



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 123 261.6**
(22) Anmeldetag: **21.09.2018**
(43) Offenlegungstag: **26.03.2020**

(51) Int Cl.: **H05K 3/12 (2006.01)**
B05D 3/06 (2006.01)
B33Y 10/00 (2015.01)
B33Y 70/00 (2015.01)

(71) Anmelder:
**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE**

(74) Vertreter:
**Weisse, Renate, Dipl.-Phys. Dr.-Ing., 10623 Berlin,
DE**

(72) Erfinder:
**Ischdonat, Nils, 20251 Hamburg, DE; Hartmann,
Lutz, Dr., 14513 Teltow, DE; Dreyer, Christian, Dr.,
55758 Niederwörresbach, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2015 111 555	B3
US	10 041 855	B2
US	2006 / 0 057 827	A1
US	2009 / 0 191 358	A1
US	2011 / 0 283 533	A1
WO	2014/ 125 470	A1
WO	2018/ 020 483	A1

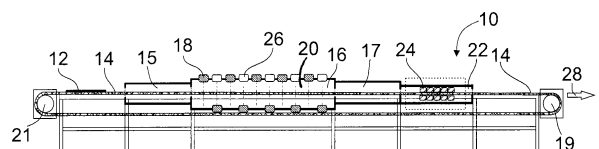
PERELAER, Jolke [u.a.]: Microwave flash sintering of inkjet-printed silver tracks on polymer substrates. In: Advanced Materials, Vol. 21, 2009, No. 47, S. 4830-4834. - ISSN 0935-9648 (P); 1521-4095 (E). DOI: 10.1002/adma.200901081. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/adma.200901081> [abgerufen am 2019-04-18]

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Aufbringen von Leitermaterial auf Substraten**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zum Aufbringen von Leitermaterial auf Substrate mit den Schritten: Aufbringen des Leitermaterials in einer flüssigen oder vorbehandelten Matrix auf ein Substrat; und Entfernen der Matrix durch Sintern bei einer Temperatur oberhalb von 120°C; dadurch gekennzeichnet, dass das Sintern mittels Mikrowellenstrahlung erfolgt, wobei die Materialeigenschaften des Leitermaterials und/oder des Substrats und/oder Behandlungsparameter derart ausgewählt sind, dass das Leitermaterial mehr erwärmt wird als das Substrat.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Aufbringen von Leitermaterial auf Substrate mit den Schritten:

- (a) Aufbringen des Leitermaterials in einer flüssigen oder vorbehandelten Matrix auf ein Substrat; und
- (b) Entfernen der Matrix durch Sintern bei einer Temperatur oberhalb von 120°C.

[0002] Typischerweise erfolgt das Sintern von Leitermaterial in einem Ofen. Das Leitermaterial, die Matrix und das Substrat werden durch Wärmestrahlung vollständig erwärmt. Dabei werden nicht-erwünschte Bestandteile aus dem aufgebracht Material ausgetrieben. Das Leitermaterial selber verbleibt als Feststoff auf dem Substrat.

[0003] Halbzeuge aus unterschiedlichen Materialien können durch den Auftrag leitfähiger Strukturen mittels verschiedener Druckverfahren wie Inkjet- oder Aerosol-Druck funktionalisiert werden. Die Strukturen werden beispielsweise als Leiterbahnen zur Ansteuerung integrierter elektronischer Bauteile oder als Heizelemente verwendet. Für die mechanische Stabilisierung der gedruckten Strukturen und für das Erreichen einer hinreichenden elektrischen Leitfähigkeit ist ein Sinterprozess der gedruckten leitfähigen Tinten sinnvoll oder erforderlich. Der Sinterprozess erfolgt nach dem Aufbringen. Der Sinterprozess wird üblicherweise in konventionellen Öfen durch den direkten Wärmeeintrag in die bedruckten Halbzeuge oder Bauteile vorgenommen.

Stand der Technik

[0004] Bei bekannten Sinterverfahren wird das gesamte Material, d.h. sowohl das Substrat, als auch das in der Regel vergleichsweise geringe Volumen an Leitermaterial erwärmt. Bei der konventionellen Erwärmung von Materialien wird die Kombination von Leitermaterial und Substrat auf die notwendige Sintertertemperatur gebracht. Die notwendige Sintertertemperatur, beispielsweise für leitfähige Tinten, ist typischerweise 120°C. Temperaturlabile Substrate sind Substrate mit einer Wärmeformbeständigkeit unterhalb der jeweiligen Sintertertemperatur. Bei temperaturlabilen Substraten kann die Erwärmung auf eine höhere Sintertertemperatur zu einer Änderung der Geometrie führen. Dies kann eine Deformation durch Aufschmelzen sein. Es kann bei solchen Temperaturen auch ein beginnendes Aufschmelzen des thermoplastischen Substratmaterials erfolgen.

[0005] Es gibt Substrate aus Kunststoffen, welche Wärmeformbeständigkeiten oberhalb 120°C aufwei-

sen und deren Geometrie sich während des Sinterprozesses nicht signifikant ändert. Diese Substrate sind in der Regel teurer und/oder schwieriger zu verarbeiten als solche mit geringerer Wärmeformbeständigkeit.

[0006] Die Veröffentlichung „Microwave Flash Sintering of Inkjet-Printed Silver Tracks on Polymer substrates“ von Jolke Perelaer, Mark Klokkenburg, Chris E. Hendriks und Ulrich S. Schubert in *Advanced Materials* 2009, Bd. 21, S. 4830-4834 offenbart die Verwendung von Mikrowellen zur Wärmebehandlung von Leiterbahnen aus Silber. Die Druckschrift führt ausdrücklich aus, dass die Gründe für eine erfolgreiche Erwärmung von Metallpartikeln nicht bekannt sind. Verwendet wurde ein Biotage Initiator monomodales Mikrowellensystem, welches auch auf der Webseite www.biotage.com offenbart ist. Die verwendeten Proben haben Abmessungen von nur wenigen mm in rotierenden Probengefäßen und das Mikrowellensystem, welches für Aufschlüsse im Labor konzipiert ist, ist für das Sintern von Leitermaterial auf größeren Komponenten ohne zusätzliches Probengefäß vollständig ungeeignet. Mikrowellenaufschlüsse werden in der Chemie insbesondere deshalb verwendet, weil die Chemikalien an allen Stellen gleichzeitig erwärmt werden.

[0007] Aus der DE 10 2015 111 555 B3 ist ein Mikrowellen-Applikator bekannt, der zur Mikrowellenbehandlung größerer Komponenten vorgesehen ist. Mit der bekannten Anordnung soll das gesamte Material des Werkstücks behandelt werden.

Offenbarung der Erfindung

[0008] Es ist Aufgabe der Erfindung, das Sintern des Leitermaterials schneller und mit weniger Energie zu ermöglichen. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, dass das Sintern mittels Mikrowellenstrahlung erfolgt, wobei die Materialeigenschaften des Leitermaterials und/oder des Substrats und/oder Behandlungsparameter derart ausgewählt sind, dass das Leitermaterial mehr erwärmt wird als das Substrat. Zu den Behandlungsparametern gehören insbesondere die Bestrahlungsdauer, die Leistung der Mikrowellenstrahlung, die Wellenlänge der Mikrowellenstrahlung und der Abstand des Mikrowellengenerators zum Werkstück. Zu den Behandlungsparametern können aber auch andere Parameter, etwa die Verteilung der Bestrahlungsintensität oder der Zustand des Leitermaterials vor der eigentlichen Behandlung gehören. Besonders vorteilhaft ist es, wenn nur das Leitermaterial gut erwärmt wird und das Substrat praktisch gar nicht erwärmt wird. Das ist besonders bei Substraten der Fall, die keine oder nur wenig Dipole enthalten, so dass die Mikrowellenstrahlung bei der ausgewählten Wellenlänge nicht oder nur wenig von dem Substratmaterial absorbiert wird.

[0009] Unter Leitermaterial wird hier insbesondere Material mit einer Leitfähigkeit zwischen $3 \cdot 10^6$ S/m und $7 \cdot 10^7$ S/m und Partikel aus solchem Material in einer Matrix verstanden. Beispiele für Leitermaterial sind Tinten in Form von Dispersionen mit Silber (Ag) und Carbon (C) - Teilchen, beispielsweise Ruß.

[0010] Die Erfindung ist besonders vorteilhaft, wenn das Substrat aus einem unpolaren und/oder mikrowellen-transparenten, temperaturlabilen Material besteht, dessen Form, Zusammensetzung, Härte oder anderer Zustand sich bei Erwärmung auf Temperaturen oberhalb von 120°C derart ändert, dass das Material für eine wirtschaftliche Verwertung ungeeignet ist.. Dies ist insbesondere bei unpolaren und folglich mikrowellentransparenten Materialien der Fall. Die Energie der Mikrowellen wird überwiegend auf das Leitermaterial übertragen. Das Substratmaterial ist für die Mikrowellen transparent.

[0011] Dadurch wird das Substratmaterial wenig oder gar nicht erwärmt und entsprechend geschont. Die Erfindung ermöglicht es, auch solche temperatur-empfindlichen, kostengünstigeren Substrate zu verwenden, die bisher als Substrat zum Aufbringen von Leiterbahnen grundsätzlich nicht zugänglich waren.

[0012] Die Erfindung ist besonders wirtschaftlich, wenn vorgesehen ist, dass das Substrat Abmessungen wenigstens in einer Richtung oberhalb von 10 cm, vorzugsweise oberhalb von 50 cm und höchst vorzugsweise oberhalb von 80 cm aufweist. Es können also besonders große Substrate behandelt werden, die nicht in ein Mikrowellengerät mit rotierender Probe hineinpassen, das typischerweise in der Chemie verwendet wird. Vielmehr können große Mikrowellenanlagen verwendet werden, welche Kunststoffbauteile beispielsweise für die Fahrzeugindustrie oder in der Luftfahrt aufnehmen können. Eine solche Anlage ist beispielsweise in der DE 10 2015 111 555 B3 ausführlich beschrieben. Das Verfahren eignet sich insbesondere, wenn das Substrat von einem Formteil mit drei-Dimensionalen Strukturen gebildet ist.

[0013] Vorzugsweise ist vorgesehen, dass das Substrat zumindest teilweise aus einem Material besteht, das ausgewählt ist aus Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS), Polyamid (PA), Polycarbonat (PC), Polymethylmethacrylat (PMMA), ABS, PVC, PET, POM, PBT oder Mischungen oder Zusammensetzungen daraus. Diese Materialien sind vergleichsweise kostengünstig. Sie sind aber nicht temperaturstabil bei Temperaturen oberhalb von 120°C . Bei der Energieübertragung mittels Mikrowellen auf das Leitermaterial wird keine oder nur wenig Energie auf das Substrat übertragen, so dass auch kostengünstigere Materialien mit Leitermaterial beschichtet und gesintert werden können. Statt eines Polymers

sind auch natürliche Materialien, beispielsweise Holz, Papier oder Pappe als Substrat geeignet.

[0014] Bei einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Leitermaterial in Form von Leiterbahnen aufgebracht wird. Diese können insbesondere als Stromleitungen, beispielsweise zu Heiz- oder Steuerzwecken, eingesetzt werden. Es ist aber auch möglich, das Leitermaterial flächig aufzubringen, etwa für die Verwirklichung von Reflektoren, Abschirmflächen, Dekorationen oder dergleichen.

[0015] Bei einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Leiterbahnen mittels Tintenstrahl-, Aerosol-, Sieb-, Tampondruck oder anderer Druckverfahren aufgebracht werden. Es ist auch möglich, die Leiterbahnen Sprühen oder Rakeln aufzubringen. Die leitenden Partikel befinden sich in einer Flüssigkeit, die nach dem Aufbringen mittels Sintern entfernt wird.

[0016] Insbesondere kann vorgesehen sein, dass das Leitermaterial Silber, Kupfer oder Carbonpartikel oder andere gut leitende Materialien oder Legierungen enthält.

[0017] Bei einigen Ausführungsbeispielen kann es gewünscht sein, dass eine aushärtende Deckschicht oder eine Deckschicht mit einem Reaktivklebstoff vor dem Sintern auf das Substrat mit dem Leitermaterial aufgebracht wird. Diese Deckschicht oder der Kleber können dann in nur einem Behandlungsschritt gleichzeitig mit dem Leitermaterial durch Behandlung mit Mikrowellen ausgehärtet werden.

[0018] Das erfindungsgemäße Verfahren kann mit einem Multimode-Mikrowellengenerator verwirklicht werden. Sie kann aber insbesondere auch dadurch verwirklicht werden, dass das Sintern mit Mikrowellenstrahlung mit einem Mikrowellengerät erfolgt, welches wenigstens einen Monomode-Mikrowellenapplikator aufweist. Bei einem Monomode-Mikrowellenapplikator - auch Monomode-Ofen genannt - bildet sich eine stehende Welle aus, deren Wellenlänge durch die Betriebsfrequenz festgelegt ist. Das Verfahren kann aber auch mit einer laufenden Welle betrieben werden. Die Antenne des Monomodes besteht gewöhnlich aus einem geschlitzten Vierkant, wobei die maximale Schlitzbreite durch die vorgegebene Wellenlänge bzw. Frequenz und die maximal mögliche Homogenität festgelegt ist. Innerhalb des üblicherweise sehr schmalen Schlitzes kann aber eine gute Homogenität erreicht werden. Der Applikator ist also besonders zum Sintern von Leitermaterialien auf flächigen Materialien geeignet.

[0019] Wird die Schlitzbreite größer gewählt, so tritt die Welle aus. Das ist unerwünscht. Dickere oder gekrümmte Materialien lassen sich mit einem solchen Monomodeapplikator nicht behandeln. Dann ist

es sinnvoll, wenn das Sintern mit Mikrowellenstrahlung mit einem Mikrowellengerät erfolgt, welches zusätzlich wenigstens einen Multimode-Mikrowellenapplikator aufweist.

[0020] Bei Substraten, welche besonders lang sind (Endlosmaterial) oder bei Bahnen, beispielsweise von der Rolle, ist es besonders vorteilhaft, wenn das Substrat mit dem Leitermaterial durch das Mikrowellengerät befördert wird. Dadurch wird eine gleichmäßige Bestrahlung erreicht und punktuelle Beschädigungen des Substrats vermieden. Das Material kann aber auch oszilliert werden.

[0021] Vorzugsweise ist vorgesehen, dass die Leistung der Mikrowellenstrahlung entsprechend dem zu bestrahlenden Material eingestellt wird. Insbesondere kann eine hohe Leistung eingestellt werden, wenn der Sintervorgang in kurzer Zeit erfolgen soll. Eine niedrige Leistung kann eingestellt werden, wenn ausreichend Zeit zur Verfügung steht und/oder das Substrat bei einer höheren Leistung beeinträchtigt wird.

[0022] Besonders vorteilhaft ist es, wenn das Substrat mit dem Leitermaterial kontinuierlich und un gepulst mit Mikrowellenstrahlung bestrahlt wird. Anders als bei einem Mikrowellengerät, welches für die Erwärmung von Speisen in Haushalten vorgesehen ist, wird bei dieser Vorgehensweise die mittlere Leistung über die Verringerung oder Erhöhung der Amplitude und nicht zeitlich, d.h. längere oder kürzere Perioden ohne Bestrahlung, erreicht.

[0023] Bei einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Mikrowellen eine Wellenlänge zwischen 0,1 und 10 GHz, vorzugsweise zwischen 1 und 6 GHz und höchst vorzugsweise im Bereich zwischen 2,44 und 2,46 GHz und/oder 5,7 bis 5,9 GHz haben. Die beiden Bereiche sind in vielen Ländern zur Nutzung genehmigt und gewährleisten eine ausreichende Energieübertragung auf das Material. Es ist auch möglich, die Bestrahlung in beiden Wellenlängenbereichen gleichzeitig vorzunehmen.

[0024] Bei einer Ausgestaltung der Erfindung ist dem Sintern eine Vorbehandlung vorgeschaltet ist, bei welcher bereits ein Teil der Matrix aus dem Leitermaterial ausgetrieben wurde. Die Behandlung mit Mikrowellen dient dann beispielsweise der Erhöhung der Leitfähigkeit. Mit einer Vorbehandlung, etwa bei niedrigen Temperaturen, kann das ursprünglich flüssige Material aufgebracht und vorab transportfähig gemacht werden. Der eigentliche Sintervorgang erfolgt dann in einer Mikrowellenanlage mit Mikrowellen.

[0025] Bei der Durchführung des Verfahrens können zwei Behandlungsbereiche vorgesehen sein. Das Material wird bei jeder Behandlung durch beide Behandlungsbereiche befördert. Ferner wird sowohl ein

Monomode- als auch ein Multimodeapplikator verwendet. Je nach Material können der Monomode- oder der Multimodeapplikator oder beide eingeschaltet werden. Es können also mit einer Anordnung alle Materialien behandelt werden unabhängig von den Abmessungen.

[0026] Aufgrund der erfindungsgemäßen Wahl von Substrat- und Leitermaterial ist vorgesehen, dass die Mikrowellen bevorzugt Energie im Leitermaterial dissipieren und nicht im Substrat. Das Leitermaterial kann beispielsweise eine leitfähige Tinte sein. Es kann vereinzelt dennoch vorteilhaft sein, wenn zusätzlich Energie aus einer Infrarot-Strahlungsquelle auf die Oberfläche des Materials übertragen wird.

[0027] Es kann auch vorgesehen sein, dass das Leitermaterial von einem elektrisch und/oder thermisch leitfähigen Klebstoff zur Herstellung einer mechanischen Verbindung gebildet ist.

[0028] Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche. Ein Ausführungsbeispiel ist nachstehend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert.

Figurenliste

Fig. 1 ist eine Seitenansicht einer Anordnung zum Behandeln von Materialien mit Mikrowellen mit einem Multimodeapplikator, einem Monomodeapplikator und einer Infrarot-Strahlungsquelle.

Fig. 2 ist eine Draufsicht auf die Anordnung aus **Fig. 1**.

Fig. 3 ist eine Vorderansicht der Anordnung aus **Fig. 1**.

Fig. 4 ist ein schematischer Querschnitt durch ein Substrat mit aufgebrachtem Leitermaterial.

Fig. 5 ist eine schematische Draufsicht auf ein Substrat mit aufgebrachtem Leitermaterial.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

[0029] In den **Fig. 1** bis **Fig. 3** ist eine allgemein mit 10 bezeichnete Anordnung zum Behandeln von Materialien mit Mikrowellen **15** gezeigt. In der Anordnung können alle Arten von Materialien in Form von Stückgut oder Meterware behandelt werden, insbesondere Substrate **12** mit aufgetragenen Leiterbahnen **13**. Den Leitermaterialien wird über Mikrowellen **15** Energie zugeführt, mit der das Leitermaterial **13** gesintert wird.

[0030] Das Leitermaterial **13** wird im vorliegenden Ausführungsbeispiel mittels Tintenstrahldrucken in Form von Leiterbahnen auf das Substrat **12** aufgebracht. Es versteht sich, dass aber auch andere For-

men, etwa flächige Strukturen aus Leitermaterial aufgebracht werden können. Das Leitermaterial enthält im vorliegenden Ausführungsbeispiel leitende Partikel in einer flüssigen Matrix. Es ist aber auch möglich ein homogenes, flüssiges Leitermaterial zu verwenden.

[0031] Das Substrat **12** besteht aus einem Material, welches für Mikrowellen möglichst transparent ist. Entsprechend erfolgt praktisch keine oder relativ geringe Energieübertragung von den Mikrowellen **15** auf das Substrat. Beispiele für Substrate sind Polymere, wie etwa Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS), Polyamid (PA), Polycarbonat (PC), Polymethylmethacrylat (PMMA) oder Mischungen oder Zusammensetzungen daraus. Derartige Polymere sind temperaturstabil, d.h. ihre Form, Struktur oder Zusammensetzung ändert sich bei Erwärmung in einem Ofen auf Temperaturen oberhalb von 120°C. Es ist auch möglich, teurere, temperaturstabile Materialien als Substrat **12** zu verwenden, beispielsweise Polyimid (PI). Temperaturstabile Substrate können zwar auch in einem herkömmlichen Ofen eingesetzt werden. Bei dem vorliegenden Verfahren ist jedoch erheblich weniger Energie für den Sinterprozess erforderlich, da nur das Leitermaterial, nicht aber das Substrat erwärmt wird. Wichtig ist, dass ein ausreichender Unterschied in der Erwärmung Substrat- Leiterbahn vorhanden ist. je temperaturstabiler das Substrat, desto unpolarer und somit mikrowellentransparenter sollte es für das Mikrowellen-Sintern sein.

[0032] Die Figuren zeigen beispielhaft ein Substrat **12**, welches auf einem Förderband **14** aus glasfaserverstärktem Teflon-Gitter befördert wird. Das Förderband ist durchlässig für Mikrowellen. Die Förderrichtung ist mit einem Pfeil **28** angezeigt. Das Förderband **14** tritt in eine von einem Gehäuse begrenzten Behandlungskammer **16** ein. Die Behandlungskammer **16** wird in einem ersten Behandlungsraum **20** von Mikrowellen der Frequenz 2,45 GHz eines Multimodeapplikators **18** durchstrahlt. In einem zweiten Behandlungsraum **22** wird die Behandlungskammer **16** von Mikrowellen **15** der Frequenz 2,45 GHz eines Monomodeapplikators **24** durchstrahlt. Ein dünnes Substrat **12**, wie es in den Figuren dargestellt ist, kann mit dem Förderband durch beide Behandlungsräume **20** und **22** der Behandlungskammer **16** bewegt werden. Wenn beide Applikatoren eingeschaltet sind, wird das Substrat **12** mit dem Leitermaterial **13** zwei Mal einer Behandlung mit Mikrowellen ausgesetzt.

[0033] Die Mikrowellen **15** dringen in das Leitermaterial **13** und übertragen ihre Energie. Das Substrat **12** ist für die Mikrowellen transparent oder es wird nur wenig Energie absorbiert. Es erfolgt praktisch keine Energieübertragung. Dabei wird in den Leiterbahnen **13** Wärme erzeugt und das Material gesintert.

Das Substrat **12** wird von den Mikrowellen nicht oder nur wenig erwärmt. Es findet praktisch keine Energieübertragung statt. Die Übertragung von Wärme aus den Leiterbahnen **13** auf das Substrat **12** ist vergleichsweise gering und verändert das Substrat **12** praktisch nicht, da das Volumen des Substrats **12** erheblich größer ist, als das Volumen der Leiterbahnen.

[0034] Jeder der Mikrowellenapplikatoren kann unabhängig voneinander eingeschaltet werden, so dass sich vielfältige Möglichkeiten der Behandlung für verschiedenartige Materialien in einer Anordnung ergeben.

[0035] Fig. 4 zeigt einen Ausschnitt aus Fig. 1 mit dem Monomodeapplikator **24**. Man erkennt, dass der Schlitz, durch den das Material **12** geführt ist, in vertikaler Richtung in diesen Ausführungsbeispiel sehr schmal ist. Die Anordnung sieht daher vor, dass das Magnetron des Monomodeapplikators einen einstellbaren Abstand **30** zum Förderband hat. Der Schlitz kann also für dickere oder gekrümmte Materialien, die vorzugsweise mit dem Multimodeapplikator **18** behandelt werden, vergrößert werden. Dann passen auch die diese Materialien mit größeren Abmessungen in vertikaler Richtung durch die Anordnung ohne größere Umbauten oder dergleichen vornehmen zu müssen.

[0036] Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel (nicht dargestellt) ist vorgesehen, dass die Komponenten des Multimodeapplikators **18** vollständig aus dem Behandlungsbereich gefahren werden, wenn dicke oder gekrümmte Materialien mit größeren Abmessungen in vertikaler Richtung, durch den zweiten Behandlungsbereich **22** gefördert werden.

[0037] In den beschriebenen Ausführungsbeispielen wird das Substrat **12** mit dem Leitermaterial **13** in Richtung der Pfeile **28** durch die Anordnung bewegt. Es ist aber auch möglich, das Substrat **12** mit dem Leitermaterial einer oszillierenden Bewegung auszusetzen oder gar nicht zu bewegen. Durch die Bewegung wird eine besonders gleichmäßige Bestrahlung auch in Mikrowellenfeldern mit Intensitätsschwankungen erreicht.

[0038] Bei Bestrahlung von 2 dünnen Proben, mit Bahnen aus Silber-Tinte bedruckt wurden wurde die Leistung der Magnetrons sukzessive bis 1 kW (2,45 GHz) bzw. 750 W (5,8 GHz) erhöht. Die Temperaturen wurden mit einem Pyrometer gemessen. Es stellten sich Temperaturen an der Oberfläche des Sandwich-Teils von ca. 145°C ein. Mit einer Wärmekamera wurde eine Erwärmung der Bereiche in Nachbarschaft der Leiterbahnen nach der Mikrowellenbestrahlung gefunden. Dies zeigt, dass hier eine Wärmeübertragung von den heißen Leiterbahnen erfolgt ist, aber kein gleichmäßiger Wärmeeintrag durch Mikrowellenstrahlung. Statt Pyrometer und Wärmebild-

kamera kann die Temperaturverteilung auch mit faseroptischen Sensoren ermittelt werden.

[0039] Das Sintern (Tempern) des Leitermaterials per Mikrowelle führt zu einer weiteren Verringerung des Widerstandes. Die Widerstände der Leiterbahnen **13** wurden mit einem Standard-Multimeter in etwa über die Länge der Leiterbahnen gemessen. Die Messwerte wurden über 5 Leiterbahnen gemittelt.

[0040] Die erste Probe hatte vor der Bestrahlung einen Widerstand von 1,9 Ohm, nach der Bestrahlung einen Widerstand von 1,2 Ohm. Man erkennt, dass der Nach-Sinterprozess mit Mikrowellenstrahlung eine Verringerung des Widerstands, d.h. eine Erhöhung der Leitfähigkeit bewirkt. Bei der zweiten Probe wurde der Widerstand von 2,2 Ohm auf 1,2 Ohm gesenkt.

[0041] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wurden zwei vorbehandelte Proben verwendet. Daran kann man erkennen, dass nicht der komplette Sinterprozess mit Mikrowellenstrahlung erfolgen muss. Es ist auch möglich, das Leitermaterial bei geringeren Temperaturen im Ofen vorzubehandeln und anschließend mit Mikrowellen eine Erhöhung der Leitfähigkeit durch Sintern zu erreichen.

[0042] Die Parameter-Bereiche können wie folgt definiert werden. Wenn die Substrat-Materialien ein Tg/Obergrenze Thermische Formstabilität/Tm < 100...120°C aufweisen, kann das Verfahren vorteilhaft sein, dass klassische Sintern versagt auf jeden Fall.

[0043] Bei Temperaturen von 100... 120°C werden Prozesszeiten von 20...40 min erreicht, je nach Probe bzw. Tinte. Die Leistung kann auch stufenweise erhöht und pro Leistung immer einige min gewartet werden, ob es blitzt und ob die Temperatur sich wie angestrebt verhält, d.h. nicht plötzlich nach oben wegläuft. Bei bekannten Systemen lässt sich die Zeit deutlich reduzieren, weil sofort mit einer zuvor als unkritisch ermittelten Leistung gearbeitet werden kann.

[0044] Für reines L10 wurde ϵ'' ca. 1 im relevanten Temperaturbereich bei 1 GHz, entsprechend entspricht etwa der MW-Arbeitsfrequenz bestrahlt. Für die Suszeptoren-Mischungen liegt der Temperaturbereich höher. Auch **L10** hat eine höhere Temperatur, aber deutlich langsamer als die Suszeptorenmischungen. $\epsilon''(@120^\circ\text{C}; @2,45 \text{ GHz}) < 1$ ist vorteilhaft, d.h. ein thermolabiles Material sollte diesen Wert nicht überschreiten, um in der Mikrowelle sich beim Sintern nicht zu stark zu erwärmen.

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

- DE 102015111555 B3 [0007, 0012]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Aufbringen von Leitermaterial auf Substrate mit den Schritten:

(a) Aufbringen des Leitermaterials in einer flüssigen oder vorbehandelten Matrix auf ein Substrat; und

(b) Entfernen der Matrix durch Sintern bei einer Temperatur oberhalb von 120°C; **dadurch gekennzeichnet**, dass

(c) das Sintern mittels Mikrowellenstrahlung erfolgt, wobei die Materialeigenschaften des Leitermaterials und/oder des Substrats und/oder Behandlungsparameter derart ausgewählt sind, dass das Leitermaterial mehr erwärmt wird als das Substrat.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat aus einem unpolaren und/oder mikrowellen-transparenten, temperaturlabilen Material besteht, dessen Form, Zusammensetzung, Härte oder anderer Zustand sich bei Erwärmung auf Temperaturen oberhalb von 120°C derart ändert, dass das Material für eine wirtschaftliche Verwertung ungeeignet ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat Abmessungen wenigstens in einer Richtung oberhalb von 10 cm, vorzugsweise oberhalb von 50 cm und höchst vorzugsweise oberhalb von 80 cm aufweist.

4. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat von einem Formteil mit drei-Dimensionalen Strukturen gebildet ist.

5. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat zumindest teilweise aus einem Material besteht, das ausgewählt ist aus Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS), Polyamid (PA), Polycarbonat (PC), Polymethylmethacrylat (PMMA), ABS, PVC, PET, POM, PBT oder Mischungen oder Zusammensetzungen daraus.

6. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Leitermaterial in Form von Leiterbahnen aufgebracht wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leiterbahnen mittels Tintenstrahl-, Aerosol-, Sieb-, Tampondruck oder anderer Druckverfahren aufgebracht werden.

8. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Leitermaterial Silber, Kupfer oder Carbonpartikel oder andere gut elektrisch leitende Materialien oder Legierungen enthält.

9. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine aushärtende Deckschicht oder eine Deckschicht mit einem Reaktivklebstoff vor dem Sintern auf das Substrat mit dem Leitermaterial aufgebracht wird.

10. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Sintern mit Mikrowellenstrahlung mit einem Mikrowellengerät erfolgt, welches wenigstens einen Monomode-Mikrowellenapplikator aufweist.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Sintern mit Mikrowellenstrahlung mit einem Mikrowellengerät erfolgt, welches zusätzlich wenigstens einen Multimode-Mikrowellenapplikator aufweist.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat mit dem Leitermaterial durch das Mikrowellengerät befördert wird.

13. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leistung der Mikrowellenstrahlung entsprechend dem zu bestrahlenden Material eingestellt wird.

14. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat mit dem Leitermaterial kontinuierlich und ungepulst mit Mikrowellenstrahlung bestrahlt wird.

15. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mikrowellen eine Wellenlänge zwischen 0,1 und 10 GHz, vorzugsweise zwischen 1 und 6 GHz und höchst vorzugsweise im Bereich zwischen 2,44 und 2,46 GHz und/oder 5,7 bis 5,9 GHz haben.

16. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Sintern eine Vorbehandlung vorgeschaltet ist, bei welcher bereits ein Teil der Matrix aus dem Leitermaterial ausgetrieben wurde.

17. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Leitermaterial von einem elektrisch und/oder thermisch leitfähigen Klebstoff zur Herstellung einer mechanischen Verbindung gebildet ist.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

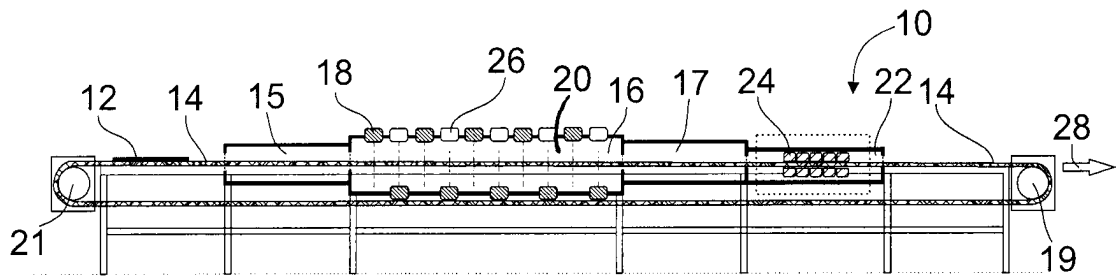


Fig. 1

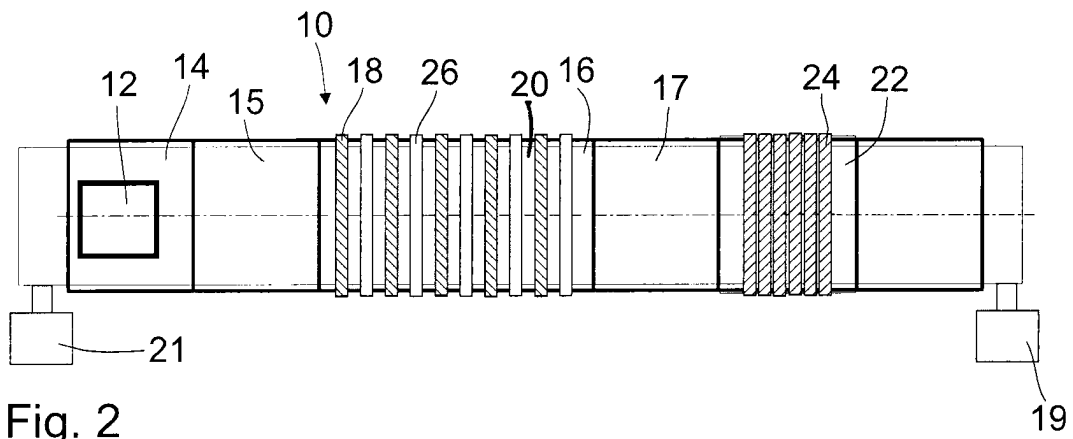


Fig. 2

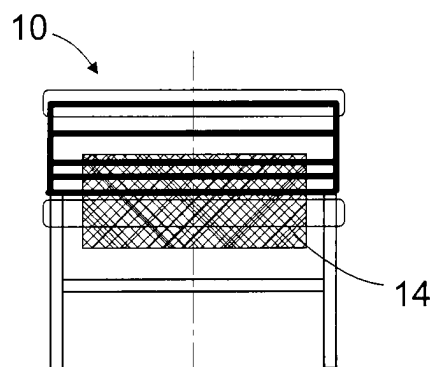


Fig. 3

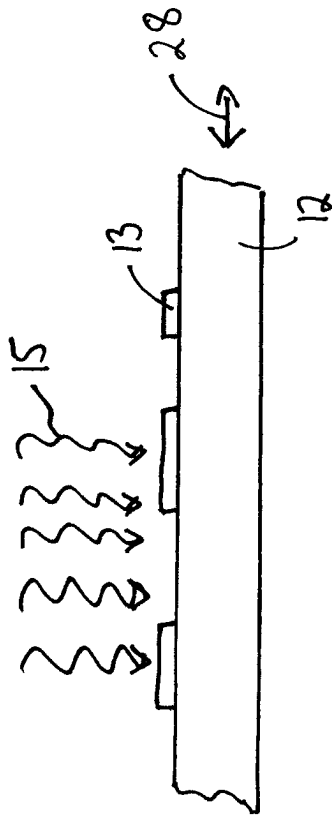


Fig. 4

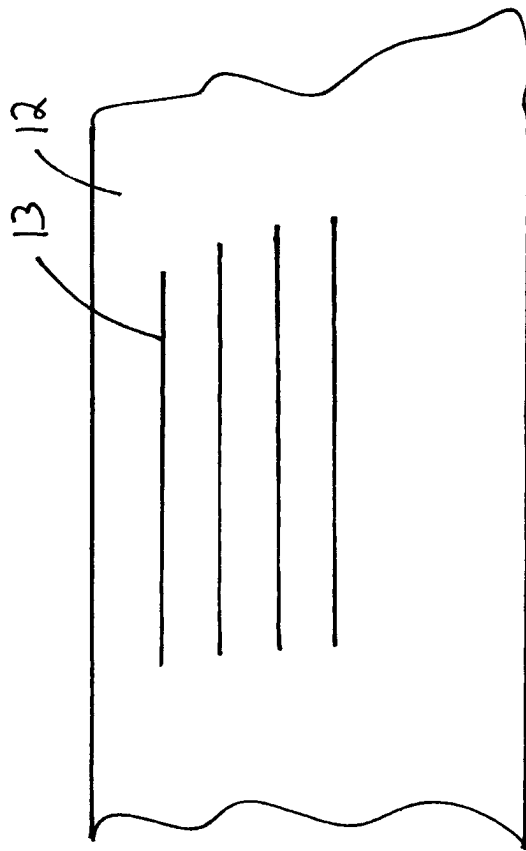


Fig. 5