(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2024 128 463 A1** 2026.04.02

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2024 128 463.3**
(22) Anmeldetag: **01.10.2024**
(43) Offenlegungstag: **02.04.2026**

(51) Int Cl.: ***B29C 64/118*** (2017.01)
B33Y 80/00 (2015.01)
B33Y 10/00 (2015.01)

(71) Anmelder:
Universität Bremen, Körperschaft des öffentlichen Rechts, 28359 Bremen, DE

(74) Vertreter:
WEIDNER STERN JESCHKE Patentanwälte Partnerschaft mbB, 28359 Bremen, DE

(72) Erfinder:
Bornemann, Sarah, 27442 Gnarrenburg, DE; Yicheng, Zhou, 28359 Bremen, DE; Björn, Lüssem, 28209 Bremen, DE; Jedermann, Reiner, 28205 Bremen, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

WO	**2012 / 175 323**	**A1**
CN	**1 18 050 408**	**A**

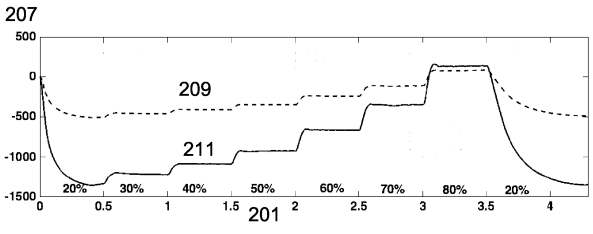
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Herstellen eines Sensormaterials und/oder eines Sensors mittels eines 3D-Druckers und Sensor zum Erfassen einer Messgröße**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Sensormaterials und/oder eines Sensors mittels eines 3D-Druckers mit folgenden Schritten:
- Fixieren eines Substrates auf einer Grundplatte des 3D-Druckers,
- 3D-Drucken eines Rahmens mittels eines Filamentes und des 3D-Druckers auf das Substrat,
- Aufbringen eines flüssigen sensorischen Schichtmaterials auf das Substrat innerhalb des Rahmens,
- Trocknen des flüssigen sensorischen Schichtmaterials zu einer sensorischen Schicht und
- Entfernen des Rahmens von dem Substrat, sodass ein Sensormaterial mit einer im Wesentlichen homogenen Schichtdicke und einem freistehenden Außenrand der sensorischen Schicht vorliegt. Des Weiteren betrifft die Erfindung einen Sensor zum Erfassen einer Messgröße.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Sensormaterials und/oder eines Sensors mittels eines 3D-Druckers. Des Weiteren betrifft die Erfindung einen Sensor zum Erfassen einer Messgröße, wobei der Sensor ein Substrat und zwei elektrische Kontakte aufweist.

[0002] Für die Fertigung eines Sensors ist es notwendig, eine sensorische Schicht auf ein Substrat aufzubringen. Hierzu sind allgemein Spin-Coating, Inkjet-Printing, Siebdruck, Soap-Coating und Drop-Casting zum Aufbringen bekannt. Zudem ist es bekannt, aus ökologischen Gründen Papier als Substrat zu verwenden. Die bekannten Verfahren zur Beschichtung von Substraten sind jedoch nur teilweise für Papiersubstrate geeignet und führen häufig nicht zu einer gleichmäßig geformten und ausreichend dicken Schicht des aufgetragenen sensorischen Materials, wodurch der gefertigte Sensor gegebenenfalls nicht eine ausreichende Sensitivität aufweist. Beim Soak-Coating eines Papiersubstrats liegt beispielsweise ein flächig vollgesogenes Papier vor, welches in einer undefinierten Sensorschichtdicke resultiert. Zudem lässt sich nur mit zusätzlichem Aufwand die äußere Geometrie des aufgetragenen sensorischen Materials begrenzen. Die Verwendung von Siebdruckverfahren führt zu definierten Strukturen auf einem Papiersubstrat, nachteilig bei diesem Verfahren ist jedoch die minimal benötigte Viskosität der Siebdruckpaste und eine Limitierung bezüglich der maximalen Schichtdicke. Klassisches Drop-Casting sowie auch Inkjet-Printing führen zu unregelmäßigen Schichten und ringförmigen Ablagerungen des aufgetragenen sensorischen Materials aufgrund eines Kaffeering-Effektes, welcher allgemein auftritt, wenn aus Tropfen von Lösungen oder kolloidalen Suspensionen auf festen Oberflächen das Lösungsmittel verdunstet.

[0003] Die US 2023/0296548 A1 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung eines Systems zur Messung einer Temperatur und Feuchtigkeit von Luft und Boden, bei welchem auf der Oberfläche eines Körpers aus biologisch abbaubarem, cellulosebasiertem Material mindestens ein kapazitiver Feuchtesensor und ein Widerstandstemperatursensor sowie zeitgleich ein Bus-System zur Datenübertragung aufgedruckt werden, wobei das Drucken durch eine Drucktechnik aus der Gruppe von Siebdruck, Schablonendruck, Flexodruck, Tintenstrahldruck, Mikrodosieren, Mikrosprühen und weiteren Verfahren erfolgt.

[0004] Aus der CN 118050408 A ist ein papierbasierter elektrochemischer Sensor zum schnellen Nachweis von Antibiotika vor Ort bekannt. Für die Herstellung wird eine hydrophobe Fläche und eine Reaktionsfläche auf einem Filterpapier vorbereitet, indem mittels eines Wachsdruckers Wachs aufgetragen und anschließend erwärmt wird, damit der Wachs schmilzt und in das Filterpapier eindringt, um eine hydrophobe Barriere auszubilden. Anschließend wird mittels Siebdruck eine Arbeitselektrode, eine Gegenelektrode und eine Referenzelektrode auf der Reaktionsfläche aufgetragen.

[0005] Die IN 202311047380 A betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines multifunktionalen elektrochemischen papierbasierten Sensors, bei welchem nach Aufsprühen und Trocknen einer feuerhemmenden Lösung auf eine Papiermatrix anschließend eine auf 65 °C erwärmte Paraffinwachslösung gezielt in einer gleichmäßigen Verteilung auf die Oberfläche der feuerhemmenden Papiermatrix aufgetragen und bei 110 °C für 10 Minuten ausgehärtet wird. Anschließend wird ein Drei-Elektroden-Muster durch Lasergravur in die hydrophobe Papiermatrix eingebracht und darin eine Oberfläche der Referenzelektrode mit chlorierter Silberpaste beschichtet und ausgehärtet. Die wachsmodifizierte Oberfläche behält ihre Hydrophobie bei, welche ein wichtige Anforderung an den gefertigten Sensors für eine Messung in flüssigen Proben ist.

[0006] US 2022/0003682 A1 beschreibt einen Sensor zum Nachweis eines Analyten mit einem porösen, planaren Substrat, wie Papier, Nitrocellulose und/oder Nylon, und mindestens einer photolumineszierenden Nanostruktur auf oder eingebettet innerhalb des porösen planaren Substrats. Bei der Herstellung kann ein Wachsdruckverfahren zur Strukturierung von Nanosensoren auf Nitrocellulose verwendet werden, bei dem ein Wachs auf die Nitrocellulose mittels eines Wachsdruckers gedruckt und anschließend thermisch wieder aufgeschmolzen wird, damit der Wachs in die Poren der Nitrocellulose eindringt und eine hydrophobe Barriere bildet. In diese hydrophobe Wachsbarriere wird beim Drop-Casting ein Tropfen Sensorlösung gegeben, welches zu einer gleichmäßigeren Verteilung und anpassbaren Abmessung für den Sensorbereich führen soll.

[0007] WO 2020/182830 A1 betrifft eine siebgedruckte Elektrode auf Papierbasis zur Messung von freiem Chlor, bei deren Herstellung zunächst auf einem Papierblatt ein hydrophober Bereich mittels eines Wachsdruckers aufgedruckt wird, in dessen Inneren ein hydrophiler Bereich vorhanden ist. Das gewachste Papierblatt wird anschließend in einem Ofen bei 100 °C behandelt. Nachfolgend wird mindestens eine Elektrode auf den hydrophilen Bereich unter Verwendung von silber- oder graphithaltiger Tinte aufgedruckt und die mindestens eine Elektrode anschließend funktionalisiert.

[0008] WO 2017/040947 A1 offenbart ein Verfahren zum Herstellen eines sensorischen Materials, wobei ein Substrat mit einer Cellulosematrix, welche eine

miteinander verbundene poröse Struktur ausbildet, bereitgestellt wird und eine hydrophobe Barriere über eine gesamte Dicke des Substrats verteilt ist, um einen porösen Kanal innerhalb des Cellulosevolumens zu definieren. Ein elektrisch leitendes Material ist innerhalb des Volumens innerhalb des porösen Kanals angeordnet, um die sich darin befindende Cellulosematrix zu beschichten. Die voluminöse, hydrophobe Barriere kann aus einem Wachs, einem duroplastischen Harz oder einem UV-gehärteten Harz bestehen. Bei dem elektrisch leitfähigen Material kann es sich um Poly(3,4-etyhlendioxythiophen)polystyrolsulfonat (PEDOT:PSS) und bei dem chemischen Reagenz um Polyethylenimin (PEI) handeln.

[0009] Nachteilig bei bekannten Verfahren ist, dass bei Aufbringen eines Wachses und nachfolgendem Erwärmen der Wachs in die Struktur des papier- und/oder cellulosebasierten Substrates eindringt und somit die Eigenschaft des Substrates verändert. Diese Hydrophobierung des Substrates führt zu einer schlechten Anbindung, vor allem an hydrophile Materialien, in denen der gefertigte Sensor eingesetzt werden soll. Dadurch, dass der Wachs gezielt durch Aufschmelzen in das jeweilige Substrat eindringt, verändert dieser nicht nur die Eigenschaft des gesamten Substrates, sondern vermindert auch dessen ökologische Kompatibilität und verhindert somit ein Recycling nach Ende der Lebensdauer des Sensors.

[0010] Aufgabe der Erfindung ist es, den Stand der Technik zu verbessern.

[0011] Gelöst wird die Aufgabe durch ein Verfahren zum Herstellen eines Sensormaterials und/oder eines Sensors mittels eines 3D-Druckers mit folgenden Schritten:

- Fixieren eines Substrates auf einer Grundplatte des 3D-Druckers,
- 3D-Drucken eines Rahmens mittels eines Filamentes und des 3D-Druckers auf das Substrat,
- Aufbringen eines flüssigen sensorischen Schichtmaterials auf das Substrat innerhalb des Rahmens,
- Trocknen des flüssigen sensorischen Schichtmaterials zu einer sensorischen Schicht und
- Entfernen des Rahmens von dem Substrat,

sodass ein Sensormaterial mit einer im Wesentlichen homogenen Schichtdicke und einem freistehenden Außenrand der sensorischen Schicht vorliegt.

[0012] Es ist besonders vorteilhaft, dass mittels des Verfahrens ein Sensormaterial gefertigt wird, welches nicht nur über seine gesamte Fläche und vor allem auch am Außenrand eine homogene Schichtdicke aufweist, sondern auch einen freistehenden Außenrand mit einer definiert geformten Geometrie. Dadurch ist sowohl das Sensormaterial an dem freistehenden Außenrand als auch das Substrat einfacher und besser sowohl räumlich als auch materialtechnisch an ein messtechnisch zu überwachendes Material und/oder Messgut anbindbar. Dadurch, dass der Rahmen auf das Substrat aufgebracht, jedoch nach Ausbilden der sensorischen Schicht wieder vom Substrat entfernt wird, werden vorteilhaft die Materialeigenschaften des Substrates nicht verändert. Somit stellt der Rahmen eine räumliche Begrenzung für das in seinem Inneren auf dem Substrat aufgebrachte flüssige sensorische Schichtmaterial dar, verändert jedoch weder die Materialeigenschaften des flüssigen sensorischen Schichtmaterials, noch des Substrates.

[0013] Durch die gute, definierte räumliche und materialtechnische Anbindung des Sensormaterials und/oder des Sensors an ein zu überwachendes Material sowie aufgrund der homogenen Schichtdicke wird die Sensitivität des Sensors und somit die Repräsentanz und Reproduzierbarkeit der Messung verbessert. Zudem werden mit dem erfinderischen Verfahren deutlich größere, definierte Schichtdicken mit einer gleichmäßigen Verteilung der sensorischen Schicht auch am Außenrand frei von einem Kaffeering-Effekt gegenüber bekannten Verfahren nach dem Stand der Technik ermöglicht.

[0014] Es ist besonders vorteilhaft, dass die sensorische Schicht auf dem Substrat beliebig in ihrer Form, Schichtdicke und/oder Größe skaliert fertigbar ist.

[0015] Dadurch, dass die sensorische Schicht auf dem Substrat freistehend ist und einen definierten geometrisch geformten Außenrand aufweist, ist in einfacher Weise eine flexible Weiterfertigung zu einem Sensor, beispielsweise durch Kontaktierung mittels Elektroden, und/oder Einbindung in ein Messgut realisierbar.

[0016] Somit wird ein Sensormaterial und/oder Sensor bereitgestellt, welcher trotz kleiner Abmessungen von wenigen Millimetern aufgrund der homogenen Sensorschicht eine hohe Sensitivität, eine Kosteneffizienz in der Fertigung und eine Kompatibilität mit dem zu untersuchenden Messgut und optional mit zusätzlich verwendeten Materialprüfungsverfahren, wie beispielsweise einer Strukturüberwachung mittels Ultraschall, bereitstellt.

[0017] Ein wesentlicher Gedanke der Erfindung beruht darauf, bei dem Herstellen eines Sensormaterials mittels eines aufgedruckten umlaufenden Rahmens auf dem Substrat einen begrenzten Raum zum Aufnehmen und Trocknen des flüssigen sensorischen Schichtmaterials bereitzustellen und

durch die Begrenzung mittels des Rahmens eine homogene Verteilung des flüssigen Sensorschichtmaterials innerhalb des Rahmens und somit eine homogene Ausbildung der Schichtdicke der sensorischen Schicht sowie eine definierte Ausformung des Außenrandes der sensorischen Schicht zu ermöglichen. Dadurch, dass der Rahmen nach dem Trocknen zu der sensorischen Schicht vom Substrat und somit von den seitlichen Außenwänden der sensorischen Schicht entfernt wird, weist die sensorische Schicht einen freistehenden Außenrand und freistehende Seitenwände auf dem Substrat auf. Aufgrund der definierten Außengeometrie der gefertigten sensorischen Schicht ist das vorliegende Sensormaterial sowohl räumlich als auch materialtechnisch gut anbindbar und weiterverarbeitbar.

[0018] Folgendes Begriffliche sei erläutert:

[0019] Ein „Sensor“ (auch „Messaufnehmer“ genannt) ist insbesondere ein technisches Bauteil, mit welchem physikalische, chemische und/oder stoffliche Eigenschaften qualitativ oder quantitativ erfasst werden können. Der Sensor stellt eine erfasste Messgröße insbesondere als ein weiterverarbeitbares elektrisches Signal bereit. Bei einem Sensor kann es sich prinzipiell um jegliche Art von Sensor handeln. Ein Sensor kann beispielsweise ein aktiver oder ein passiver Sensor sein. Bei einem Sensor kann es sich beispielsweise um einen Temperatur-, einen Feuchtigkeitssensor und/oder um einen Dehnungsmesssensor handeln.

[0020] Eine „sensorische Schicht“ ist insbesondere eine feste Schicht mit im Wesentlichen homogener Schichtdicke eines Materials, welches seine Eigenschaft, insbesondere seine elektrische Eigenschaft, in Abhängigkeit von einer Veränderung einer Messgröße ändert. Im Falle eines Temperatursensors wird insbesondere eine sensorische Schicht verwendet, deren Widerstand als elektrische Eigenschaft sich mit der Temperatur ändert. Die sensorische Schicht weist insbesondere eine Schichtdicke in einem Bereich von 0,5 bis 20 µm, bevorzugt von 3 bis 15 µm auf. Die sensorische Schicht ist insbesondere durch homogenes Aufbringen eines flüssigen sensorischen Schichtmaterials in den Innenraum des Rahmens auf dem Substrat und durch anschließendes Trocknen gefertigt. Bei dem flüssigen sensorischen Schichtmaterial handelt es sich insbesondere um einen Halbleiter. Das flüssige sensorische Schichtmaterial weist insbesondere Wasser und/oder ein Lösungsmittel auf. Die Wasser- und/oder Lösungsmittelbasis verdunstet insbesondere beim Trocknen des flüssigen sensorischen Schichtmaterials, sodass eine feste sensorische Schicht vorliegt. Bei dem flüssigen sensorischen Schichtmaterial kann es sich um jegliche Art von organischen und/oder anorganischen Leitern oder Halbleitern handeln. Das flüssige sensorische Schichtmaterial ist insbesondere mit dem Substrat und/oder dem Rahmen kompatibel und führt nicht zu wesentlichen Veränderungen der jeweiligen Materialeigenschaften. Bei dem flüssigen sensorischen Schichtmaterial kann es sich beispielsweise um Poly(3,4-etyhlendioxythiophen)polystyrolsulfonat (PEDOT:PSS) handeln. Ebenso kann es sich beispielsweise bei einem flüssigen sensorischen Schichtmaterial um einen flüssigen Halbleiterwerkstoff aus den Elementargruppen II und VI handeln, bei denen die entsprechenden Nanopartikel in stabiler Lösung vorliegen. In Abhängigkeit der Rahmengröße kann beispielsweise das flüssige sensorische Schichtmaterial mit einem Volumen in einem Bereich von 1,0 µl bis 200 µl, insbesondere von 5,0 µl bis 150 ul, bevorzugt von 10 µl bis 50 µl, auf das Substrat aufgebracht werden. Das aufzubringende Volumen ist skalierbar und hängt insbesondere von der Rahmenstruktur, und somit von der Fläche innerhalb des Rahmens, der zu erreichenden Schichtdicke und der Rahmenhöhe, ab.

[0021] Prinzipiell kann das Aufbringen des flüssigen sensorischen Schichtmaterials mit jeglicher Dosiereinrichtung erfolgen. Das Aufbringen kann beispielsweise mittels einer Membran- und/oder Mikrodosierpumpe oder einer Pipette durchgeführt werden. Beim Pipettieren als Aufbringen kann die Pipette insbesondere manuell oder automatisch betätigt werden. Das Trocknen des flüssigen sensorischen Schichtmaterials zu einer sensorischen Schicht kann beispielsweise in einem Ofen oder auf einer Heizplatte erfolgen. Im Falle von PEDOT:PSS als flüssiges sensorisches Schichtmaterial erfolgt beispielsweise ein Trocknen bei 90 °C für 30 Minuten. Die Trocknungstemperatur und die Trocknungsdauer sind insbesondere derart gewählt, dass das wasserbasierte und/oder organische Lösungsmittel aus dem flüssigen sensorischen Schichtmaterial vollständig verdampft ist. Nach dem Trocknen kann optional auf die gefertigte sensorische Schicht ein weiteres flüssiges sensorisches Schichtmaterial innerhalb des Rahmens aufgebracht werden. Bei dem weiteren flüssigen sensorischen Schichtmaterial kann es sich um das gleiche flüssige sensorische Schichtmaterial oder um ein anderes Material handeln. Das weitere flüssige sensorische Schichtmaterial kann beispielsweise auch andersartig frei von einer Dosiereinrichtung und/oder Pipette beispielsweise durch Aufsprühen aufgebracht werden. Ebenso kann eine weitere Schicht, vor allem wenn diese sehr dünn ist und nicht als größeres Flüssigvolumen vorliegt, auch nach dem Entfernen des Rahmens auf die feste sensorische Schicht aufgesprüht, aufgestrichen oder andersartig aufgetragen werden.

[0022] Unter einem „Außenrand“ wird insbesondere die begrenzende Kante und/oder der umlaufende Rand der sensorischen Schicht verstanden, welche oder welcher nach außen weist. Der Außenrand ist insbesondere im Übergang zwischen der Oberfläche

der sensorischen Schicht und ihren jeweiligen Seitenwänden angeordnet. Der Außenrand und/oder die Seitenwände sind insbesondere freistehend. Unter „freistehend“ wird verstanden, dass nach Entfernen des Rahmens von dem Substrat der Außenrand und/oder die Seitenwände der sensorischen Schicht nicht von einem anderen festen Material umgeben sind. Der freistehende Außenrand und/oder die Seitenwände sind direkt nach Entfernen des Rahmens insbesondere von der Umgebungsluft und/oder einer Reinraumluft umgeben.

[0023] Ein „Substrat“ ist insbesondere ein Träger für das flüssige sensorische Schichtmarerial und die daraus gebildete feste sensorische Schicht. Bei dem Substrat kann es sich prinzipiell um jegliches Material handeln, welches mit dem flüssigen sensorischen Schichtmaterial und dem Material des Rahmens kompatibel ist. Bei dem Substrat handelt es sich insbesondere um einen flächigen Werkstoff und/oder ein flächiges Material. Bei dem Substrat kann es sich prinzipiell um einen natürlichen Stoff und/oder einen künstlich hergestellten Stoff handeln. Das Substrat kann beispielsweise Papier, Pappe, Holz, Holzlaminat, Kunststoff, biobasierten Kunststoff und/oder einen Faserstoff aufweisen. Ebenso kann prinzipiell als Substrat eine glatte und/oder beschichtete Glasplatte eingesetzt werden. Das Substrat kann beispielsweise eine Schichtdicke in einem Bereich von 0,5 bis 500 um, insbesondere von 3 µm bis 300 µm, bevorzugt von 50 µm bis 250 µm, aufweisen. Die Schichtdicke des jeweiligen Substrats hängt jedoch auch von den jeweiligen Eigenschaften des Substrats, beispielsweise seiner Steifheit und Biegefestigkeit, ab.

[0024] Prinzipiell können auf dem Substrat zeitgleich und/oder nacheinander auch zwei oder mehrere Rahmen gedruckt und somit zwei oder mehrere Schichtmaterialien und/oder Sensoren hergestellt werden. Die derart hergestellten zwei oder mehreren Sensoren können anschließend einzeln für unterschiedliche Messaufgaben verwendet werden, indem das Substrat entsprechend vor der Verwendung zerschnitten wird. Ebenso können auch zwei oder mehrere Sensoren für gleiche oder unterschiedliche Messaufgaben gleichzeitig auf dem Substrat eingesetzt und/oder untereinander elektrisch und/oder messtechnisch verbunden sein.

[0025] Unter „3D-Drucker“ wird insbesondere eine Vorrichtung verstanden, mit welcher ein schichtweiser Auftrag eines Materials erfolgt, um eine dreidimensionale Struktur und/oder einen Gegenstand zu erzeugen. Ein Drucken mit einem 3D-Drucker ist insbesondere ein generatives und/oder additives Fertigungsverfahren. Der 3D-Drucker weist insbesondere neben einer Bedieneinheit mit Steuerung einen Druckkopf (Extruder) und eine Druckplatte auf. Ein Filament als Auftragsmaterial wird insbesondere im 3D-Drucker aufgeschmolzen und mittels des Druckkopf schichtweise auf das Substrat aufgetragen, wobei das geschmolzene Filament insbesondere durch die Drucker- und/oder Extruderdüse extrudiert wird.

[0026] Unter „Extrudieren“ wird insbesondere ein Vorschieben und/oder Pressen des geschmolzenen Filaments durch die Extruderdüse verstanden.

[0027] Im Gegensatz zu einem konventionellen 3D-Drucken wird das geschmolzene Filament nicht auf die Grund- und/oder Bauplatte des 3D-Druckers, sondern direkt auf das auf der Grundplatte fixierte Substrat schichtweise aufgetragen und/oder gedruckt. Für das 3D-Drucken und/oder Schmelzschichtauftragen fährt der 3D-Druckkopf wiederholt mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit jeweils zeilenweise eine Arbeitsebene zum Aufbau des Rahmens ab und die Arbeitsebene wird stapelnd nach oben verschoben, sodass eine Form des Rahmens schichtweise entsteht.

[0028] Unter einem „Filament“ wird insbesondere das aufzudruckende Material zum Fertigen des Rahmens verstanden. Das Filament weist vor dem Schmelzen insbesondere eine sehr viel größere Abmessung in seiner Länge im Verhältnis zu seinem Querschnitt auf. Bei dem Filament handelt es sich insbesondere um eine einzige Faser oder mehrere Fasern beliebiger Länge. Bei dem Filament kann es sich insbesondere auch um ein Druckfilament und/oder einen einzelnen Strang handeln. Das Filament kann insbesondere einen Kunststoff und/oder ein Polymer, ein Metall, eine Metalllegierung oder Glas oder eine Mischung dieser und weiterer Materialien aufweisen. Bei dem Filament handelt es sich insbesondere um einen thermoplastischen Kunststoff. Bei dem Filament kann es sich insbesondere um modifiziertes Polyethylenterephthalat handeln. Beispielsweise weist das Filament Polyethylenterephthalat-Glycol (PET-G) auf. Das Filament weist insbesondere einen Durchmesser von 0,4 bis 4,0 mm, bevorzugt von 1,5 bis 2,0 mm, auf. Das Filament ist insbesondere materialkompatibel mit dem flüssigen sensorischen Schichtmaterial und dessen enthaltenen Lösungsmittel.

[0029] Ein „Rahmen“ ist insbesondere eine Einfassung und/oder umlaufende geschlossene Fassung. Der Rahmen ist insbesondere durch 3D-Drucken mit seiner Unterseite an der Oberseite des Substrates verbunden. Der Rahmen stellt insbesondere in seinem Inneren ein Volumen zum Auf- und/oder Einbringen des flüssigen sensorischen Schichtmaterials bereit. Nach Auf- und/oder Einbringen des flüssigen sensorischen Schichtmaterials liegt dieses insbesondere an den Innenseiten des Rahmens an und auf dem Substrat innerhalb des Rahmens auf. Der Rahmen kann prinzipiell jegliche Form, wie beispielsweis

quadratisch, rechteckig, rund, oval, dreieckig und/oder mehreckig, aufweisen. Der Rahmen weist insbesondere eine Höhe auf, welche höher als eine Höhe des aufgebrachten flüssigen sensorischen Schichtmaterial und/oder weiter aufgebrachte Schichten ist. Der Rahmen weist insbesondere eine Breite in einem Bereich von 0,3 mm bis 2,0 mm, bevorzugt von 0,5 mm bis 1,5 mm, auf. Die Höhe des gefertigten 3D-Rahmens wird insbesondere bei einer Vorbereitung einer Druckdatei jeweils an das ein- und/oder aufzubringende Volumen des flüssigen sensorischen Schichtmaterials und somit der Schichtdicke der sensorischen Schicht angepasst. Bevorzugt ist die Höhe des Rahmens jedoch nur geringfügig größer als das aufzubringende sensorische Schichtmaterial, damit das Aufbringen und/oder der Drop-Casting-Prozess nicht behindert wird. Der Rahmen kann insbesondere als Innenabmessung eine Länge und/oder eine Breite jeweils in einem Bereich von 0,5 mm bis 20,0 mm, insbesondere von 5,0 mm bis 15,0 mm, aufweisen. Beispielsweise kann der Rahmen die Abmessungen von 5,0 mm × 5,0 mm (L:B) oder 1,0 mm × 1,0 mm als Innenabmessung aufweisen, sodass die gefertigte sensorische Schicht geringfügig kleiner ist. Bevorzugt weist der Rahmen über seine Höhe dieselbe Materialbreite auf. Der Rahmen kann jedoch auch über seine Höhe und/oder in seiner Breite spezifisch geformt sein. Beispielsweise kann die Breite des Rahmens von der Unterseite zur Oberseite des Rahmens zunehmen oder abnehmen. Ebenso kann der Rahmen insbesondere im oberen Bereich spezifische Strukturierungen, wie beispielsweise wellenförmige Einbuchtungen, aufweisen, um beispielsweise eine Verteilung des flüssigen sensorischen Schichtmaterials zu unterstützen und/oder der sensorischen Schicht eine bestimmte Form aufzuprägen.

[0030] Zusätzlich kann um den Rahmen zum Aufnehmen des flüssigen sensorischen Schichtmaterials zeitgleich oder nachfolgend mittels 3D-Drucken auch ein zweiter Rahmen oder weitere Rahmen beabstandet gedruckt werden. Somit können mehrere Sensoren auf einem Substrat gefertigt werden. Ebenso kann ein Rahmen den anderen Rahmen umgeben und zwischen beiden Rahmen ein weiteres Material eingebracht und/oder getrocknet werden. Durch ein derartiges zweites Material kann eine seitliche Anbindung der Sensorschicht gezielt beeinflusst und/oder verbessert werden, falls eine optimale Anbindung des Materials der Sensorschicht selbst an das Material des Messgutes nicht gegeben ist.

[0031] Unter „Entfernen“ wird insbesondere verstanden, dass der Rahmen von der Oberfläche des Substrates und/oder den Seitenwänden der getrockneten, sensorischen Schicht, insbesondere vollständig und rückstandslos, weggenommen wird. Das Entfernen des Rahmens erfolgt insbesondere einstückig als ganzer Rahmen. Bevorzugt sind die Materialeigenschaften des Rahmens sowie des Substrates und der sensorischen Schicht derart gewählt, dass der Rahmen sich einfach von der Oberseite des Substrates und den Seitenwänden der sensorischen Schicht abziehen lässt, sodass die innenliegende sensorische Schicht formstabil und unbeschädigt bleibt. Jedoch kann auch ein Werkzeug verwendet werden, um den Rahmen vom Substrat abzuheben und/oder zu entfernen. Dazu kann beispielsweise mittels eines Spachtels zwischen der äußeren Unterseite des Rahmens und der Oberseite des Substrates der Rahmen partiell vom Substrat abgehoben und anschließend möglichst ohne weiteren Kontakt des Spachtels mit der sensorischen Schicht der Rahmen vom Substrat abgehoben werden. Das Entfernen des Rahmens erfolgt insbesondere nach vollständigem Abkühlen der sensorischen Schicht und/oder des Sensormaterials.

[0032] In einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens wird beim und/oder nach dem Aufbringen eine Oberflächenspannung des flüssigen sensorischen Schichtmaterials gebrochen, sodass das flüssige sensorische Schichtmaterial im Wesentlichen homogen innerhalb des Rahmens verteilt ist.

[0033] Das Brechen der Oberfläche und/oder der Oberflächenspannung des flüssigen sensorischen Schichtmaterials wird insbesondere durchgeführt, wenn ein geringes Volumen und somit eine geringe Schichthöhe des auf- und/oder eingebrachten flüssigen sensorischen Materials im Verhältnis zur Höhe des Rahmens und somit des vom Rahmen umfassten inneren Volumens vorliegt, um das flüssige sensorische Schichtmaterial bis an das Innere des Rahmens zu verteilen. Zudem kann durch Brechen der Oberflächenspannung auch eine Meniskusbildung des flüssigen sensorischen Schichtmaterials an der Innenseite des Rahmens verhindert werden.

[0034] Unter „Brechen“ und „gebrochen“ wird insbesondere verstanden, dass auf die Oberfläche des flüssigen sensorischen Schichtmaterials mechanisch eingewirkt wird. Beispielsweise wird die Oberfläche des flüssigen sensorischen Schichtmaterials durchstochen und/oder das flüssige sensorische Schichtmaterials gerührt. Dadurch wird der Oberflächenspannung und somit der Tendenz des flüssigen sensorischen Schichtmaterials, seine Oberfläche klein zu halten, entgegengewirkt. Zum Brechen der Oberflächenspannung und/oder Oberfläche des flüssigen sensorischen Schichtmaterials kann beispielsweise ein Stab und/oder die zuvor zum Aufbringen verwendete Pipette in die Flüssigkeit eingetaucht werden. Ebenso kann ein Rührer in das flüssige sensorische Schichtmaterial eingebracht oder die Grundplatte des 3D-Druckers bewegt werden.

[0035] Unter „im Wesentlichen homogen innerhalb des Rahmens verteilt“ wird insbesondere verstanden, dass das flüssige sensorische Schichtmaterial eine annähernd gleiche Flüssigkeitshöhe innerhalb des Rahmens auf dem Substrat aufweist. Somit sind gewisse Abweichungen zwischen der Flüssigkeitshöhe des flüssigen sensorischen Schichtmaterials und der Schichtdicke der später getrockneten sensorischen Schicht möglich und tolerierbar.

[0036] Um eine elektrisch leitende sensorische Schicht bereitzustellen und bei deren Fertigung eine einfache Handhabung und flexible Formgebung sowie gute Materialverträglichkeiten zu erreichen, kann als flüssiges sensorisches Schichtmaterial ein organischer Halbleiter, insbesondere Poly(3,4-ethylendioxythiophen)polystyrol-sulfonat, verwendet werden.

[0037] Die Verwendung von PEDOT:PSS ist insbesondere vorteilhaft, da dieses als einsatzfertige wässrige Suspension zur Verfügung steht. Zudem kann durch Zugabe von hochsiedenden Lösungsmitteln, wie Dimethylsulfoxid oder Ethylenglycol, die Leitfähigkeit der PEDOT:PSS-Flüssigkeit gezielt weiter erhöht werden.

[0038] In einer weiteren Gestaltungsform des Verfahrens wird als Substrat ein Substrat aufweisend einen pflanzenbasierten Stoff und/oder eine Faser verwendet.

[0039] Dadurch wird einerseits ein gutes Anhaften und/oder eine beständige Verbindung zwischen der gefertigten sensorischen Schicht und der Oberseite des Substrats gewährleistet, und andererseits sichergestellt, dass der Rahmen sich in einfacher Weise wieder von der Oberfläche des Substrates entfernen lässt.

[0040] Bei einem „pflanzenbasierten Stoff“ kann es sich um jegliche Art eines natürlichen, pflanzlichen Stoffes und/oder Biopolymers, wie beispielsweise um Cellulose, Lignin oder ein Zuckermolekül, handeln.

[0041] Bei einer „Faser“ handelt es sich um ein lineares, elementares Gebilde, welches aus einem Faserstoff besteht. Bei einer Faser kann es sich um eine Naturfaser und somit einen natürlich vorkommenden, biogenen und/oder mineralischen Faserstoff handeln. Ebenso kann es sich bei einer Faser um eine Chemiefaser und somit einen künstlich geschaffenen organischen und/oder anorganischen Faserstoff handeln. Bei einer Faser kann es sich um eine textile Faser, eine Polymerfaser, Glasfaser oder eine Metallfaser handeln. Selbstverständlich kann das Substrat auch zwei oder mehrere pflanzenbasierte Stoffe und/oder zwei oder mehrere Faserarten aufweisen.

[0042] Um eine hohe ökologische Kompatibilität, eine gute Materialverträglichkeit der Materialien des Sensormaterials und/oder Sensors und eine gute Anbindung an ein Messgut zu erreichen, kann als Substrat ein Substrat aufweisend Papier, Holz und/oder biobasierten Kunststoff verwendet werden.

[0043] Bei der Verwendung von Papier kann prinzipiell jede Papierart eingesetzt werden. Bevorzugt weist die jeweilige Papierart als Blatt eine gewisse Steifheit und Biegefestigkeit sowie eine nicht zu starke Saugfähigkeit auf. Bei Papier kann es sich beispielsweise um übliches Druckerpapier oder beschichtetes Papier, wie Backpapier, handeln. Als Papiersubstrat kann beispielsweise ein Druckerpapier, beispielsweise ein säurearmes oder -freies Druckerpapier, verwendet werden. Das Papier kann beispielsweise eine Schichtdicke von 71,0 µm aufweisen. Bei dem Papier kann es sich beispielsweise auch um Karton, Pappe oder Filterpapier handeln.

[0044] Unter „biobasiertem Kunststoff“ werden insbesondere alle Kunststoffe verstanden, welche auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen erzeugt werden. Bei biobasiertem Kunststoff kann es sich insbesondere um einen Kunststoff hergestellt basierend auf einem natürlichen Biopolymer, wie Stärke oder Cellulose, handeln. Ebenso kann der biobasierte Kunststoff aus Polymilchsäure und/oder weiteren nachwachsenden Rohstoffen, wie Lignin, Chitin und ähnliche natürliche Polymere, hergestellt sein.

[0045] In einer weiteren Ausgestaltungsform des Verfahrens wird ein An- und/oder Aufbringen von zwei beabstandeten elektrischen Kontakten an und/oder auf der sensorischen Schicht durchgeführt, sodass der Sensor vorliegt.

[0046] Für ein Aufbringen der zwei beabstandeten elektrischen Kontakte können beispielsweise zwei Elektroden auf die Oberfläche der sensorischen Schicht mittels Siebdruck aufgedruckt werden. Ebenso können die elektrischen Kontakte mittels eines Leitstiftes auf die Oberfläche der sensorischen Schicht aufgemalt werden. Auch kann zunächst ein Einschneiden in die Oberfläche der sensorischen Schicht, beispielsweise mittels eines Lasers, erfolgen und in diese Einschnitte jeweils ein elektrischer Kontakt und/oder Elektrode eingebracht und/oder gedruckt werden.

[0047] In einem weiteren Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe gelöst durch einen Sensor zum Erfassen einer Messgröße, wobei der Sensor ein Substrat und zwei elektrische Kontakte aufweist, und der Sensor nach einem zuvor beschriebenen Verfahren gefertigt ist.

[0048] Somit wird ein Sensor bereitgestellt, welcher aufgrund des Herstellungsverfahrens eine im Wesentlichen homogene Schichtdicke und einen definiert geformten und/oder freistehenden Außenrand der sensorischen Schicht aufweist.

[0049] In einem weiteren Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe gelöst durch einen Sensor zum Erfassen einer Messgröße, wobei der Sensor ein Substrat und zwei elektrische Kontakte aufweist, wobei auf dem Substrat eine feste sensorische Schicht mit einem freistehenden und/oder räumlich definiert abgegrenzten Außenrand angeordnet ist.

[0050] Um eine definiert räumlich ausgerichtete Kontaktfläche der sensorischen Schicht zum Anbinden an ein Messgut bereitzustellen, kann am Außenrand eine Seitenwand der sensorischen Schicht zwischen einer Oberfläche der sensorischen Schicht und dem Substrat einen Winkel zu einer Senkrechten auf dem Substrat zwischen 0° bis 60°, insbesondere zwischen 0° und 45°, bevorzugt zwischen 0° und 20°, aufweisen.

[0051] Somit wird ein Sensor bereitgestellt, welcher eine hohe Kantensteilheit der Seitenwände am Außenrand aufweist. Bevorzugt steht die Seitenwand oder stehen die Seitenwände senkrecht auf der Oberfläche des Substrates. Die Seitenwände können jedoch auch gezielt schräg zur Senkrechten auf dem Substrat stehen. Beispielsweise können sich die umlaufenden Seitenwände von der Oberfläche des Substrates konisch zur Oberfläche der sensorischen Schicht erweitern. Durch diese kegelförmige Form der sensorischen Schicht im Querschnitt kann vorteilhaft eine Verankerung des Sensors in einem Messgut erreicht werden, vor allem wenn große mechanische Kräfte auf das Messgut einwirken und ansonsten zu einer räumlichen Verschiebung des Sensors führen könnten.

[0052] In einer weiteren Ausführungsform des Sensors weist die sensorische Schicht eine Abweichung ihrer Schichtdicke von < 15 %, insbesondere < 6 %, bevorzugt < 3 %, auf.

[0053] Somit ist die Schichtdicke der sensorischen Schicht im Wesentlichen homogen über ihre Fläche verteilt. Die Schichtdicke kann im Bereich des Außenrandes etwas größer sein als in der Mitte der sensorischen Schicht ist. Beispielsweise ist die Schichtdicke von circa 11 um in der Mitte in einem Bereich am Außenrand um 6 % höher. Bei einer dünneren Schichtdicke von circa 7 µm in der Mitte der sensorischen Schicht kann die Schichtdicke am Außenrand um 10 bis 15 % höher sein.

[0054] Um optimale Sensoreigenschaften und ein einfaches Ablösen vom Rahmen während der Herstellung bereitzustellen, weist die sensorische Schicht einen organischen Halbleiter, insbesondere Poly(3,4-ethylendioxythiophen)polystyrol-sulfonat, auf.

[0055] In einer weiteren Ausführungsform des Sensors weist das Substrat einen pflanzenbasierten Stoff und/oder eine Faser auf.

[0056] Um ein ökologisch verträgliches Substrat bereitzustellen, weist das Substrat Papier, Holz und/oder biobasierten Kunststoff auf.

[0057] In einem weiteren Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe gelöst durch ein Faserverbundmaterial, wobei das Faserverbundmaterial Fasern und eine Harzmatrix aufweist, und das Faserverbundmaterial mindestens einen zuvor beschriebenen Sensor aufweist.

[0058] Somit kann der Sensor optimal innerhalb eines Faserverbundwerkstoffes, insbesondere innerhalb eines noch nicht ausgehärteten Faserverbundwerkstoffes, eingebunden sein. Es ist besonders vorteilhaft, dass das Substrat, insbesondere aufweisend einen pflanzenbasierten Stoff, eine Faser und/oder Papier, optimal zwischen den Lagen eines Faserverbundwerkstoffes anordenbar und/oder verbindbar ist. Da das Substrat und/oder Papier während des Herstellungsverfahrens nicht in seiner Eigenschaft verändert und/oder nicht hydrophobisiert wurde, kann dieses nun die Harzmatrix aufnehmen und wird dadurch mit dem Faserverbundwerkstoff stoffschlüssig verbunden. Folglich kann mittels des eingelagerten und/oder verbundenen Sensors, beispielsweise ausgebildet als Temperatursensor, eine Überwachung eines Aushärteprozesses der Harzmatrix im Inneren des Faserverbundwerkstoffes erfolgen. Vor allem können die Fertigungsparameter von Prepregs (Preimpregnated) und somit von flächigen faseraufweisenden Halbzeugen, welche mit speziellen Reaktionsharzen vorimprägniert werden, überwacht werden. Prepregs können alle gängigen Verstärkungsfasern, wie beispielsweise Glasfasern, Kohlenstofffasern und/oder Aramidfasern, aufweisen. Als Harz wird insbesondere eine Epoxidharzbasis verwendet. Ebenso kann der Sensor zur Feuchteüberwachung zwischen Faserlaminaten angeordnet sein oder als Dehnungssensor ausgebildet sein.

[0059] In einem weiteren Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe gelöst durch eine Verwendung eines zuvor beschriebenen Sensors zur Fertigungs- und/oder Produktüberwachung, insbesondere zum Überwachen eines Aushärtens eines Faserverbundmaterials.

[0060] Prinzipiell kann der Sensor in eine Vielzahl von Anwendungen eingesetzt werden. Neben Anwendungen im Bereich der Fertigungsüberwa-

chung in der Automobil-, Luft- und Raumfahrttechnik, im Bootsbau und Windkraftanlagenbau sind weitere Anwendungen im Bereich von nachhaltigen Produkten, wie kompostierbaren Einwegprodukte, möglich. Auch kann die Produktüberwachung im Lebensmittelbereich erfolgen, beispielsweise zur Überwachung eines Reifeprozesses von Früchten.

[0061] Im Weiteren wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 eine stark schematische Darstellung eines sensorischen Schichtmaterials auf einem Papiersubstrat eines Feuchtigkeitssensors vor Entfernen eines Rahmens im Querschnitt,

Fig. 2 eine stark schematische Darstellung einer Draufsicht auf den gefertigten Feuchtigkeitssensor,

Fig. 3 eine Fließbilddarstellung eines Herstellungsverfahrens,

Fig. 4 Daten des Verlaufs einer relativen Feuchtigkeit und einer Temperatur von konventionellen Messgeräten einer Klimakammer, und

Fig. 5 Daten des Verlaufs einer Widerstandsdifferenz zweier erfindungsgemäßer Feuchtigkeitssensoren mit unterschiedlichen Sensorlängen gemessen in der Klimakammer.

[0062] Ein Feuchtigkeitssensor 101 weist ein Papiersubstrat 105 (säurefreies Druckerpapier) auf. Auf einer Oberseite des Papiersubstrats 105 ist eine sensorische Schicht 103 angeordnet. In einer Draufsicht weist die sensorische Schicht 103 eine quadratische Form mit vier Seitenwänden 115 auf (**Fig.** 2). Die vier Seitenwände 115 stehen senkrecht auf einer Oberseite des Papiersubstrates 105, sodass ein freistehender Außenrand 107 am Übergang zwischen einer Oberseite der sensorischen Schicht 103 und den jeweiligen Seitenwänden 115 vorliegt.

[0063] In der **Fig.** 1 ist ein Zustand während der Herstellung des Feuchtigkeitssensors 101 gezeigt, bei welchem die Seitenwände 115 der getrockneten sensorischen Schicht 103 noch von einem Rahmen 117 umgeben sind, welcher während der Herstellung entfernt wird (wie nachfolgend dargestellt).

[0064] Auf der Oberseite der sensorischen Schicht 103 des Feuchtigkeitssensors 101 sind zwei beabstandete Silberelektroden 111 angeordnet, sodass sich dazwischen eine Sensormessfläche 109 ergibt (siehe **Fig.** 2).

[0065] Der Feuchtigkeitssensor 101 ist in einem Herstellungsverfahren 301 mit folgenden Arbeitsschritten hergestellt:

[0066] Das Papiersubstrat 105 wird auf einer Grundplatte eines 3D-Druckers fixiert (Schritt 303). Anschließend erfolgt ein Vorheizen 305 eines Filamentes und eines Druckkopfes des 3D-Druckers, bis die Grundplatte eine Temperatur von 50 °C und der Druckkopf eine Temperatur von 225 °C erreicht haben. Das Filament weist PET-G und einen Durchmesser von 1,75 mm auf und wird mittels des Druckkopfes mit einer Druckgeschwindigkeit von 75 mm/s auf das Papiersubstrat 105 aufgetragen, wobei ein 3D-Drucken 307 eines Rahmens 117 schichtweise auf dem Papiersubstrat 105 durchgeführt wird. Der Rahmen 117 wird derart 3D-gedruckt, dass seine Höhe höher ist als eine Schichtdicke der gefertigten sensorischen Schicht 103.

[0067] Nach Fertigstellen des Rahmens 117 wird in seinen Innenraum als flüssiges sensorisches Schichtmaterial 113 PEDOT:PSS (CLEVIOS PH 1000, Heraeus GmbH) auf die Oberseite des Papiersubstrats 105 mittels einer Pipette als Drop-Casting aufgebracht. Hierbei wird 40 µl des flüssigen sensorischen Schichtmaterials 113 mittels des Drop-Casting-Prozesses aufgebracht (Schritt 309). Anschließend erfolgt ein Trocknen 311 des flüssigen sensorischen Schichtmaterials 113 in einem Ofen, bis das Lösemittel des sensorischen Schichtmaterials 113 verdampft ist und die getrocknete, feste sensorische Schicht 103 vorliegt. Das Trocknen 311 wird bei einer Temperatur von 90 °C und einer Trocknungsdauer von 30 Minuten durchgeführt. Optional kann ein Wiederholen 313 der Schritte 309 und 311 zum Aufbringen und Trocknen einer weiteren Schicht auf die sensorische Schicht 103 erfolgen. Nach dem vollständigen Trocknen 311 wird der Rahmen 117 rückstandslos vom Papiersubstrat 105 entfernt (Schritt 315). Nachfolgend wird ein Aufbringen 317 der beiden Silberelektroden 111 auf der Oberseite der sensorischen Schicht 103 durchgeführt. Das Aufbringen 317 der Silberelektroden 111 erfolgt mittels Siebdruck unter Verwendung von flexibler Silbertinte (901769, Sigma-Aldrich). Nach dem Aufbringen 317 der Silberelektroden 111 mittels Siebdruck wird ein Trocknen in einem Ofen für 30 Minuten bei 130 °C durchgeführt. Anschließend liegt ein hergestellter, einsatzfähiger Feuchtigkeitssensor 101 vor.

[0068] Der gefertigte Feuchtigkeitssensor 101 weist in seiner Mitte eine Schichtdicke von 10,49 µm und an seinem Außenrand 107 eine etwas größere Schichtdicke von 11,16 µm der sensorischen Schicht 103 auf, sodass die Schichtdicke der sensorischen Schicht 103 im Wesentlichen homogen ist. Die sensorische Schicht 103 ist mit ihren Seitenwänden 115 und dem freistehenden Außenrand 107 als räumlich eindeutig begrenzte Schicht auf dem Papiersubstrat 105 angeordnet und ist frei von einem Kaffeering-Effekt gefertigt.

[0069] Mit dem gefertigten Feuchtigkeitssensor 101 werden Messungen in einer nicht gezeigten Klimakammer durchgeführt. **Fig.** 4 zeigt den gemessenen

Verlauf der relativen Feuchtigkeit 203 in Prozent mit der Skalierung auf der linken y-Achse und den Verlauf der Temperatur 205 in °C mit einer Skalierung auf der rechten y-Achse über die Zeit 201 in Stunden, wobei die Messwerte mit konventionellen Messgeräten der Klimakammer erfasst worden sind. Die Temperatur bleibt bei um die 70 °C über die gesamte Zeit 201 annähernd konstant in der Klimakammer. Die relative Feuchtigkeit 203 sinkt in der ersten halben Stunde von circa 80 % auf 20 % ab und steigt anschließend schrittweise um jeweils 10 % in etwa jeder halben Stunde bis auf 80 % an, um nach 3,5 Stunden wiederum auf circa 20 % abzusinken.

[0070] Der Feuchtigkeitssensor 101 ist in zwei verschiedenen Ausführungsformen als Sensor 209 mit 1 mm Länge der Sensormessfläche 109 zwischen den beiden Silberelektroden 111 und als Sensor 211 mit 3 mm Länge der Sensormessfläche 109 zwischen den beiden Silberelektroden 111 in der Klimakammer eingesetzt worden. Der jeweilige Widerstand der Sensoren 209 und 211 ist über die Zeit 201 in der Klimakammer mittels eines Multimeters gemessen worden. Auf der y-Achse ist die Widerstandsdifferenz 207 (ΔR) in Ω über die Zeit 201 dargestellt. Wie die **Fig.** 5 im Vergleich zur **Fig.** 4 zeigt, korrelieren die mittels der Sensoren 209 und 211 bestimmten Widerstandsdifferenzen 207 mit dem Verlauf der relativen Feuchtigkeit 203 über die Zeit 201, wobei beide Sensoren 209 und 211 eine ausgezeichnete Sensitivität für die relative Feuchtigkeit 203 zwischen 20 und 80 % zeigen und schnell auf Änderungen der relativen Feuchtigkeit 203 reagieren. Hierbei weist der Sensor 211 mit einer Länge von 3 mm eine höhere Sensitivität als der Sensor 209 mit einer Länge von 1 mm auf.

[0071] In einer weiteren nicht gezeigten Ausführungsform ist der gefertigte Sensor als Temperatursensor ausgebildet und wird zur Überwachung des Aushärtens eines Faserverbundwerkstoffes mit einem Zweikomponenten-Epoxidharz verwendet. Hierbei korreliert der Widerstand des Temperatursensors entsprechend mit der sich ändernden Aushärtetemperatur des aushärtenden Faserverbundwerkstoffes. Bei dieser Anwendung wird eine optimale Anbindung des Temperatursensors aufgrund der Einbettung des Papiersubstrates 105 in die Schichten des Faserverbundwerkstoffes erzielt.

[0072] Somit werden Sensoren 101, 209 und 211 bereitgestellt, welche aufgrund ihrer freistehenden und/oder räumlich definiert abgegrenzten und sehr homogenen, sensorischen Schicht 103 mit einem Außenrand 107 eine optimale Anbindung an ein Messgut und eine hohe Sensitivität aufweisen.

Bezugszeichenliste

101	Feuchtigkeitssensor
103	sensorische Schicht
105	Papiersubstrat
107	Außenrand der sensorischen Schicht
109	Sensormessfläche
111	Silberelektrode
113	sensorisches Schichtmaterial
115	Seitenwand
117	Rahmen
201	Zeit, h
203	relative Feuchtigkeit, %
205	Temperatur, °C
207	Widerstandsdifferenz (ΔR), Ω
209	Sensor, 1 mm Länge
211	Sensor, 3 mm Länge
301	Herstellungsverfahren
303	Fixieren eines Substrates auf Grundplatte
305	Vorheizen des Filamentes und Druckkopfes
307	3D-Drucken eines Rahmens auf dem Substrat
309	Aufbringen eines flüssigen sensorischen Schichtmaterials auf das Substrat innerhalb des Rahmens
311	Trocknen des flüssigen sensorischen Schichtmaterials zu einer sensorischen Schicht
313	optional Wiederholen
315	Entfernen des Rahmens von dem Substrat
317	Aufbringen von Silberelektroden

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- US 2023/0296548 A1 [0003]
- CN 118050408 A [0004]
- IN 202311047380 A [0005]
- US 2022/0003682 A1 [0006]
- WO 2020/182830 A1 [0007]
- WO 2017/040947 A1 [0008]

Patentansprüche

1. Verfahren (301) zum Herstellen eines Sensormaterials (113) und/oder eines Sensors (101) mittels eines 3D-Druckers mit folgenden Schritten:
- Fixieren (303) eines Substrates (105) auf einer Grundplatte des 3D-Druckers,
- 3D-Drucken (307) eines Rahmens mittels eines Filamentes und des 3D-Druckers auf das Substrat (105),
- Aufbringen (309) eines flüssigen sensorischen Schichtmaterials auf das Substrat (105) innerhalb des Rahmens,
- Trocknen (311) des flüssigen sensorischen Schichtmaterials zu einer sensorischen Schicht (103) und
- Entfernen (315) des Rahmens von dem Substrat, sodass ein Sensormaterial (113) mit einer im Wesentlichen homogenen Schichtdicke und einem freistehenden Außenrand (107) der sensorischen Schicht (103) vorliegt.

2. Verfahren (301) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim und/oder nach dem Aufbringen (309) eine Oberflächenspannung des flüssigen sensorischen Schichtmaterials gebrochen wird, sodass das flüssige sensorische Schichtmaterial im Wesentlichen homogen innerhalb des Rahmens verteilt ist.

3. Verfahren (301) nach einem der vorherigen Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass als flüssiges sensorisches Schichtmaterial ein organischer Halbleiter, insbesondere Poly(3,4-Ethylendioxythiophen)polystyrolsulfonat, verwendet wird.

4. Verfahren (301) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Substrat (105) ein Substrat (105) aufweisend einen pflanzenbasierten Stoff und/oder eine Faser verwendet wird.

5. Verfahren (301) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Substrat (105) ein Substrat (105) aufweisend Papier, Holz und/oder biobasierten Kunststoff verwendet wird.

6. Verfahren (301) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein An- und/oder Aufbringen (317) von zwei beabstandeten elektrischen Kontakten an und/oder auf der sensorischen Schicht (103), sodass der Sensor (101) vorliegt.

7. Sensor (101) zum Erfassen einer Messgröße, wobei der Sensor (101) ein Substrat (105) und zwei elektrische Kontakte (111) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Sensor nach einem Verfahren nach Anspruch 6 gefertigt ist.

8. Sensor (101) zum Erfassen einer Messgröße, wobei der Sensor (101) ein Substrat (105) und zwei elektrische Kontakte (111) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf dem Substrat (105) eine feste sensorische Schicht (103) mit einem freistehenden und/oder räumlich definiert abgegrenzten Außenrand (107) angeordnet ist.

9. Sensor (101) nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass am Außenrand (107) eine Seitenwand (115) der sensorischen Schicht (103) zwischen einer Oberfläche der sensorischen Schicht (103) und dem Substrat (105) einen Winkel zu einer Senkrechten auf dem Substrat (105) zwischen 0° bis 60°, insbesondere zwischen 0° und 45°, bevorzugt zwischen 0° und 20°, aufweist.

10. Sensor (101) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die sensorische Schicht (103) eine Abweichung ihrer Schichtdicke von kleiner 15 %, insbesondere kleiner 6 %, bevorzugt kleiner 3 %, aufweist.

11. Sensor (101) nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die sensorische Schicht (103) einen organischen Halbleiter, insbesondere Poly(3,4-Ethylendioxythiophen)polystyrolsulfonat, aufweist.

12. Sensor (101) nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat (105) einen pflanzenbasierten Stoff und/oder eine Faser aufweist.

13. Sensor (101) nach einem der Ansprüche 7 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat (105) Papier, Holz und/oder biobasierten Kunststoff aufweist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

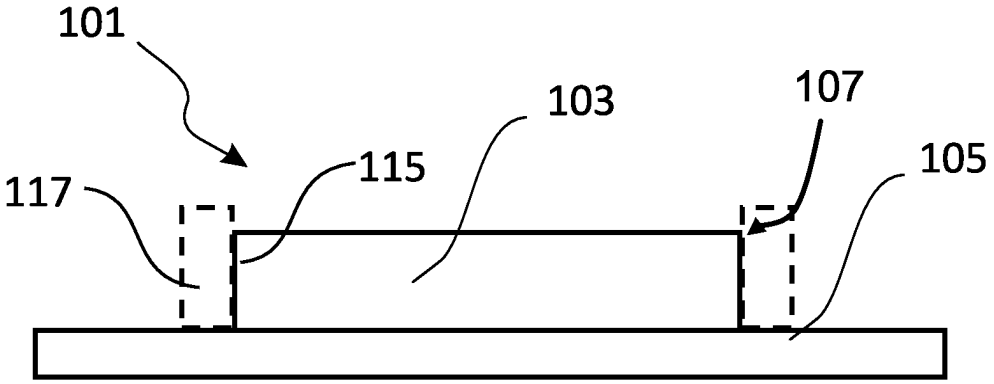


Fig. 1

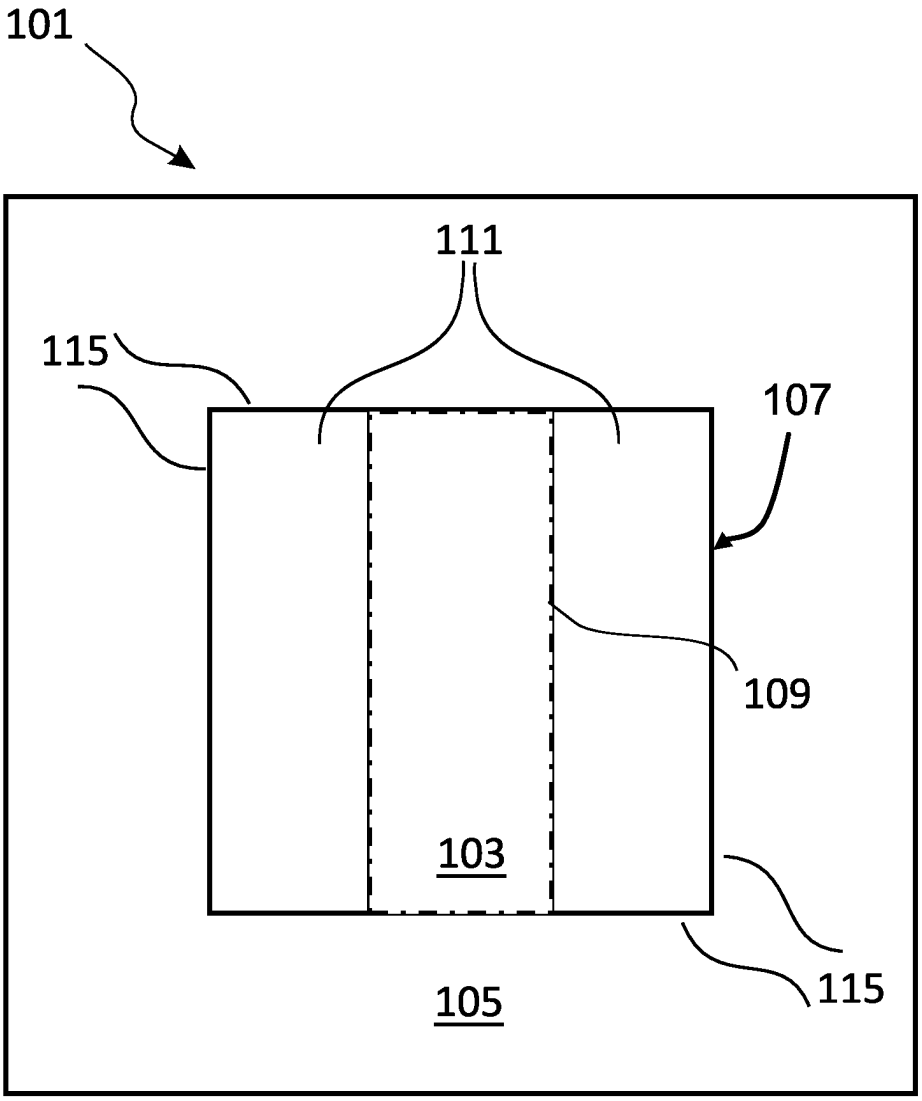


Fig. 2

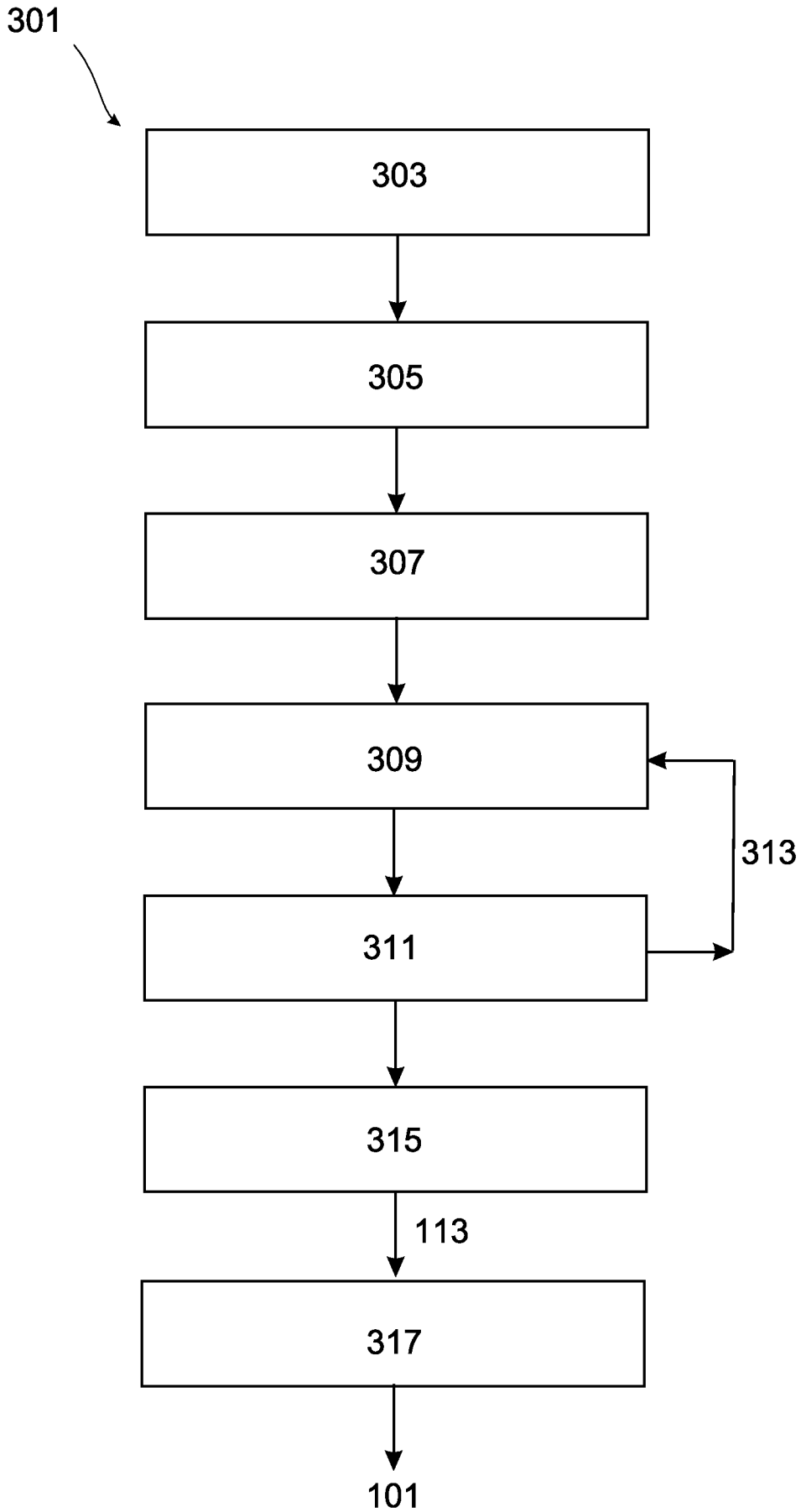


Fig. 3

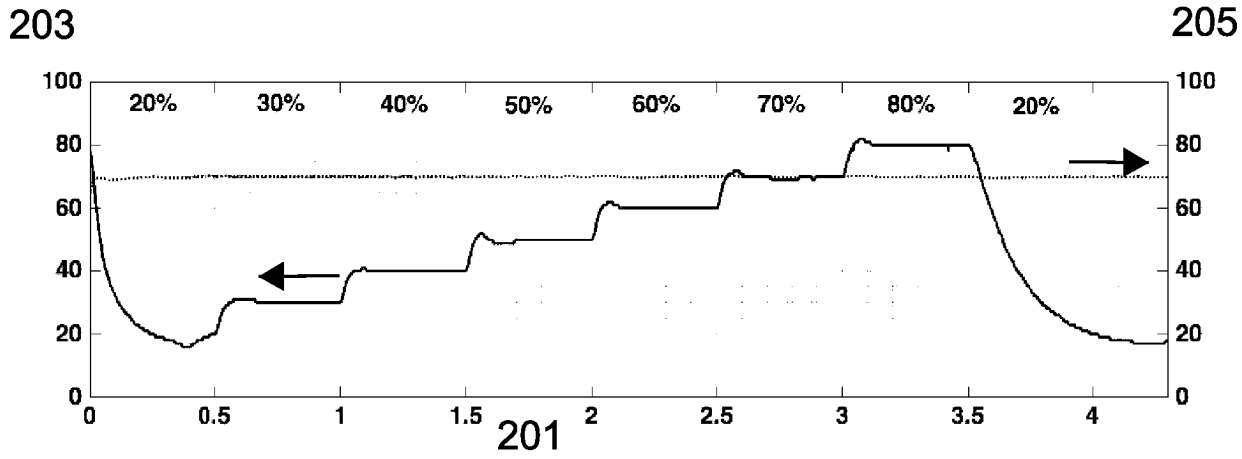


Fig. 4

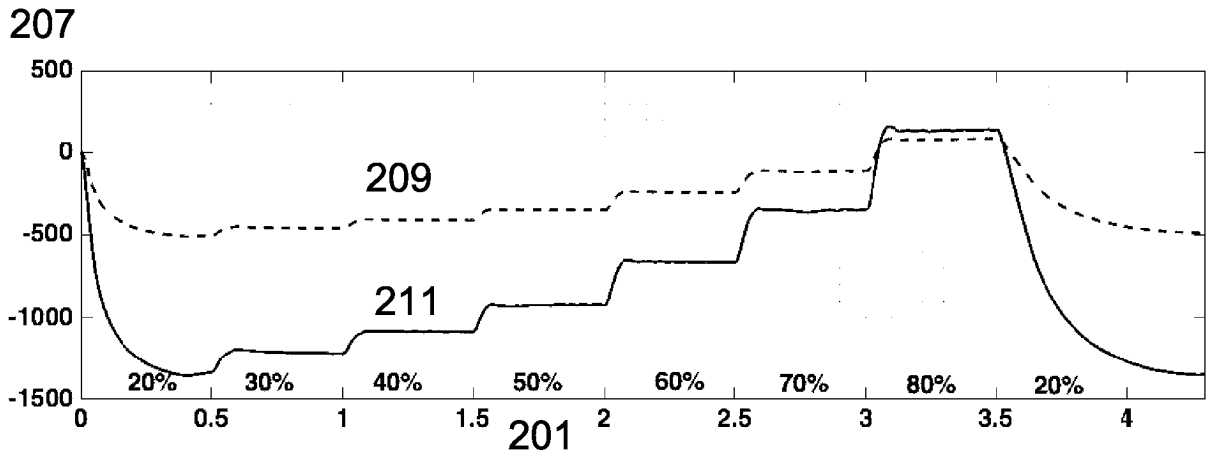


Fig. 5

 Das Dokument wurde durch die Firma Luminess hergestellt.