



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 034 717.5**
(22) Anmeldetag: **18.08.2010**
(43) Offenlegungstag: **23.02.2012**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **14.01.2016**

(51) Int Cl.: **G01L 1/20 (2006.01)**
G01L 1/14 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,
51147 Köln, DE**

(74) Vertreter:
**RÖSLER · RASCH · van der HEIDE &
PARTNER PATENT- UND RECHTSANWÄLTE
Partnerschaftsgesellschaft mbB, 81241 München,
DE**

(72) Erfinder:
Strohmayr, Michael, 81667 München, DE

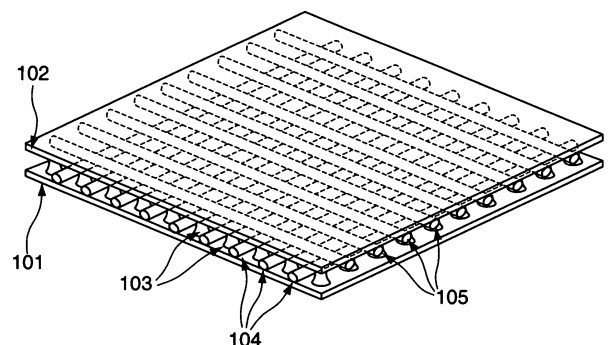
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2006 016 661	B4
DE	37 34 023	A1
DE	103 41 160	A1
DE	10 2004 025 237	A1
DE	10 2007 020 131	A1
DE	10 2010 034 719	A1
DE	200 14 200	U1
US	2002 / 0 194 934	A1

(54) Bezeichnung: **Sensorelement zur Erfassung taktiler Reize**

(57) Hauptanspruch: Sensorelement zur Erfassung taktiler Reize, aufweisend:

- eine nichtleitende, elastisch verformbare erste Schicht (101) mit einer ersten Oberfläche,
- eine nichtleitende elastisch verformbare zweite Schicht (102) mit einer zweiten Oberfläche, wobei die erste und die zweite Oberfläche einander zugewandt und unmittelbar über zwischen der ersten und zweiten Oberfläche vereinzelt ausgebildeten und elastisch verformbaren Abstandshaltern (103) voneinander beabstandet angeordnet und miteinander verbunden sind,
- eine oder mehrere elastisch verformbare, elektrisch leitende erste Leitungen (104), die auf oder an der ersten Oberfläche angeordnet sind, und
- elastisch verformbare, elektrisch leitende zweite Leitungen (105), die auf oder an der zweiten Oberfläche angeordnet sind, wobei sich die ersten (104) und die zweiten (105) Leitungen an Kreuzungsstellen kreuzen, wobei die ersten (104) und die zweiten (105) Leitungen an den Kreuzungsstellen in einem mechanisch unbelasteten Zustand des Sensorelements voneinander beabstandet sind.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein elastisch verformbares, flächiges Sensorelement zur Erfassung taktiler Reize, eine Vorrichtung zur Erfassung taktiler Reize mit einem ebensolchen Sensorelement sowie ein Verfahren zur Herstellung des Sensorelements.

[0002] Ein potentiell Anwendungsbereich für das Sensorelement liegt im Bereich der Robotik und Telemanipulation, aber auch speziell im Bereich der Medizintechnik. In diesen Bereichen ist eine Ausstattung von Greiffingern, Instrumenten, etc. mit einer taktilen Sensorik wünschenswert, die es erlaubt, den cutanen Tastsinn des Menschen nachzubilden, um beispielsweise die Position, die Form, die stoffliche Konsistenz oder die Oberflächenstruktur berührter Objekte festzustellen.

[0003] Taktile Sensoren auf Basis flächiger Matrixanordnungen taktiler Pixel, sogenannter „Taxel“ sind bekannt. Diese basieren im Allgemeinen auf der Erfassung von elektrischen Effekten an den Kreuzungspunkten von verschiedenen Leiterbahnen oder Elektroden. Dabei wird an jedem Kreuzungspunkt eine räumlich abgegrenzte sensible Zelle (Taxel) gebildet. So geht aus der DE 103 41 160 A1 eine flächige Sensormatrix basierend auf einem mechanisch stabilen Trägermaterial hervor. Gewebe-basierte taktile Sensoren werden in der DE 10 2004 025 237 A1 und der DE 10 2006 016 661 B4 beschrieben. Aus der DE 10 2007 020 131 A1 geht ein taktiler Flächensensor mit einem nicht leitenden elastischen Grundkörper hervor.

[0004] Aus der DE 37 34 023 A1 ist eine Meßmatte zur Erfassung von Druckverteilungen bekannt. Die Meßmatte enthält eine Matrix von kapazitiven Druckwandlern, die aus den Kreuzungsflächen von Zeilenleitern und Spaltenleitern gebildet sind. Zwischen den Zeilenleitern und Spaltenleitern, an deren Kreuzungsstellen ist ein Dielektrikum aus einzelnen elastischen flachen Körpern angeordnet, deren Größe im Wesentlichen den Kreuzungsflächen der Zeilen- und Spaltenleiter entspricht. Die Abstände der Körper sind so groß, dass sich beim Biegen der Meßmatte die Zeilen oder Spaltenleiter sowie darauf aufgeklebte Isolier- und Abschirmmaterialien in die Zwischenräume einwölben oder darin verklebt werden können. Für die Zeilen- und Spaltenleiter und die Abschirmung werden metallisierte Textilgewebe und aus Metallfäden gestrickte Matten verwendet.

[0005] Aus der US 2002/0194934 A1 ist ein Kraftsensor bekannt, der eine elektrische Eigenschaft aufweist, die über eine vorgegebene Funktion von einer auf den Kraftsensor aufgetragenen Kraft abhängt. Der Kraftsensor umfasst erste flexible elektrisch leitende Fasern und zweite flexible elektrisch leitende Fasern, die an Kreuzungsstellen über eine piezore-

sistive Verbindung einen elektrischen Kontakt aufweisen. Die vorgegebene Funktion beschreibt einen elektrischen Widerstand, der invers zu einer auf den Kraftsensor aufgetragenen Kraft variiert.

[0006] Aus der DE 200 14 200 U1 ist eine Sensoranordnung zur Messung der örtlichen Verteilung einer Messgröße, insbesondere als Sensorsitzmatte zur Sitzbelegungserkennung in einem Kraftfahrzeug bekannt. Die Sensoranordnung umfasst mehrere verteilt angeordnete und matrixförmig zusammen geschaltete Sensorelemente, deren elektrisches Verhalten jeweils von dem örtlichen Wert der Messgröße abhängig ist, sowie mehrere mit den Sensorelementen verbundenen elektrischen Anschlüsse, um das elektrische Verhalten der einzelnen Sensorelemente durch ein Messgerät zu erfassen. Dabei besteht mindestens ein Teil der Sensorelemente jeweils aus einer Reihenschaltung aus einem von dem Wert der Messgröße unabhängigen Vorschaltelement und einem von dem Wert der Messgröße abhängigen Messelement.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es, ein elastisch verformbares Sensorelement zur Erfassung taktiler Reize anzugeben, das die Auflösung bei der Erfassung taktiler Reize gegenüber dem Stand der Technik verbessert. Weiterhin ist es Aufgabe der Erfindung ein Verfahren zur Herstellung des Sensorelements anzugeben.

[0008] Die Erfindung ergibt sich aus den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche. Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, sowie der Erläuterung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, die in den Figuren dargestellt sind.

[0009] Der vorrichtungsgemäße Aspekt der Aufgabe ist mit einem Sensorelement zur Erfassung taktiler Reize gelöst, welches aufweist: eine nichtleitende, elastisch verformbare erste Schicht mit einer ersten Oberfläche, eine nichtleitende elastisch verformbare zweite Schicht mit einer zweiten Oberfläche, wobei die erste und die zweite Oberfläche einander zugewandt und unmittelbar über zwischen der ersten und zweiten Oberfläche vereinzelt ausgebildeten und elastisch verformbaren Abstandshaltern voneinander beabstandet angeordnet und miteinander verbunden sind, eine oder mehrere elastisch verformbare, elektrisch leitende erste Leitungen, die auf oder an der ersten Oberfläche angeordnet sind, und elastisch verformbare, elektrisch leitende zweite Leitungen, die auf oder an der zweiten Oberfläche angeordnet sind, wobei sich die ersten und die zweiten Leitungen an Kreuzungsstellen kreuzen, wobei die ersten und die zweiten Leitungen an den Kreuzungsstellen

len in einem mechanisch unbelasteten Zustand des Sensorelements voneinander beabstandet sind.

[0010] Bevorzugt sind die ersten/zweiten Leitungen in Bereichen der ersten/zweiten Oberfläche zwischen den Abstandshaltern angeordnet. Dies gilt insbesondere für die Kreuzungsstellen. Die ersten/zweiten Leitungen können jedoch auch in Abschnitten bzw. teilweise unterhalb der Abstandshalter verlaufen.

[0011] Das erfindungsgemäße Sensorelement basiert auf einem Folienelement, welches Gegenstand einer separaten zeitgleich eingereichten Patentanmeldung der Anmelderin mit dem Aktenzeichen DE 10 2010 034 719.1 ist. Die Offenbarung der DE 10 2010 034 719.1 in Bezug auf das darin beschriebene Folienelement wird hiermit vollumfänglich in den vorliegenden Offenbarungsgehalt einbezogen. Insbesondere wird auf die das Folienelement beschreibenden Ausführungen, sowie die erläuterten Figuren der DE 10 2010 034 719.1 verwiesen.

[0012] In der vorliegenden Anmeldung wird das Folienelement aus der DE 10 2010 034 719.1 um erste und zweite elastisch verformbare, elektrisch leitende Leitungen ergänzt, die auf oder an der ersten bzw. zweiten Oberfläche angeordnet sind, wobei sich erste und zweite Leitungen an Kreuzungsstellen kreuzen.

[0013] Durch die erfindungsgemäße Anordnung von elastisch verformbaren elektrisch leitenden Leitungen wird das Folienelement zu einem flächigen taktilen Sensorelement, das die besondere elastische Verformbarkeit und den Aufbau des Folienelements aus der DE 10 2010 034 719.1 dazu nutzt, die richtungsabhängige Auflösung bei der Erfassung taktiler Reize zu verbessern.

[0014] Die richtungsabhängige (anisotrope) elastische Verformbarkeit des Folienelements ist, wie in DE 10 2010 034 719.1 beschrieben, durch eine geeignete Wahl der beteiligten elastischen Materialien (für erste und zweite Schicht, für die Abstandshalter, sowie für die elastischen Leitungen), durch eine geeignete Wahl der Form der Abstandshalter, von deren Anordnung und von deren Masse, und durch eine geeignete Wahl des Abstandes mit der die erste und die zweite Oberfläche voneinander beabstandet sind, bei der Herstellung einstellbar. Mit der richtungsabhängigen elastischen Verformbarkeit des Folienelements wird vorliegend auch die richtungsabhängige Sensibilität des Sensorelements im Hinblick auf die Erfassung taktiler Reize festgelegt. So kann das Sensorelement je nach Anforderung an die Auflösung taktiler Reize entsprechend ausgeführt werden.

[0015] In einer einfachen Ausführungsform des Sensorelements sind die Abstandshalter zwischen der ersten und der zweiten Oberfläche als Gitterpunkte eines zweidimensionalen orthogonalen, insbesondere

re eines kartesischen Gitters angeordnet. Bevorzugt sind dabei die ersten Leitungen zueinander parallel und die zweiten Leitungen zueinander parallel angeordnet, während die ersten und zweiten Leitungen zueinander orthogonal verlaufen. Natürlich sind beliebige weitere Anordnungen der Abstandshalter, beispielsweise mit konzentrischer, rechteckiger Geometrie, bei entsprechender Anordnung der ersten und zweiten Leitungen je nach Aufgabenstellung möglich. Weiterhin können die elastischen Abstandshalter selbst nahezu beliebige Formen annehmen, beispielsweise punktförmige, sternförmige, längliche, linienförmige, auch in sich geschlossene Formen, wie Kreise, Ellipsen etc.

[0016] Die flächige taktile Auflösung des Sensorelements bestimmt sich durch die Flächendichte der Kreuzungsstellen, insbesondere der zwischen den Abstandshaltern angeordneten Kreuzungsstellen. Jede Kreuzungsstelle stellt quasi eine taktile Sensorzelle dar. Ist die Flächendichte der Kreuzungsstellen in einem Flächenbereich groß, so ist die flächige taktile Auflösung des Sensorelements für diesen Flächenbereich hoch. Ist die Flächendichte der Kreuzungsstellen in einem Flächenbereich klein, so ist die flächige taktile Auflösung des Sensorelements für diesen Flächenbereich gering.

[0017] Erfindungsgemäß sind die ersten und die zweiten Leitungen an den Kreuzungsstellen in einem mechanisch unbelasteten Zustand des Sensorelements voneinander beabstandet. Der Begriff „mechanisch unbelasteter Zustand“ meint, dass auf das Sensorelement keine taktilen Reize (Kräfte) einwirken.

[0018] Durch eine auf das Sensorelement aufgebraachte Kraft (taktile Reiz) nähern sich die ersten und zweiten Leitungen an den Kreuzungsstellen einander an, was bei weiterer Annäherung bis zu ihrer Berührung, und bei noch weiterer Annäherung zu einer elastischen Verformung der ersten und zweiten Leitungen führen kann. Diese Annäherung der ersten und zweiten Leitungen an den Kreuzungsstellen hat kapazitive bzw. die elektrische Leitfähigkeit der ersten und zweiten Leitungen betreffende messbare Wirkungen, mittels denen die eingebrachten taktilen Reize in bekannter Weise ausgewertet werden können. Bei Verschwinden der aufgebraachten Kraft stellt sich der „mechanisch unbelastete Zustand“ mit einer richtungsabhängig bekannten, beherrschbaren und bei der Auswertung der vorstehend angegebenen messbaren Wirkungen zu berücksichtigenden Hysterese ein.

[0019] In einer alternativen Ausgestaltung des Sensorelements berühren sich die ersten und die zweiten Leitungen an den Kreuzungsstellen bereits im mechanisch unbelasteten Zustand des Sensorelements. Durch das Aufbringen einer äußeren mechanischen

Kraft (taktile Reiz) auf das Sensorelement werden die ersten und zweiten Leitungen an den jeweils betroffenen Kreuzungsstellen nun elastisch verformt, was jeweils betroffenen eine messbare Änderung der elektrischen Leitfähigkeit der betroffenen Leitungen bewirkt.

[0020] Bevorzugt bestehen die erste und die zweite Schicht und die Abstandshalter aus einem Polymermaterial, insbesondere aus einem Silikonmaterial. Weiterhin bestehen die ersten und die zweiten Leitungen bevorzugt aus einem elektrisch leitenden Polymermaterial, wie cis-Polyacetylen (PA), trans-Polyacetylen (PA) oder Poly-Para-Phenylen (PPP). Alternativ können die ersten und zweiten Leitungen jeweils aus einem nicht-leitenden und elastisch verformbaren Leitungskörper mit darin eingelagerten elektrisch leitenden Partikeln bestehen.

[0021] Die erste und/oder die zweite Schicht weist/bezogen bevorzugt eine Schichtdicke von < 30 mm, < 15 mm, < 10 mm, < 5 mm, < 2 mm, < 1 mm, $< 0,5$ mm, $< 0,1$ mm, oder $< 0,05$ mm auf. Je nach Anwendung weist das Sensorelement bestehend aus erster und zweiter Schicht und dazwischen angeordneten Abstandshaltern eine Dicke von < 50 mm, < 25 mm, < 10 mm, < 5 mm, < 2 mm, < 1 mm, $< 0,5$ mm oder $< 0,1$ mm auf. Weiterhin beträgt der Abstand der ersten zur zweiten Oberfläche bevorzugt < 15 mm, < 10 mm, < 5 mm, < 3 mm, < 2 mm, < 1 mm, $< 0,5$ mm, $< 0,2$ mm, $< 0,1$ mm oder $< 0,05$ mm. Die erste und die zweite Oberfläche können mit einem flächig konstanten Abstand voneinander beabstandet sein, dieser Abstand kann aber auch, je nach Anwendung und Aufgabenstellung flächig variieren. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind die Abstandshalter als Gitterpunkte eines zweidimensionalen kartesischen Gitters angeordnet, das eine Gitterkonstante im Bereich von: < 10 mm, < 5 mm, < 3 mm, < 1 mm, $< 0,5$ mm, $< 0,1$ mm, $< 0,05$ mm oder $< 0,01$ mm aufweist. Die Zwischenräume zwischen den Abstandshaltern und der ersten und der zweiten Oberfläche sind bevorzugt von einem fluiden Medium ausgefüllt, wobei unter einem fluiden Medium vorliegend eine Substanz verstanden wird, die einer beliebig langsamen Scherung keinen Widerstand entgegensetzt und somit eine endliche Viskosität aufweist. Fluide Medien umfassen daher insbesondere Gase und Flüssigkeiten, aber auch Gele. Weiterhin können die Zwischenräume des Folienelements insgesamt zu einer Umgebung des Folienelements hin offen oder geschlossen sein, d.h. im ersten Fall kann das fluide Medium aus dem Folienelement entweichen oder in dieses eindringen, insbesondere ist der Außendruck (bspw. der Luftdruck) gleich dem Innendruck in den Zwischenräumen, im zweiten Fall ist das fluide Medium in den Zwischenräumen eingeschlossen. Die Wahl des fluiden Mediums und die Ausführungsform (nach Außen abgeschlossene/offene Zwischenräume) beeinflussen die elastischen Ei-

genschaften des Folienelements und können den Anforderungen entsprechend ausgewählt werden.

[0022] Eine besonders bevorzugte Weiterbildung des Sensorelements zeichnet sich dadurch aus, dass das Sensorelement aus mehreren übereinander angeordneten Sensorelementen gebildet ist, d.h. dass mehrere erfindungsgemäß mit elektrischen Leitungen ausgestattete Folienelemente übereinander angeordnet sind.

[0023] Die Erfindung betrifft weiterhin einen taktilen Sensor mit einem Sensorelement gemäß den vorstehenden Ausführungen und mit einem Auswertemodul, das mit den ersten und zweiten Leitungen verbindbar ist, wobei das Auswertemodul ein Kapazitätsmessmodul, mit dem elektrische Kapazitätsänderungen an einzelnen Kreuzungspunkten der ersten und zweiten Leitungen ermittelbar sind, und/oder ein Widerstandsmessmodul, mit dem ein elektrischer Übergangswiderstand an einzelnen Kreuzungspunkten der ersten und zweiten Leitungen ermittelbar ist, und/oder ein Widerstandsmessmodul, mit dem elektrische Leitungswiderstände der einzelnen ersten und zweiten Leitungen ermittelbar sind, umfasst. Aus den ermittelten Kapazitätsänderungen bzw. Übergangswiderstandsänderungen bzw. Leitungswiderstandsänderungen lassen sich der Ort bzw. die betroffene Fläche des taktilen Reizes auf dem Sensorelement als auch der mit dem taktilen Reiz verbundene Kraft eintrag ermitteln.

[0024] Der verfahrensgemäße Aspekt der Aufgabe ist gemäß einer ersten Alternative durch ein Verfahren zur Herstellung eines Sensorelements zur Erfassung taktiler Reize gelöst, das folgenden Verfahrensschritte aufweist: Bereitstellen einer elastisch verformbaren ersten Schicht mit einer ersten Oberfläche, Aufbringen von vereinzelt ausgebildeten und voneinander beabstandet angeordneten ersten Abstandshaltern aus einem aushärtbaren Polymermaterial in einer ersten Anordnung auf der ersten Oberfläche, Aufbringen einer oder mehrerer elastisch verformbarer, elektrisch leitender erster Leitungen auf oder an der ersten Oberfläche zwischen den ersten Abstandshaltern, Bereitstellen einer elastisch verformbaren zweiten Schicht mit einer zweiten Oberfläche, Aufbringen mehrerer elastisch verformbarer, elektrisch leitender zweiter Leitungen auf oder an der zweiten Oberfläche, so dass bei einem anschließenden Fügen der zweiten Oberfläche auf die ersten Abstandshalter, an deren von der ersten Oberfläche abgewandten Enden, die zweiten Leitungen zwischen den Abstandshaltern angeordnet sind, wobei sich die ersten und zweiten Leitungen an Kreuzungsstellen kreuzen, Auseinanderbewegen der ersten und zweiten Schicht so, dass die erste und zweite Oberfläche einen vorgegebenen Abstand voneinander aufweist und die Abstandshalter die erste und zweite Oberfläche unmittelbar verbinden, Aushärten der Abstand-

shalter, wobei das Polymermaterial der Abstandshalter nach dem Aushärten elastisch verformbar bleibt und die Abstandshalter in einem mechanisch unbelasteten Zustand die erste und die zweite Oberfläche in einem Abstand A beabstanden.

[0025] In einer Weiterbildung des vorstehenden Verfahrens erfolgt zunächst das Aufbringen einer oder mehrerer elastisch verformbarer, elektrisch leitender erster Leitungen auf oder an der ersten Oberfläche und anschließend das Aufbringen der ersten Abstandshalter aus einem aushärtbaren Polymermaterial in einer ersten Anordnung auf der ersten Oberfläche, wobei die Abstandshalter auch teilweise auf die bereits vorhandenen ersten Leitungen aufgebracht werden können. Die Abstandshalter werden bevorzugt vereinzelt, d.h. sich nicht berührend, aufgebracht. Weiterhin werden die ersten und zweiten Leitungen bevorzugt derart auf die jeweiligen Oberflächen aufgebracht, dass sie im fertig hergestellten Sensorelement zwischen den Abstandshaltern angeordnet sind.

[0026] Weiterhin wird der verfahrensgemäße Aspekt der Aufgabe gemäß einer zweiten Alternative durch ein Verfahren zur Herstellung eines Sensorelements zur Erfassung taktiler Reize gelöst, das folgende Verfahrensschritte aufweist: Bereitstellen einer elastisch verformbaren ersten Schicht mit einer ersten Oberfläche, Aufbringen zweiter Abstandshalter aus einem aushärtbaren Polymermaterial in einer zweiten Anordnung auf der ersten Oberfläche, Aufbringen einer oder mehrerer elastisch verformbarer, elektrisch leitender erster Leitungen auf oder an der ersten Oberfläche, Bereitstellen einer elastisch verformbaren zweiten Schicht mit einer zweiten Oberfläche, Aufbringen dritter Abstandshalter aus einem aushärtbaren Polymermaterial in einer zur zweiten Anordnung spiegelsymmetrischen dritten Anordnung auf der zweiten Oberfläche, Aufbringen einer oder mehrerer elastisch verformbarer, elektrisch leitender zweiter Leitungen auf oder an der zweiten Oberfläche, Ausrichten der ersten und zweiten Schicht, so dass sich die auf der ersten und auf der zweiten Oberfläche aufgebrachten Anordnungen der zweiten und dritten Abstandshalter deckungsgleich gegenüberliegen, Fügen der sich jeweils deckungsgleich gegenüberliegenden zweiten und dritten Abstandshalter an ihren jeweiligen freien Enden, Auseinanderbewegen der ersten und zweiten Schicht so, dass die erste und die zweite Oberfläche einen vorgegebenen Abstand voneinander aufweist und die Abstandshalter die erste und zweite Oberfläche verbinden, und Aushärten der Abstandshalter, wobei das Polymermaterial der Abstandshalter nach dem Aushärten elastisch verformbar ist und die Abstandshalter in einem mechanisch unbelasteten Zustand die erste und die zweite Oberfläche in einem Abstand A beabstanden.

[0027] In einer Weiterbildung des vorstehenden Verfahrens erfolgt jeweils zunächst das Aufbringen einer oder mehrerer elastisch verformbarer, elektrisch leitender erster/zweiter Leitungen auf oder an der ersten/zweiten Oberfläche und anschließend das Aufbringen der zweiten/dritten Abstandshalter aus einem aushärtbaren Polymermaterial in einer zweiten/dritten Anordnung auf der ersten/zweiten Oberfläche, wobei die zweiten/dritten Abstandshalter auch teilweise auf die bereits vorhandenen ersten/zweiten Leitungen aufgebracht werden können. Anmerkung: Die ersten Abstandshalter und die Verbindung aus zweiten und dritten Abstandshaltern werden nachfolgend vereinfachend als jeweils auch als „Abstandshalter“ bezeichnet.

[0028] Die Abstandshalter werden bevorzugt vereinzelt, d.h. sich nicht berührend, aufgebracht. Weiterhin werden die ersten und zweiten Leitungen bevorzugt derart auf die jeweiligen Oberflächen aufgebracht, dass sie im fertig hergestellten Sensorelement zwischen den Abstandshaltern angeordnet sind. Dies trifft insbesondere für die Kreuzungsstellen zu.

[0029] Beide genannten Verfahren basieren auf Verfahren zur Herstellung eines Folienelements, welche Gegenstand der vorstehend genannten, separaten, zeitgleich eingereichten Patentanmeldung der Anmelderin mit dem Aktenzeichen DE 10 2010 034 719.1 sind. Die Offenbarung der DE 10 2010 034 719.1 in Bezug auf die darin beschriebenen Verfahren wird hiermit vollumfänglich in den vorliegenden Offenbarungsgehalt einbezogen. Insbesondere wird auf die Ausführungen zu Herstellungsverfahren des Folienelements sowie auf die erläuternden Figuren der DE 10 2010 034 719.1 verwiesen.

[0030] In der vorliegenden Anmeldung werden die Verfahren aus der DE 10 2010 034 719.1 um Schritte ergänzt, mit denen vor dem entsprechenden Fügen der ersten und zweiten Schicht, auf die erste bzw. zweite Oberfläche erste bzw. zweite elastisch verformbare, elektrisch leitende erste und zweite Leitungen aufgebracht werden, wobei sich die ersten und zweiten Leitungen an Kreuzungsstellen kreuzen. Je nach Wahl der Dicke der Leitungen und des Abstandes kann eingestellt werden, ob die ersten und zweiten Leitungen im mechanisch unbelasteten Zustand an den Kreuzungsstelle voneinander beabstanden sind oder sie sich an den Kreuzungsstellen berühren. Die ersten und die zweiten Leitungen bestehen bevorzugt aus einem elektrisch leitenden Polymermaterial, wie cis-Polyacetylen (PA), trans-Polyacetylen (PA) oder Poly-Para-Phenylen (PPP). Alternativ können die ersten und zweiten Leitungen jeweils aus einem nichtleitenden und elastisch verformbaren Leitungskörper mit darin eingelagerten elektrisch leitenden Partikeln bestehen. Die ersten und zweiten Leitung liegen bevorzugt bereits vor deren

Aufbringen auf die ersten und zweiten Oberflächen in einem ausgehärteten Zustand, d.h. vernetzt, vulkanisiert oder ausgehärtet vor. Alternativ können die ersten und zweiten Leitungen, analog zu den Abstandshaltern als ein aushärtbares elastisches Material aufgebracht und zeitlich vor dem Aufbringen der Abstandshalter oder gemeinsam mit den Abstandshaltern ausgehärtet werden.

[0031] Das aushärtbare Polymermaterial der Abstandshalter ist bevorzugt ein Thermoplastmaterial oder ein Silikonmaterial, wobei unter dem Begriff „aushärtbar“ vorliegend verstanden wird, dass das elastische Material bzw. das Polymermaterial der Abstandshalter im Zeitpunkt des Aufbringens auf die erste bzw. zweite Oberfläche noch nicht vollständig vernetzt, bzw. nicht vollständig vulkanisiert bzw. nicht vollständig ausgehärtet ist.

[0032] Das Aufbringen der Abstandshalter bzw. des aushärtbaren elastischen Materials der elektrischen Leitungen erfolgt bevorzugt mittels eines Druck-, Press-, Gieß-, Spritzguss-, Raket- oder Kalandrierverfahrens. Die erste Oberfläche bzw. die zweite Oberfläche und die darauf aufgebrachten Abstandshalter verbinden sich nach deren Aufbringen, ggf. ist hierfür eine chemische oder physikalische Vorbehandlung, bspw. Erwärmen der ersten/zweiten Oberfläche erforderlich.

[0033] Zur Einstellung eines vorbestimmten Verformungsverhaltens des Sensorelements können je nach Anforderung für die erste, die zweite Schicht und die Abstandshalter gleiche oder unterschiedliche elastische Materialien verwendet werden. Das richtungsabhängige (anisotrope) Verformungsverhalten des Sensorelements lässt sich weiterhin durch die Wahl der Anordnung der Abstandshalter einstellen. Vorzugsweise weist die Anordnung der Abstandshalter eine trapezförmige, ringförmige, elliptische oder rechteckige, insbesondere quadratische Geometrie auf. Natürlich sind je nach Anforderungen beliebige weitere Anordnungen realisierbar. Die Abstandshalter selbst können beliebige Formen annehmen, die sich im Wesentlichen aus den Anforderungen für das Sensorelement ergeben. So können die Abstandshalter zylinderförmig, wandartig, kubisch oder als einschaliger Hyperboloid etc. ausgeführt sein.

[0034] Nachdem die Abstandshalter mit der ersten und der zweiten Oberfläche verbunden sind, werden die erste und die zweite Schicht auseinander bewegt, sodass die erste und die zweite Oberfläche einen vorgegebenen Abstand voneinander aufweisen und die Abstandshalter die erste und zweite Oberfläche verbinden. Der vorgegebene Abstand ist in jedem Fall so zu wählen, dass die Abstandshalter die erste und zweite Oberfläche weiterhin verbinden, d.h. nicht reißen oder sich von einer oder beiden der ersten und zweiten Oberflächen lösen. Durch das Auseinander-

bewegen der ersten und zweiten Schicht werden die Abstandshalter in ihren Außenformen verändert. Typischerweise stellt sich hierbei eine zylinderförmige oder einschalig hyperboloide Außenkontur der Abstandshalter ein. Weiterhin wird durch das Auseinanderbewegen die Größe der zwischen den ersten Abstandshaltern und den ersten und zweiten Oberfläche ausgebildeten Zwischenräume eingestellt. Über das Einstellen der Form der Abstandshalter und der Größe der Zwischenräume kann wiederum das richtungsabhängige (anisotrope) Verformungsverhalten des Folienelements vorgegeben bzw. eingestellt werden.

[0035] Nach dem Auseinanderbewegen erfolgt das Aushärten der Abstandshalter, wobei das Polymermaterial der Abstandshalter nach dem Aushärten elastisch verformbar bleibt und die Abstandshalter in einem mechanisch unbelasteten Zustand die erste und die zweite Oberfläche in einem Abstand A beabstanden. Der Begriff „Aushärten“ wird vorliegend im Sinne von „vernetzen“, „vulkanisieren“, „abkühlen“ oder „aushärten“, je nach verwendetem Polymermaterial verwendet. Nach dem Aushärten ist das Polymermaterial der Abstandshalter elastisch verformbar und im Wesentlichen formstabil.

[0036] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der ein Ausführungsbeispiel im Einzelnen beschrieben ist. Beschriebene und/oder bildlich dargestellte Merkmale bilden für sich oder in beliebiger, sinnvoller Kombination den Gegenstand der Erfindung, gegebenenfalls auch unabhängig von den Ansprüchen, und können insbesondere zusätzlich auch Gegenstand einer oder mehrerer separaten Anmeldung/en sein. Gleiche, ähnliche und/oder funktionsgleiche Teile sind mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0037] Es zeigen:

[0038] Fig. 1 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Sensorelements in Schrägansicht,

[0039] Fig. 2 eine schematische Darstellung des Sensorelements von Fig. 1 in Seitenansicht, und

[0040] Fig. 3 eine schematische Darstellung des Sensorelements von Fig. 1 bzw. Fig. 2 für eine Anwendung auf einer dreidimensional geformten Oberfläche.

[0041] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Sensorelements in Schrägsichtansicht. Dargestellt ist ein Sensorelement mit einer ersten Schicht **101** und einer zweiten Schicht **102**. Beide Schichten sind über Abstandshalter **103** miteinander verbunden und im Abstand A beabstan-

det voneinander angeordnet. Die Abstandshalter **103** sind vereinzelt, in quadratischer Gitterform angeordnet. In Zwischenräumen/Hohlräumen zwischen den Abstandshaltern **103** und der ersten **101** und zweiten **102** Schicht verlaufen erste **104** und zweite **105** elektrisch leitende, elastisch verformbare Leitungen. Die ersten Leitungen **104** verlaufen zueinander parallel. Ebenso die zweiten Leitungen **105**, wobei die ersten **104** und zweiten **105** Leitungen sich kreuzend, vorliegend orthogonal zueinander, angeordnet sind. Weiterhin sind die ersten Leitungen **104** an der ersten Oberfläche der ersten Schicht **101** und die zweiten Leitungen **105** an der zweiten Oberfläche der zweiten Schicht **102** angeordnet. Die Kreuzungsstellen sind in Bereichen zwischen den Abstandshaltern **103** angeordnet. Im mechanisch unbelasteten Zustand kreuzen sich die ersten **104** und zweiten **105** Leitungen an den Kreuzungsstellen nicht-berührend.

[0042] Durch die Verwendung polymer-basierter erster **103** und zweiter **104** Leitungen(Leiterbahnen) ist das Sensorelement insgesamt elastisch verformbar ausgeführt. Es weist zwischen den Abstandshaltern **103** und der ersten Oberfläche der ersten Schicht **101** und der zweiten Oberfläche der zweiten Schicht **102** Zwischenräume/Hohlräume auf, die vorliegend luftgefüllt sind. Das Sensorelement kann bei entsprechender Wahl der verwendeten Materialien und Schichtdicken als hochflexibles, dünnes und elastisch dehnbare Sensorelement ausgeführt sein. Diese Eigenschaften ermöglichen es, dass das erfindungsgemäße Sensorelement auf stark gekrümmten Oberflächen, wie bspw. einem Greiffinger einer Roboterhand, einem medizinischen Instrument für minimalinvasive Eingriffe etc. aufgebracht werden kann, um dort den cutanen Tastsinn des Menschen nachzubilden und um so beispielsweise die Position, die Form, die stoffliche Konsistenz oder die Oberflächenstruktur berührter Objekte festzustellen.

[0043] Das Sensorelement ermöglicht die durch die Erfassung verschiedener Effekte eine kombinierte Druck- und Dehnungsmessung. Dabei werden folgende Effekte genutzt:

1. Elektrische Kapazitätsänderung

[0044] An jedem Kreuzungspunkt der ersten **104** und zweiten **105** Leitungen wird zwischen der jeweiligen ersten Leitung **104** und der jeweiligen zweiten Leitung ein elektrischer Kondensator gebildet. Wird auf das Sensorelement ein taktile Reiz aufgebracht, so wird das Sensorelement komprimiert und die ersten **104** und zweiten **105** Leitungen nähern sich einander an. Die elektrische Kapazität am jeweiligen Kreuzungspunkt ändert sich hierdurch. Dieser Effekt kann erfasst und ausgewertet werden. Durch den besonderen Aufbau des Sensorelements mit den Zwischenräumen und der über die Abstandshalter beabstandeten ersten **101** und zweiten **102** Schicht, müs-

sen hierbei nur sehr kleine Materialvolumina verformt werden, damit sich die ersten **104** und zweiten **105** Leitungen einander annähern und so eine Kapazitätsänderung auftritt. Hierdurch wird für eine taktile Reizung des Sensorelements eine sehr hohe Empfindlichkeit erreicht, so dass bereits kleinste Berührungen erfasst werden können. Die Kapazitätsänderung an den Kreuzungspunkten kann zudem für die Identifizierung der mit Druck beaufschlagten Kreuzungspunkte und somit zur Erfassung der Druckverteilung auf das Sensorelement genutzt werden.

2. Elektrischer Übergangswiderstand

[0045] Wird der taktile Reiz in seiner Intensität weiter erhöht, berühren sich die ersten **104** und zweiten **105** Leitungen an den betreffenden Kreuzungspunkten. Dadurch wird ein elektrischer Widerstand messbar. Bei weiterer Erhöhung der Reizintensität (Kraft- oder Druckerhöhung) verformen sich die ersten **104** und zweiten **105** Leitungen an den betreffenden Kreuzungspunkten elastisch. Hierdurch verändert sich die Kontaktfläche zwischen den Leitungen an den jeweiligen Kreuzungspunkten und der elektrische Übergangswiderstand verändert sich. Diese Widerstandsänderung kann für jeden Kreuzungspunkt erfasst und ausgewertet werden.

3. Elektrischer Leitungswiderstand in den Leitungen

[0046] Wird ein mechanisch weiches Material unter dem Sensorelement verwendet kann auch der in DE 10 2007 020 131 beschriebene Effekt zur Bestimmung der mechanischen Dehnung erfasst werden. Hierbei wird die dehnungs-abhängige Änderung des elektrischen Leitungswiderstands in den Leitungen erfasst und ausgewertet.

[0047] Werden die ersten **104** und zweiten **105** Leitungen beispielweise in einem Press- oder Druckverfahren hergestellt, so kann deren Querschnitt nahezu beliebig gewählt werden. Dies kann genutzt werden, um die Übertragungsfunktion des unter Punkt 2. beschriebenen Effekts zu linearisieren. Die verwendeten ersten **104** und zweiten **105** Leitungen in X- bzw. Y-Richtung werden vorliegend im mechanisch unbelasteten Zustand des Sensorelements durch die Abstandshalter **103** räumlich voneinander getrennt.

[0048] Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung des Sensorelements von Fig. 1 in Seitenansicht, in einem mechanisch unbelasteten Ruhezustand, d.h. einem Zustand in dem das Sensorelement vorliegt, sofern kein taktile Reiz eingebracht wird. Deutlich zu erkennen sind die Abstandshalter **103**, welche bedingt durch das Auseinanderbewegen der ersten **101** und zweiten **102** Schicht während des Herstellungsprozesses eine einschalige hyperboloide Außenkontur aufweisen. Die erste und die zweite Oberfläche sind mit einem Abstand A voneinander beabstandet.

Weiterhin deutlich zu erkennen ist, dass die ersten **104** Leitungen und die zweiten Leitungen **105** sich an den Kreuzungsstellen nicht berühren.

[0049] Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung des Sensorelements von Fig. 1 bzw. Fig. 2 für eine Anwendung auf einer dreidimensional geformten Oberfläche. Durch die elastische Verformbarkeit des gesamten Sensorelements lassen sich auch dreidimensional geformte Oberflächen, wie bspw. ein Greifer, ein Roboterfinger, etc. mit dem flächigen taktilen Sensorelement ausrüsten.

Bezugszeichenliste

101	elastisch verformbare, elektrisch nichtleitende erste Schicht
102	elastisch verformbare, elektrisch nichtleitende zweite Schicht
103	Abstandshalter
104	elastisch verformbare, elektrisch leitende erste Leitungen
105	elastisch verformbare, elektrisch leitende zweite Leitungen

Patentansprüche

1. Sensorelement zur Erfassung taktiler Reize, aufweisend:

- eine nichtleitende, elastisch verformbare erste Schicht (**101**) mit einer ersten Oberfläche,
 - eine nichtleitende elastisch verformbare zweite Schicht (**102**) mit einer zweiten Oberfläche, wobei die erste und die zweite Oberfläche einander zugewandt und unmittelbar über zwischen der ersten und zweiten Oberfläche vereinzelt ausgebildeten und elastisch verformbaren Abstandshaltern (**103**) voneinander beabstandet angeordnet und miteinander verbunden sind,
 - eine oder mehrere elastisch verformbare, elektrisch leitende erste Leitungen (**104**), die auf oder an der ersten Oberfläche angeordnet sind, und
 - elastisch verformbare, elektrisch leitende zweite Leitungen (**105**), die auf oder an der zweiten Oberfläche angeordnet sind, wobei sich die ersten (**104**) und die zweiten (**105**) Leitungen an Kreuzungsstellen kreuzen,
- wobei die ersten (**104**) und die zweiten (**105**) Leitungen an den Kreuzungsstellen in einem mechanisch unbelasteten Zustand des Sensorelements voneinander beabstandet sind.

2. Sensorelement gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen den Abstandshaltern (**103**) und der ersten und der zweiten Oberfläche Zwischenräume ausgebildet sind, die von einem fluiden Medium ausgefüllt sind.

3. Sensorelement gemäß einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste

(**101**), die zweite (**102**) Schicht und die Abstandshalter (**103**) aus Silikonmaterial bestehen.

4. Sensorelement gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abstandshalter (**103**) als Gitterpunkte eines zweidimensionalen orthogonalen, insbesondere eines kartesischen Gitters angeordnet sind, die ersten Leitungen (**104**) zueinander parallel und die zweiten Leitungen (**105**) zueinander parallel angeordnet sind, und die ersten (**104**) und zweiten (**105**) Leitungen zueinander orthogonal angeordnet sind.

5. Sensorelement gemäß einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ersten (**104**) und die zweiten (**105**) Leitungen aus einem elektrisch nichtleitenden Polymermaterial mit eingelagerten leitfähigen Partikeln bestehen.

6. Sensorelement gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Sensorelement eine Dicke von < 1 mm aufweist, wobei die erste (**101**) und die zweite (**102**) Schicht jeweils eine Schichtdicke von $< 0,1$ mm aufweist, und die Abstandshalter als Gitterpunkte eines zweidimensionalen kartesischen Gitters angeordnet sind, das eine Gitterkonstante im Bereich von: < 1 mm aufweist.

7. Taktile Sensor mit einem Sensorelement gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, und mit einem Auswertemodul, das mit den ersten (**104**) und zweiten (**105**) Leitungen verbindbar ist, wobei das Auswertemodul

- ein Kapazitätsmessmodul, mit dem elektrische Kapazitätsänderungen an einzelnen Kreuzungspunkten der ersten (**104**) und zweiten (**105**) Leitungen ermittelbar sind, und/oder
- ein Widerstandsmessmodul, mit dem ein elektrischer Übergangswiderstand an einzelnen Kreuzungspunkten der ersten (**104**) und zweiten (**105**) Leitungen ermittelbar ist, und/oder
- ein Widerstandsmessmodul, mit dem elektrische Leitungswiderstände der einzelnen ersten (**104**) und zweiten (**105**) Leitungen ermittelbar sind, aufweist.

8. Verfahren zur Herstellung eines Sensorelements zur Erfassung taktiler Reize gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, mit folgenden Schritten:

- Bereitstellen einer elastisch verformbaren ersten Schicht (**101**) mit einer ersten Oberfläche,
- Aufbringen von vereinzelt ausgebildeten und voneinander beabstandet angeordneten ersten Abstandshaltern (**103**) aus einem aushärtbaren Polymermaterial in einer ersten Anordnung auf der ersten Oberfläche,
- Aufbringen einer oder mehrerer elastisch verformbarer, elektrisch leitender erster Leitungen (**104**) auf oder an der ersten Oberfläche zwischen den ersten Abstandshaltern,

- Bereitstellen einer elastisch verformbaren zweiten Schicht (**102**) mit einer zweiten Oberfläche,
- Aufbringen mehrerer elastisch verformbarer, elektrisch leitender zweiter Leitungen (**105**) auf oder an der zweiten Oberfläche, so dass bei einem anschließenden Fügen der zweiten Oberfläche auf die ersten Abstandshalter (**103**), an deren von der ersten Oberfläche abgewandten Enden, die zweiten Leitungen (**105**) zwischen den Abstandhaltern angeordnet sind, wobei sich die ersten (**104**) und zweiten Leitungen (**105**) an Kreuzungsstellen kreuzen,
- Auseinanderbewegen der ersten (**101**) und zweiten (**102**) Schicht so, dass die erste und zweite Oberfläche einen vorgegebenen Abstand voneinander aufweisen und die Abstandshalter (**103**) die erste und zweite Oberfläche unmittelbar verbinden,
- Aushärten der Abstandshalter (**103**), wobei das Polymermaterial der Abstandshalter (**103**) nach dem Aushärten elastisch verformbar bleibt und die Abstandshalter (**103**) in einem mechanisch unbelasteten Zustand die erste und die zweite Oberfläche in einem Abstand A beabstanden.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

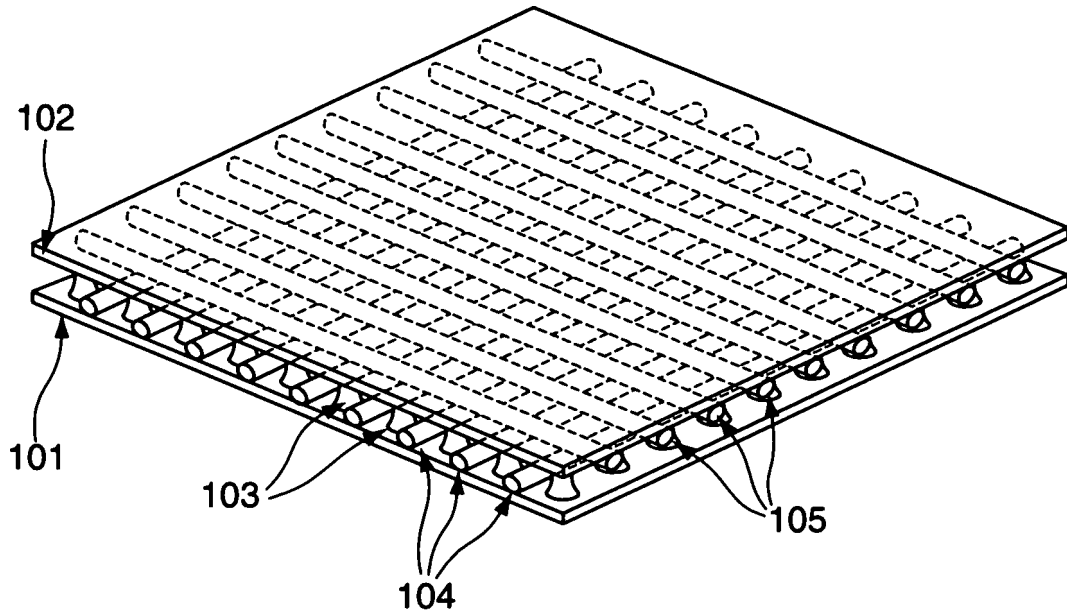


Fig. 1

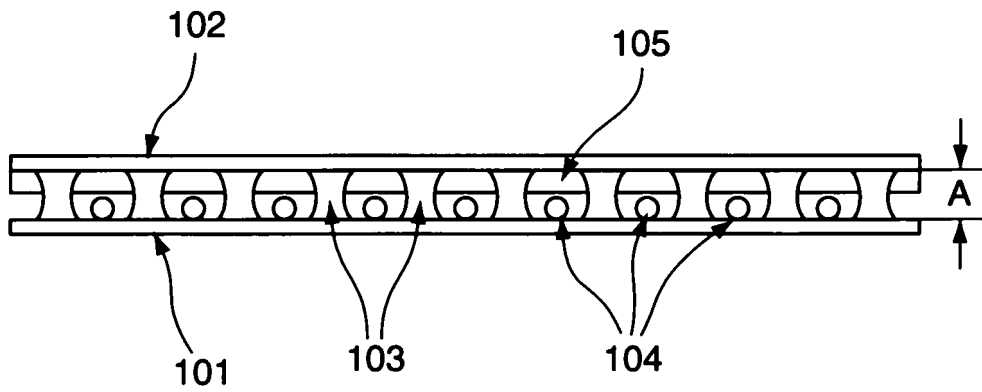


Fig. 2

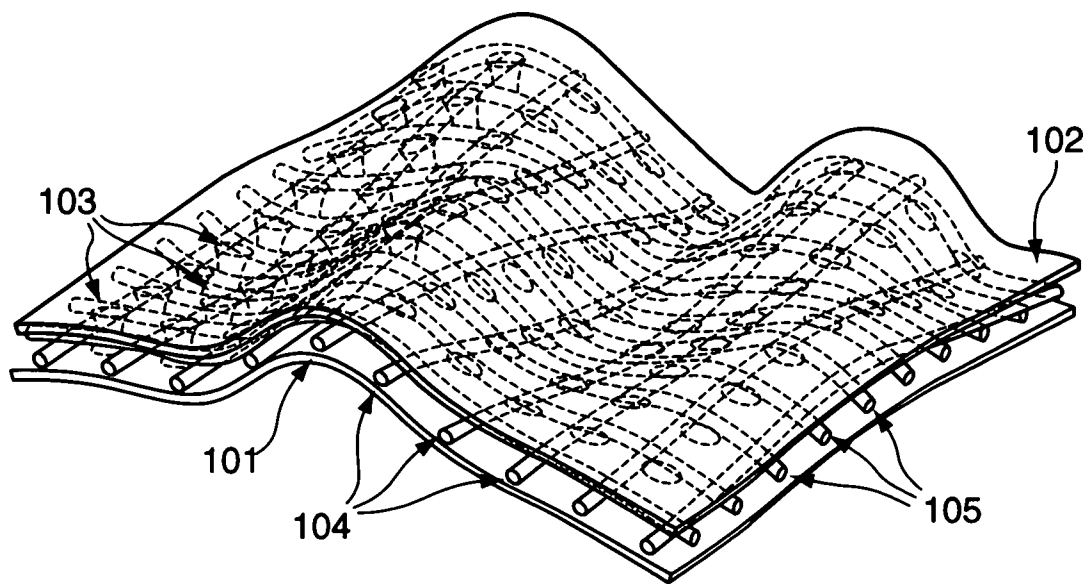


Fig. 3