loch
S1	Einkoppeln
S2	Auskoppeln
S3	Detektieren

Patentansprüche

1. Messanordnung (1) zur zerstörungsfreien Detektion von Beschichtungsfehlern (BF) bei einer elektrisch leitfähigen Substratschicht (4), die mit mindestens einer elektrisch isolierenden Deckschicht (5) beschichtet ist, mit:

a) einer Signal-Einkoppeleinrichtung (2) zum Einkoppeln eines Einkoppelsignals in die Substratschicht (4);

b) einer Signal-Auskoppeleinrichtung (3) zum Auskoppeln eines Messsignals aus der Substratschicht (4) über die Deckschicht (5); und

c) einer Auswerteeinheit (6) zum Auswerten des ausgekoppelten Messsignals, wobei ein Beschichtungsfehler (BF) detektiert wird, wenn eine Signalparameteränderung eines Signalparameters des ausgekop-

pelten Messsignals einen einstellbaren Schwellenwert überschreitet.

2. Messanordnung nach Anspruch 1, wobei die Signal-Einkoppeleinrichtung (2) das Einkoppelsignal induktiv oder kapazitiv in die Substratschicht (4) eingekoppelt.

3. Messanordnung nach Anspruch 1, wobei die Signal-Auskoppeleinrichtung (2) das Messsignal aus der Substratschicht (4) über die Deckschicht (5) induktiv oder kapazitiv auskoppelt.

4. Messanordnung nach Anspruch 1, wobei die Signal-Auskoppeleinrichtung (3) flexible und elektrisch leitfähige Borsten (7) aufweist.

5. Messanordnung nach Anspruch 4, wobei die Signal-Auskoppeleinrichtung (3) einen Vorratsbehälter zur Aufnahme einer elektrolytischen Flüssigkeit aufweist, die zum Befeuchten der Borsten (7) vorgesehen ist.

6. Messanordnung nach Anspruch 5, wobei die elektrolytische Flüssigkeit Wasser oder deionisiertes Wasser aufweist.

7. Messanordnung nach Anspruch 1, wobei die Signal-Auskoppeleinrichtung (3) einen Motor (10) aufweist, der die Signal-Auskoppeleinrichtung (3) über die Oberfläche der Deckschicht (5) bewegt, um die Deckschicht (5) zum Erkennen von Beschichtungsfehlern (BF) zu scannen.

8. Messanordnung nach Anspruch 7, wobei die räumlichen Koordinaten (x, y) der beweglichen Signal-Auskoppeleinrichtung (3) zusammen mit den Signalparametern des Messsignals in einem Speicher zu deren Auswertung gespeichert werden.

9. Messanordnung nach Anspruch 1, wobei die Signal-Einkoppeleinrichtung (2) einen elektrisch leitfähigen Saugnapf, einen leitfähigen Schaumgummi, eine leitfähige Rolle oder eine leitfähige Walze aufweist.

10. Messanordnung nach Anspruch 9, wobei die Signal-Einkoppeleinrichtung (2) zum Zwecke der Messung auf der zu isolierenden Deckschicht (5) oder auf der elektrisch leitfähigen Substratschicht (4) angebracht wird.

11. Verfahren zum zerstörungsfreien Detektieren von Beschichtungsfehlern (BF) bei einer elektrisch leitfähigen Substratschicht (4), die mit mindestens einer elektrisch isolierenden Deckschicht (5) beschichtet ist, mit den Schritten:

a) Einkoppeln (S1) eines Einkoppelsignals in die Substratschicht (4);

b) Auskoppeln (S2) eines Messsignals aus der Sub-

stratschicht (4) über die Deckschicht (5); und
c) Detektieren (S3) eines Beschichtungsfehlers (BF),
wenn eine Signalparameteränderung eines Signal-
parameters des ausgekoppelten Messsignals einen
einstellbaren Schwellenwert überschreitet.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei das Ein-
koppelsignal kapazitiv oder induktiv in die elektrisch
leitfähige Substratschicht (4) eingekoppelt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei das Ein-
koppelsignal durch ein gepulstes Gleichspannungs-
signal oder durch ein Wechsellspannungssignal mit
einstellbarer Frequenz gebildet wird.

14. Verfahren nach Ansprüchen 11 bis 13, wobei
die Koordinaten und eine Beschichtungsfehlerart ei-
nes erfassten Beschichtungsfehlers (BF) erfasst wer-
den.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei in Ab-
hängigkeit von der erkannten Art des Beschichtungs-
fehlers (BF) der jeweilige Beschichtungsfehler an-
schließend automatisch repariert wird.

16. Verfahren nach Anspruch 11, wobei ein zeitli-
cher Amplitudenverlauf des ausgekoppelten Messsi-
gnals erfasst wird und ein Beschichtungsfehler (BF)
erkannt wird, wenn eine Amplitudenänderung (ΔA)
einen einstellbaren Amplitudenschwellenwert über-
schreitet.

17. Verfahren nach Anspruch 11, wobei eine
Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung
des ausgekoppelten Messsignals erfasst wird und
ein Beschichtungsfehler (BF) erkannt wird, wenn
eine Phasenänderung ($\Delta\phi$) einen einstellbaren Pha-
senswellenwert überschreitet.

18. Verfahren nach Anspruch 11, wobei eine La-
de- und/oder Entladezeit eines RC-Gliedes, mit ei-
nem Kondensator, dessen Kapazität von der Schicht-
dicke der Deckschicht (5) beeinflusst wird, erfasst
wird und ein Beschichtungsfehler (BF) erkannt wird,
wenn eine Lade- und/oder Entladezeitänderung (Δt)
einen einstellbaren Zeitdauer-Schwellenwert über-
schreitet.

19. Verfahren nach Ansprüche 11 bis 18, wobei in
Abhängigkeit von der Signalparameteränderung eine
Dicke der Deckschicht (5) und eine Größe eines Be-
schichtungsfehlers (BF) berechnet werden.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1A

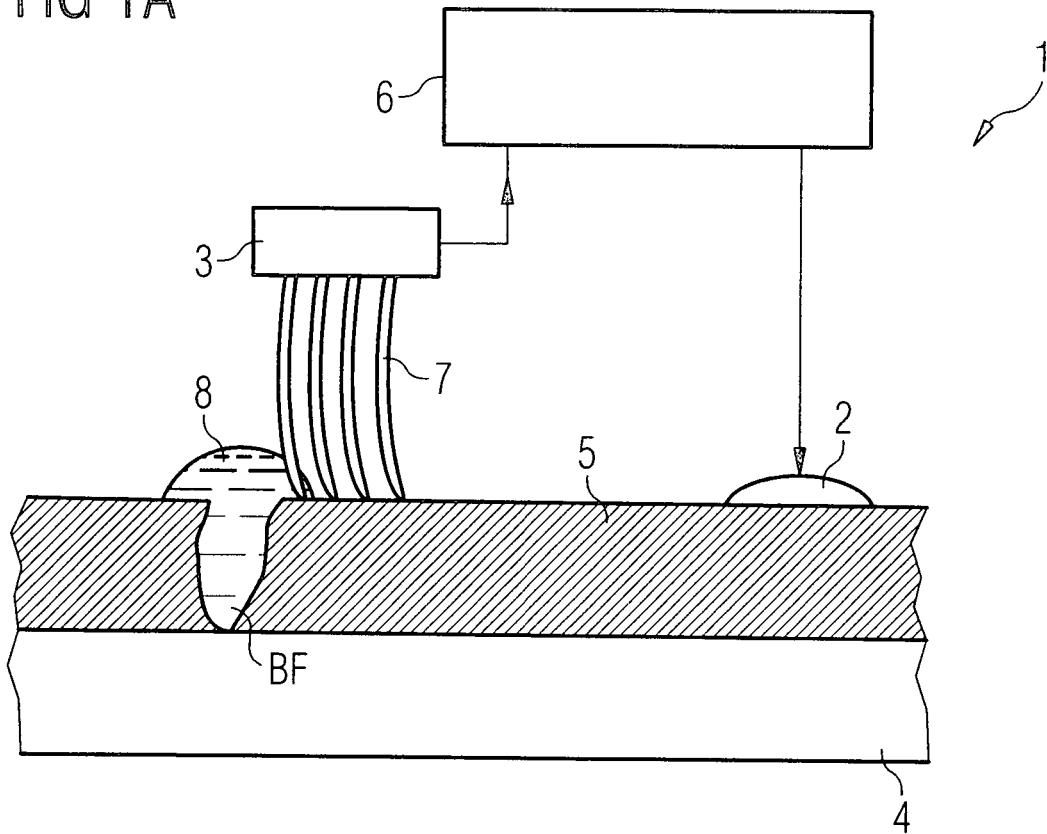


FIG 1B

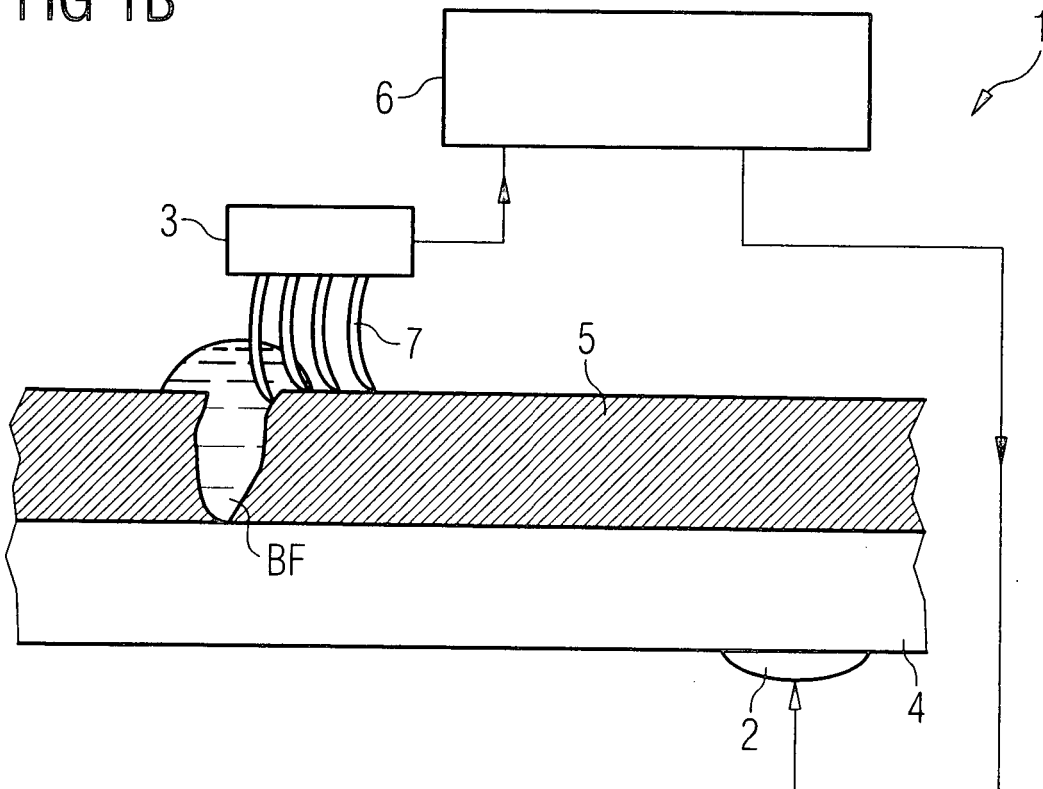


FIG 2A

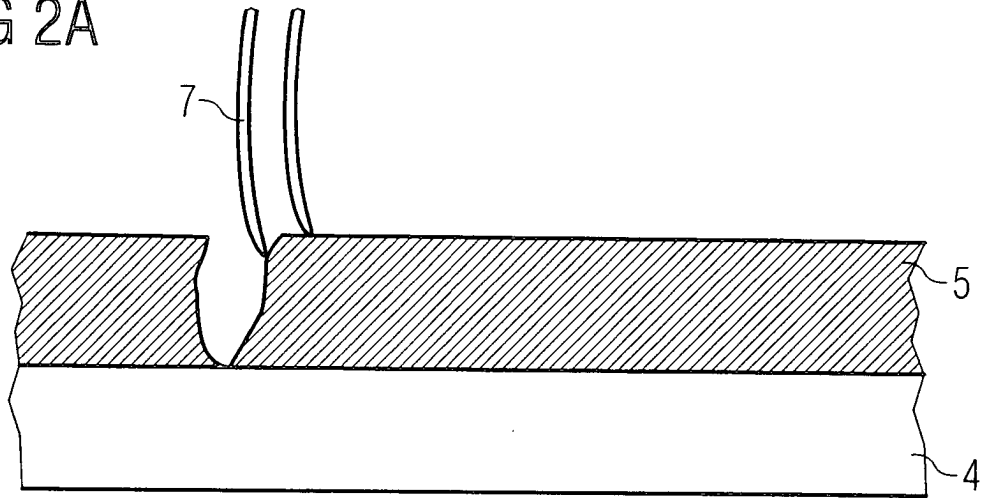


FIG 2B

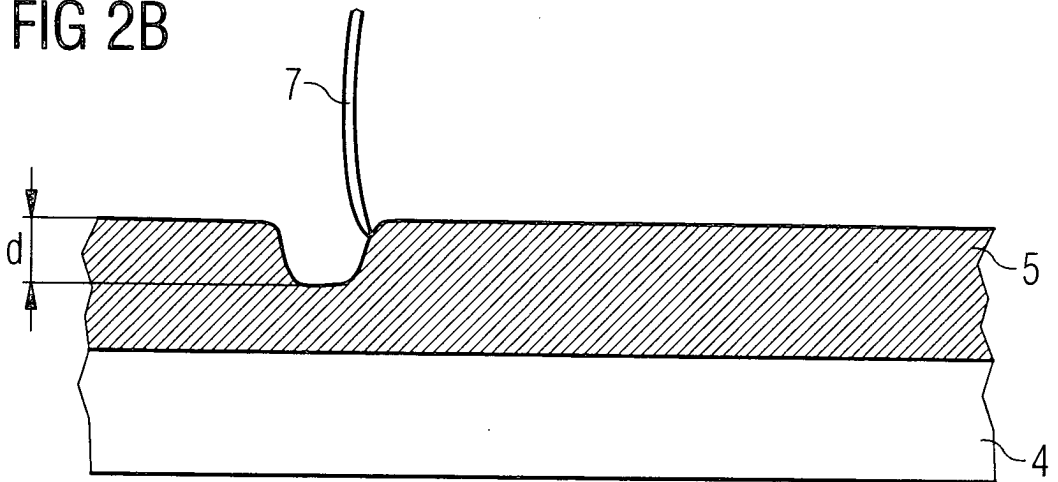


FIG 2C

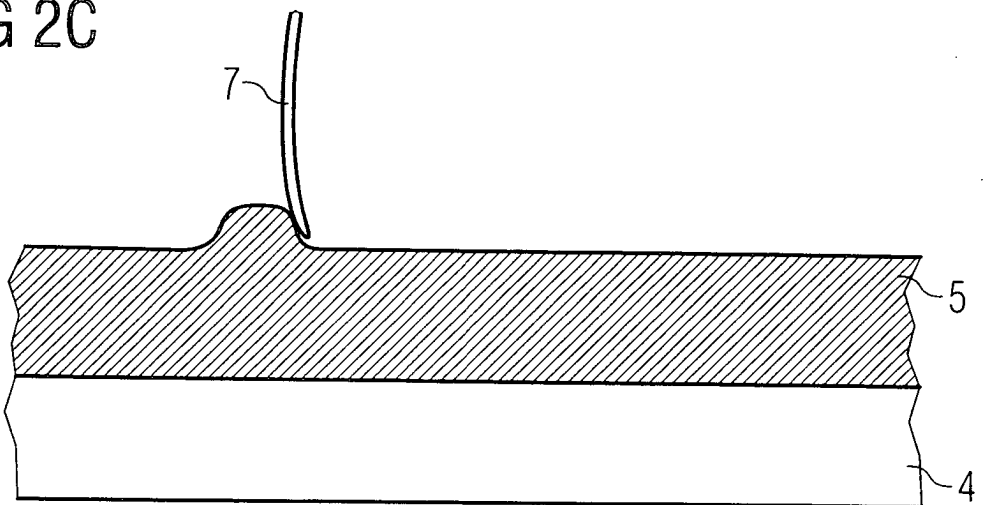


FIG 3A

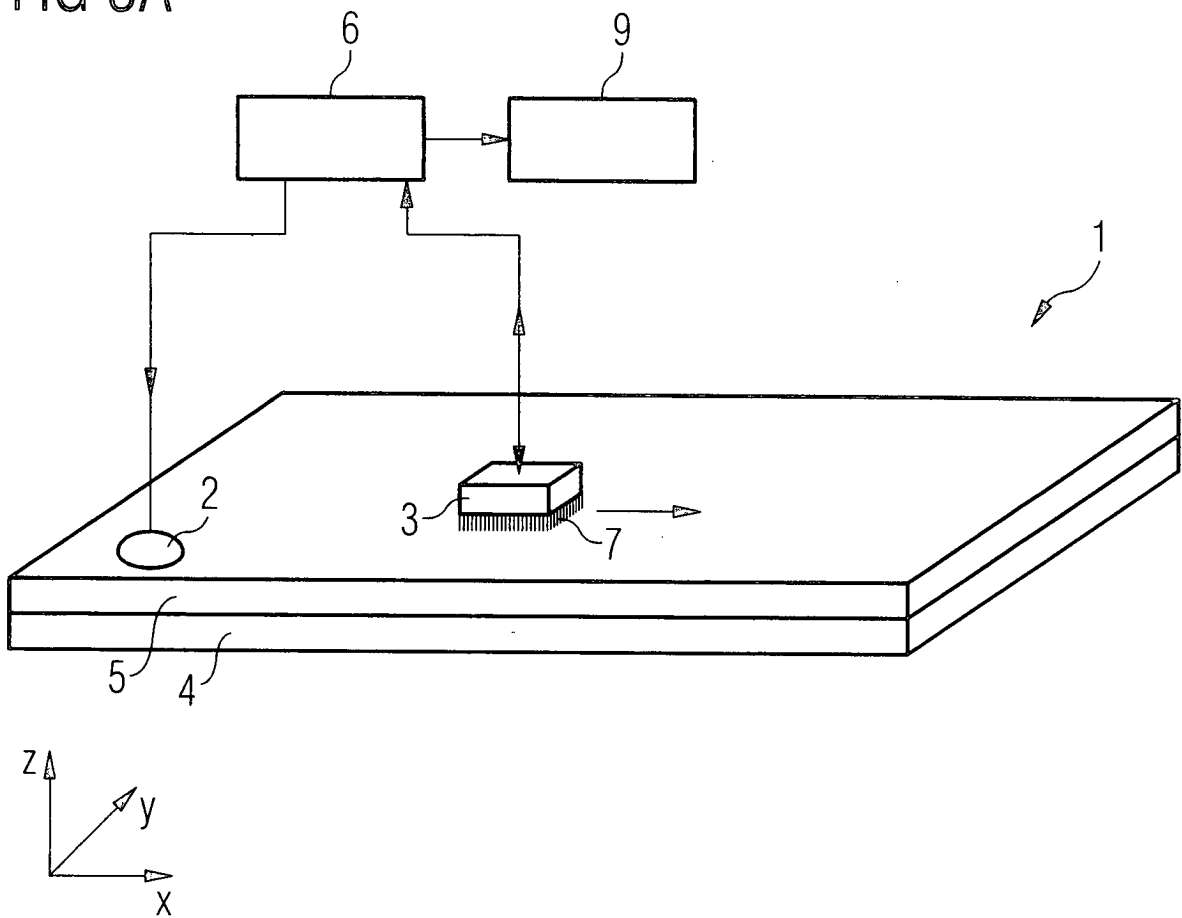


FIG 3B

BF	Koordinaten	BF-Art
1	x_1, y_1	L
2	x_2, y_2	E
⋮	⋮	⋮
N	x_N, y_N	L

FIG 4

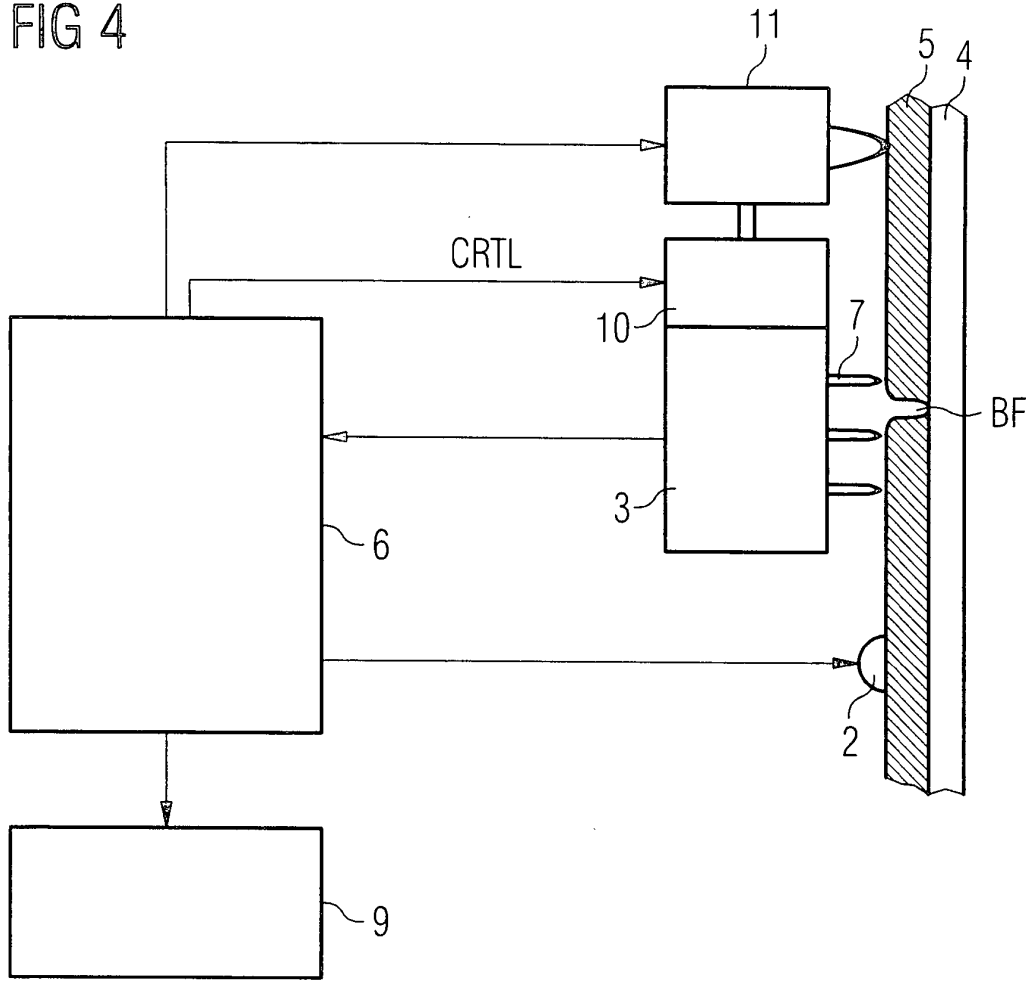


FIG 5

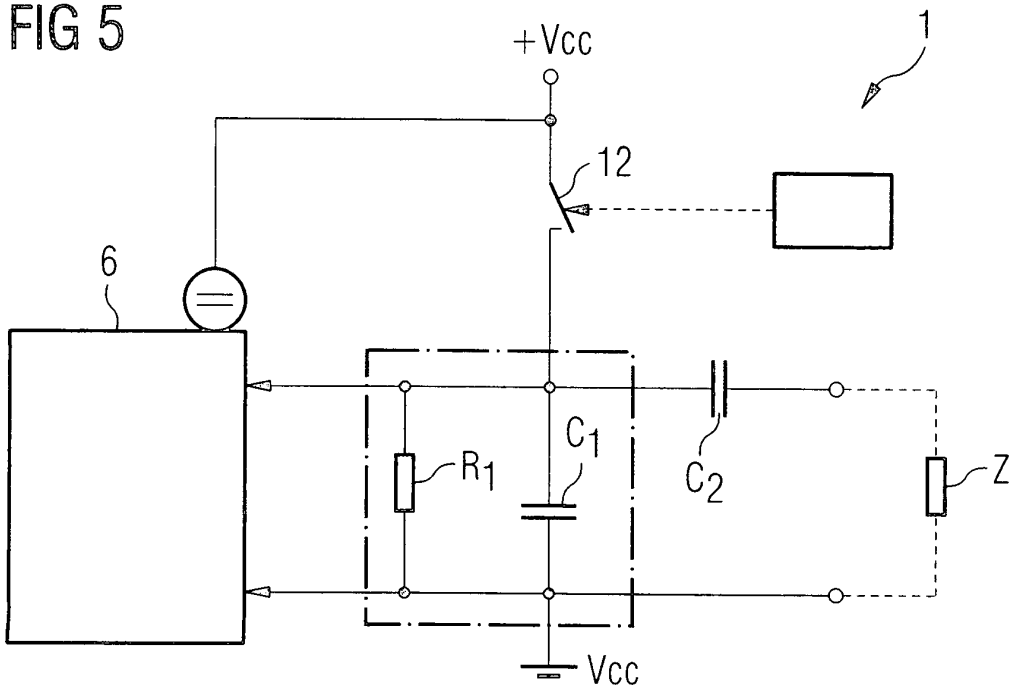


FIG 6

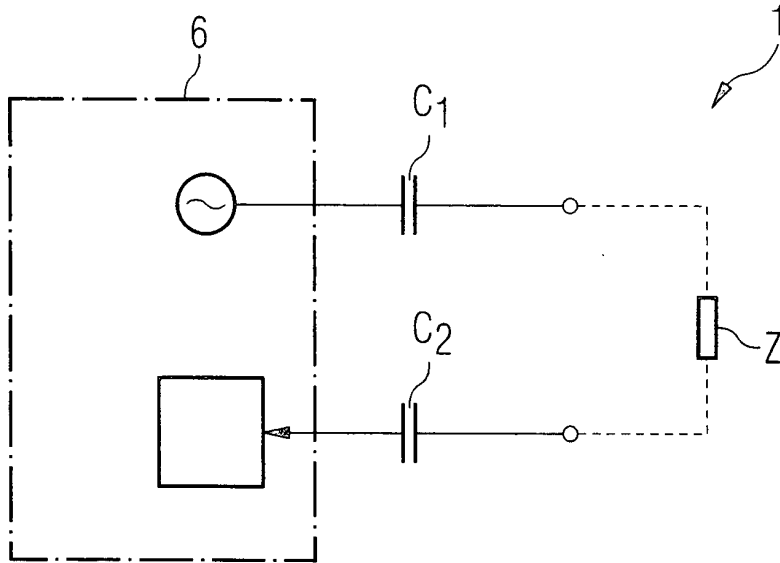


FIG 7

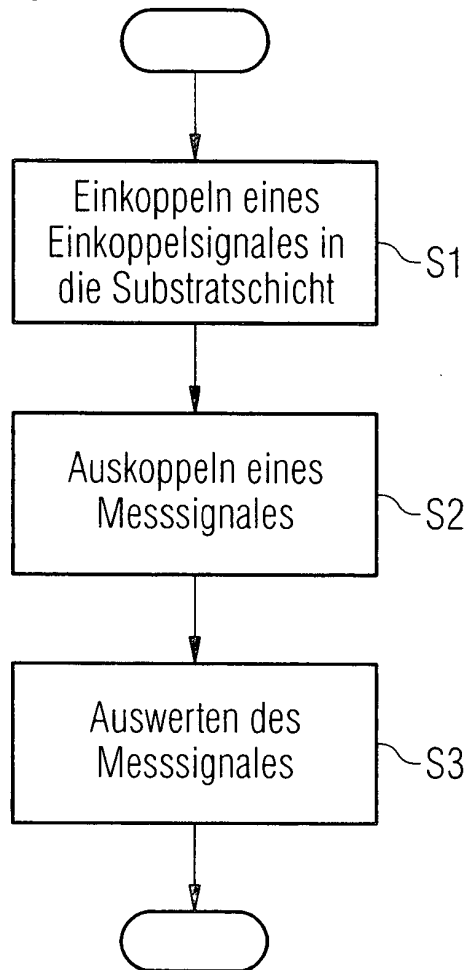


FIG 8

