



(10) **DE 10 2015 120 535 A1** 2017.06.01

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 120 535.1**

(22) Anmeldetag: **26.11.2015**

(43) Offenlegungstag: **01.06.2017**

(51) Int Cl.: **B81C 1/00 (2006.01)**
B29C 59/04 (2006.01)

(71) Anmelder:
**Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung e.V.,
04318 Leipzig, DE**

(74) Vertreter:
**Gulde & Partner Patent- und
Rechtsanwaltskanzlei mbB, 10179 Berlin, DE**

(72) Erfinder:
**Böhm, Georg, Dr., 04299 Leipzig, DE; Zimmer,
Klaus, Dr., 04539 Groitzsch, DE; Arnold, Thomas,
Prof. Dr., 04155 Leipzig, DE; Ehrhardt, Martin, Dr.,
04329 Leipzig, DE; Elsner, Christian, Dr., 04249
Leipzig, DE; Bayer, Lukas, Dr., 04157 Leipzig, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2012 010 635	A1
DE	10 2013 106 827	A1
DE	10 2013 203 829	A1
DE	600 07 535	T2
DE	696 18 929	T2
DE	11 2009 002 490	T5
CH	697 447	B1
US	2002 / 0 098 426	A1
US	5 259 926	A
EP	0 623 440	A1
WO	2008/ 086 116	A2

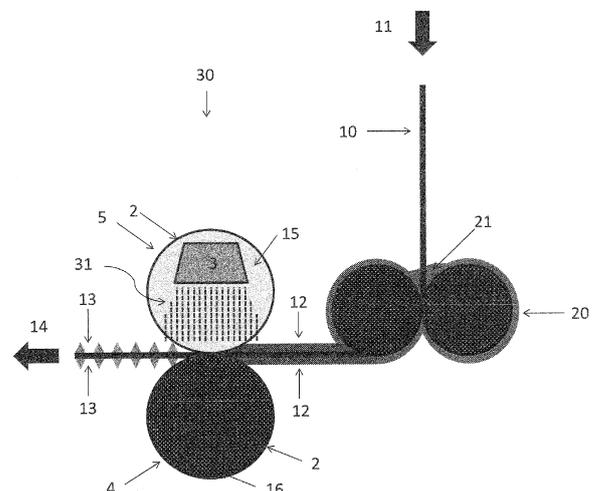
Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Herstellung einer beidseitig mikrostrukturierten Folie**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Herstellung einer beidseitig mikrostrukturierten Folie (13) sowie eine nach dem Verfahren hergestellte beidseitig mikrostrukturierte Folie (13). Die Vorrichtung umfasst:

- eine Beschichtungseinheit (20), mit der ein UV-aushärtbares Material (21) beidseitig auf eine Folie auftragbar ist;
- einen drehbaren ersten Walzenkörper (4) mit einer Mikrostruktur auf seiner Walzenoberfläche (2), wobei der erste Walzenkörper (4) so angeordnet ist, dass die Walzenoberfläche (2) die Mikrostruktur auf einer ersten Folienseite der beschichteten Folie (12) aufprägen kann;
- einen drehbaren zweiten Walzenkörper (5) mit einer Mikrostruktur auf seiner Walzenoberfläche (2), wobei der zweite Walzenkörper (5) so angeordnet ist, dass die Walzenoberfläche (2) die Mikrostruktur auf einer zweiten Folienseite der beschichteten Folie (12) aufprägen kann; und
- zumindest eine den Walzenkörpern (4,5) zugeordnete UV-Strahlungsquelle (3).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Herstellung einer beidseitig mikrostrukturierten Folie sowie eine nach dem Verfahren hergestellte Folie.

Technologischer Hintergrund

[0002] Oberflächen von biegsamen Trägermaterialien kontrolliert mit feinen, definierten Strukturen zu versehen, ist von großer Bedeutung in vielen technologischen Anwendungen, wie beispielsweise in der flexiblen Elektronik, der Mikrofluidik, bei elektronischen Schaltungen oder Herstellung flexibler Displays. Die Skala, auf der diese Oberflächen präzise hergestellt werden sollen, reicht dabei bis zur Mikroskala. Dann spricht man von Mikrostrukturen. Eine besondere Aufgabe ist es dabei, biegsame Trägermaterialien beidseitig mit hoher Überdeckungsgenauigkeit herzustellen.

[0003] In Kang et al., Sci. Rep. 4, 5387 (2014) wird das Drucken von RFID Bauelementen untersucht und hierfür einseitig verschiedene Schichten aufgebracht. Die Genauigkeit der Funktionsschichten bestimmt wesentlich die Funktionalität des Gesamtbauteils. Neben den Dimensionen der Muster in den einzelnen Schichten ist die Genauigkeit der Überlagerung der Muster ein weiteres wichtiges Merkmal. Die Überdeckungsgenauigkeit, die zwischen den einzelnen Schichten erreicht wurde, liegt im Bereich von $\pm 30 \mu\text{m}$. Hierbei erfolgte die Herstellung der strukturierten Elemente sequenziell an mehreren Stationen, wodurch verschiedene Ungenauigkeiten bezüglich der genauen Lage und damit der Überdeckungsgenauigkeit zu erwarten sind. Die Bestimmung der Überdeckungsgenauigkeit an verschiedenen Positionen zeigt, dass auch Fragen der Stabilität des Trägermaterials eine wichtige Rolle spielen.

[0004] Gegenwärtige Anwendungen, die eine hohe Überdeckungsgenauigkeit im Rolle-zu-Rolle-Produktion erfordern, sind: Herstellung flexibler Displays, elektronische Schaltungen auf flexiblen Träger und flexible Elektronik.

[0005] Gegenwärtige Verfahren zur Erzielung einer hohen Überdeckungsgenauigkeit beinhalten die Fixierung einer Folie auf einem steifen Substrat mit nachfolgender Prozessierung und Ablösung der Folie vor der Nutzung (Display).

[0006] In DE 10 2013 106827 A1 wird das Problem der deckungsgenauen Herstellung (Registriergenauigkeit) von Photomasken beschrieben, das auch durch den Verzug des Trägermaterials verursacht werden kann. Hierbei ist eine große Genauigkeit trotz Marken im Randbereich nicht über die gesamte Fläche erreichbar. Die vorgesehene Lösung beruht auf

der Anwendung einer inhärenten Maske, die nachfolgend in unterschiedliche Funktionsschichten übertragen wird. Nachteilig ist hierbei, dass diese inhärente Maskierungsschicht dauerhaft im Produkt verbleibt; darüber hinaus ist nur eine einseitige Registrierung möglich.

[0007] Bekannte Techniken der Herstellung von Oberflächenstrukturen durch Belichtung sind in CH 697447 diskutiert. Die UV-Belichtung zur Mikrostrukturierung von härtbaren Fotolacken in mehreren Schritten auf planen Substraten ist in GB 20090001958 dargestellt. Hierbei können auch unterschiedliche Masken, Musteroberflächen und Verfahren genutzt werden, um Oberflächenmikrostrukturen zu kopieren oder das flächig aufgetragene Photopolymer lokal zu lösen und so eine vielfältig strukturierte Oberfläche zu erhalten.

[0008] Grundlegende Methoden zur Mikrostrukturierung unter Nutzung von photohärtbaren Materialien und planen oder zylindrischen Masken sind in US 5,259,926 dargestellt. Hier wird in einem Mehrschrittverfahren eine bestimmte Substratfläche mit Mikrostrukturen versehen.

[0009] Die Herstellung einer Überdeckungsgenauigkeit beim UV-Härten von Photopolymeren mit UV-Licht wird in US 2002/098426 dargestellt und hierfür separate Strukturen in der Maske verwendet.

[0010] Die üblicherweise durchgeführte Vorgehensweise der Härtung von photohärtbaren Materialien über ein UV-transparentes Substrat während des Kontaktes mit einem mikrostrukturierten Metallzylinder ist beispielhaft in WO 2008/086116 A1 aufgeführt. Hier wird eine Seite des Bandmaterials durch UV-Trocknung von photohärtbaren Materialien beschichtet aber keine Überdeckungsgenauigkeit hergestellt.

[0011] In DE 69618929 T2 wird eine Glasrolle mit innenliegender UV-Lampe beschrieben, die zur Herstellung von Überzügen durch Aushärtung eines photohärtbaren Materials dienen. Allerdings trägt die Glasrolle keine definierten Strukturen, die auf das Substrat übertragen werden sollen. Die Glasrolle dient zum Andrücken und zur Weiterleitung des UV-Lichtes der darin angebrachten UV-Lampe. Folglich sind weder Forderungen an eine hohe Genauigkeit oder Überdeckungsgenauigkeit noch an eine Mikrostrukturierung der Oberfläche durch Nutzung der Glasrolle gegeben.

[0012] Die Strukturübertragung durch Aushärtung eines photohärtbaren Materials zur Herstellung von Mustern auf ebenen Substraten ist in EP 0 623 440 A1 dargestellt. Die verwendete Glasrolle aus ULE ist an der Oberfläche mit Mustern versehen, die durch UV-Bestrahlung eines photohärtbaren Materials auf ein ebenes Substrat übertragen wer-

den. Durch die hergestellten Strukturen wird ein Muster mit hoher Genauigkeit erzielt, dass allerdings keine Überdeckungsgenauigkeit aufweisen muss.

[0013] In DE 60 007 535 T2 wird durch eine UV-Strahlungsquelle ein photohärtbares Materialgehärtet, das im Kontakt mit einer glatten Oberfläche eines Walzenkörpers oder einer Folie ist. Die so hergestellte Folie weist besondere Eigenschaften für Displays auf, die sich durch eine bestimmte Dicke, eine hohe Transparenz und eine geringe Streuung beschrieben werden. Ein Flüssigkeitsdisplay wurde hieraus hergestellt.

[0014] Gegenwärtige technologische Fortschritte orientieren auf die Übertragung von Produktionsprozessen auf flexible Substrate, um Kosten zu sparen, Produkte leichter zu gestalten und die Flexibilität für die Nutzung zu gewährleisten. Zunächst müssen hierfür die Standardprozesse wie Schichtabscheidung, Ätzen und Strukturdefinition auf flexible Substrate übertragen werden. Die Standardlösung der Dünnschichttechnik, die Verknüpfung von Schichtabscheidung, Fotolithografie und Ätzen birgt bereits beträchtliche Herausforderungen für den Rolle-zu-Rolle Betrieb.

[0015] Besondere Herausforderungen werden an die Strukturdefinition gestellt, die nicht nur durch die Auflösung sondern auch durch die Überdeckungsgenauigkeit charakterisiert ist.

[0016] In DE 10 2013 203 829 A1 wird eine Vorrichtung und ein Spritzgussverfahren zur Herstellung beidseitig mikrostrukturierter Verbundfolien, die unterschiedliches plastisch-elastisches Verhalten auf der Ober- und Unterseite zeigen, beschrieben. Die Verbundfolie, die mindestens aus zwei Folienschichten bzw. -lagen besteht, besitzt lokal definierte Abschnitte mit hydrophoben und/oder hydrophilen Eigenschaften auf der Oberfläche. Die Vorrichtung umfasst ein zweiteiliges Formwerkzeug, das eine Patrizie und eine Matrize aufweist, die so zueinander angeordnet sind, dass zwischen ihnen ein verstellbarer Spalt mit einer Breite von 10 µm bis mindestens 500 µm einstellbar ist. Die Patrizie weist Oberflächenausformungen zwischen 1 und 100 µm auf der zum Spalt gerichteten Seite als Negativ für gewünschte unterschiedliche Mikrostrukturen auf. Die Matrize ist UV-strahlungsdurchlässig und weist ebenfalls auf der zum Spalt gerichteten Seite Vertiefungen in Abstimmung mit den Oberflächenausformungen der Patrizie auf.

[0017] Die üblicherweise sequenziell nacheinander erfolgende Mikrostrukturierung durch Kopiertechniken wie Drucken, Lithographie oder Prägen erfordert eine erneute Ausrichtung von Substrat und Kopiermaster z. B. bei jedem Strukturierungsschritt. Hierbei ist auch die Berücksichtigung von Veränderun-

gen des Trägers, beispielsweise der Folie, erforderlich; Dimensionsveränderungen des Trägers bewirken Lageveränderungen der Referenz- oder Funktionsstruktur und haben damit wesentlichen Einfluss auf die Funktionalität.

[0018] Diese Veränderungen des Trägers können u. a. durch mechanische oder thermische Einflüsse hervorgerufen werden, wie Sie beim Prägen auftreten.

Zusammenfassung der Erfindung

[0019] Ein oder mehrere der geschilderten Nachteile des Standes der Technik werden mit Hilfe der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Herstellung einer beidseitig mikrostrukturierten Folie gelöst oder zumindest gemindert. Dazu umfasst die Vorrichtung:

- eine Beschichtungseinheit, mit der ein UV-aushärtbares Material beidseitig auf eine Folie auftragbar ist;
- einen drehbaren ersten Walzenkörper mit einer Mikrostruktur auf seiner Walzenoberfläche, wobei der erste Walzenkörper so angeordnet ist, dass die Walzenoberfläche die Mikrostruktur auf einer ersten Folienseite der beschichteten Folie aufprägen kann;
- einen drehbaren zweiten Walzenkörper mit einer Mikrostruktur auf seiner Walzenoberfläche, wobei der zweite Walzenkörper so angeordnet ist, dass die Walzenoberfläche die Mikrostruktur auf einer zweiten Folienseite der beschichteten Folie aufprägen kann; und
- zumindest eine den Walzenkörpern zugeordnete UV-Strahlungsquelle.

[0020] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass Vorder- und Rückseite einer beschichteten Folie gleichzeitig mit Mikrostrukturen mit hoher Überdeckungsgenauigkeit aus einem UV-aushärtbaren Material präpariert werden können, wenn dabei zwei Walzenkörper mit jeweils vorgegebenen Mikrostrukturen auf deren Walzenoberfläche zur Verfügung gestellt werden. Die erzeugten Mikrostrukturen werden dabei unmittelbar nach ihrer Ausformung mittels UV-Licht ausgehärtet.

[0021] Die Vorrichtung umfasst eine Beschichtungseinheit, mit der ein UV-aushärtbares Material beidseitig auf eine Folie auftragbar ist. Die Beschichtungseinheit hat also die Aufgabe, das UV-aushärtbare Material auf Vorder- und Rückseite der Folie aufzutragen. Dazu wird die Folie vorzugsweise vorbehandelt, um eine bessere Haftung des aufzutragenden Materials an deren Oberflächen zu gewährleisten. Die Vorbehandlung kann dabei beispielsweise eine Reinigung und Aktivierung der Oberflächen durch Koronaentladung umfassen.

[0022] Die Beschichtungseinheit umfasst dazu beispielsweise zwei Walzen, die mit dem aufzutragen-

den Material benetzt sind. Die Position der beiden Walzen ist dabei so gewählt, dass die Folienober- und Unterseite jeweils von einer Walze beschichtbar ist. Je nach Aufgabenstellung bzw. Anforderung an das Endprodukt können beide Seiten der Folie mit unterschiedlichen Beschichtungsmaterialien benetzt werden. Über die Beschichtungseinheit ist zudem die Dicke der Beschichtung einstellbar und kann den Dimensionen der aufzuprägenden Strukturen entsprechend angepasst werden. Gegebenenfalls kann die Schichtdicke auf beiden Seiten der Folie unterschiedlich hoch sein.

[0023] Die Folie kann beispielsweise aus einem flexiblen Kunststoffmaterial geformt sein und aufgewickelt auf einer Rolle bereitgestellt werden.

[0024] Das Beschichtungsmaterial enthält eine UV-aushärtbare Komponente und sogenannten Photoinitiatoren. Das Beschichtungsmaterial kann darüber hinaus Additive, Füllstoffe, Pigmente, etc. enthalten.

[0025] Als UV-aushärtbare Komponente eignen sich insbesondere organische Monomere und Oligomere, die eine für die freie radikalische oder kationische Polymerisation geeignete Funktionalität aufweisen. Durch UV-Bestrahlung wird die Polymerisationsreaktion zu hochmolekularen Polymersystemen eingeleitet.

[0026] Als Polymerisationsmechanismus ist sowohl die freie radikalische Polymerisation als auch die kationische Polymerisation geeignet.

[0027] Für die strahleninitiierte (photoinitiierte) freie radikalische Polymerisation werden vorzugsweise als UV-aushärtbare (niedermolekulare) Komponenten Verbindungen eingesetzt, die der Klasse der Acrylate, Methacrylate, Acrylamide, Methacrylamide, Vinylverbindungen oder Styrolverbindungen zugeordnet sind. Die niedermolekularen Verbindungen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie mindestens eine radikalisch polymerisierbare Gruppe im Molekül aufweisen. Vernetzer sind Komponenten mit mindestens zwei polymerisierbaren Gruppen im Molekül. Zusätzlich tragen die Komponenten mindestens eine weitere eigenschaftsbestimmende Funktionalität. Für den speziellen Fall der Acrylate mit der allgemeinen Struktur $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOR}$ sowie Methacrylate mit der allgemeinen Struktur $\text{CH}_2=\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{COOR}$ ist die Art des Rests R mit eigenschaftsbestimmend. Sie können beispielsweise folgenden kommerziell verfügbaren Klassen zugehörig sein: aliphatische und aromatische Urethanacrylate, Polyetheracrylate, Polyesteracrylate, Epoxyacrylate, acrylische Acrylate, mono-, bi-, tri- oder multifunktionale Acrylate.

[0028] Die Photoinitiatoren, welche typischerweise einer Formulierung bis zu einem Anteil von 10% zugesetzt werden können, gehören im Fall der freien

radikalischen Polymerisation u.a. folgenden Klassen an: Typ I-Photoinitiatoren (z.B. Benzoinderivate, Acetophenonderivate, Benzilketale, alpha-Hydroxyalkylphenone und alpha-Aminoalkylphenone, O-Acyl-alpha-oximinoketone, Acylphosphinoxide und Acylphosphonate, Peroxyverbindungen) und Typ II-Photoinitiatoren (z.B. Benzophenone, Xanthone und Thioxanthone, alpha-Ketocoumarine, aromatische 1,2-Diketone, Phenylglyoxylate).

[0029] Komponenten der Formulierungen für die photoinitiierte kationische Polymerisation sind Verbindungen aus der Klasse der cycloaliphatischen Epoxide (z.B. 3,4-Epoxy-cyclohexylmethyl-3',4'-epoxy-cyclohexancarboxylat), Epoxide, epoxidierte Verbindungen wie beispielsweise epoxidiertes Leinöl, Vinylether, Polyole, Oxetane, Hydroxyverbindungen, Etherverbindungen und Siloxane. Diese verfügen über mindestens eine kationische polymerisierbare Gruppe. Analog zu der radikalischen Polymerisation wirken als Vernetzer Komponenten, die mindestens zwei polymerisierbare Gruppen aufweisen.

[0030] Die Photoinitiatoren gehören im Fall der kationischen Photopolymerisation u.a. folgenden Verbindungsklassen an: Onium-Salze (Aryldiazoniumsalze, Diaryliodonium- und Triarylsulfoniumsalze, Phenacylsulfonium- und 4-Hydroxyphenylsulfoniumsalze, Sulfoxoniumsalze) und gemischte Ligand-Aren-Cyclopentadienyl-Metallsalze. Kationische und freie radikalische Polymerisation können in Hybridsystemen konkurrierend ablaufen.

[0031] Die Vorrichtung umfasst weiterhin (i) einen drehbaren ersten Walzenkörper mit einer Mikrostruktur auf seiner Walzenoberfläche, wobei der erste Walzenkörper so angeordnet ist, dass die Walzenoberfläche die Mikrostruktur auf einer ersten Folienseite der beschichteten Folie aufprägen kann, und (ii) einen drehbaren zweiten Walzenkörper mit einer Mikrostruktur auf seiner Walzenoberfläche, wobei der zweite Walzenkörper so angeordnet ist, dass die Walzenoberfläche die Mikrostruktur auf einer zweiten Folienseite der beschichteten Folie aufprägen kann. Mit anderen Worten, die Folie wird so durch die Vorrichtung geführt, dass die beiden Walzenoberflächen in Kontakt mit dem aufgetragenen Beschichtungsmaterial kommen und dadurch die Mikrostruktur in das noch nicht ausgehärtete Material einprägen.

[0032] Zur Mikrostrukturierung der beschichteten Folie werden zwei Walzenkörper verwendet, die typischerweise eine Zylinderform aufweisen. Die aufgeprägte Mikrostruktur befindet sich dabei auf den Mantelflächen der Zylinder.

[0033] Die Mikrostrukturierung von metallischen Walzenkörpern selbst kann dem Stand der Technik entnommen werden, siehe dazu insbesondere DE 10 2012 010 635 A1. Hierbei wird ein mit einer

Sammellinse mit 60 mm Brennweite fokussierter Ultrakurzpulslaser kontrolliert über die Walzenkörperoberflächen geführt und dabei Material abgetragen. Die Führungsgeschwindigkeit und Anzahl der Überfahrten bestimmt dabei den Abtrag auf der zu präparierenden Oberfläche. Mit einer Steuereinheit werden in kontrollierter Weise genau definierte Oberflächenstrukturen erzeugt. Die durch den Laser erzeugte Rauheit der Oberflächenstrukturen kann beispielsweise mit einem mittels Mikrowellen angeregten Edelgasplasmajet geglättet werden, der computergesteuert über die strukturierte Oberfläche geführt wird.

[0034] Die Mikrostrukturen auf beiden Walzenkörpern können gleich oder verschieden sein. Mikrostrukturen umfassen insbesondere mikroskopisch feine, nur mit optischen Hilfsmitteln erkennbare Strukturen.

[0035] Die Vorrichtung umfasst ferner zumindest eine den Walzenkörpern zugeordnete UV-Strahlungsquelle. Eine UV-Strahlungsquelle wird insbesondere so angeordnet, dass der Kontaktbereich von Walzenkörperoberfläche und beschichteter Folie vom UV-Lichtfeld bestrahlt wird. Bei typischen Wellenlängen von 250 bis 370 nm kann die Bestrahlungsstärke im Kontaktbereich dabei beispielsweise 10 W/cm² betragen. Die UV-Strahlungsquelle dient dazu, das zur Initialisierung der härtenden Polymerisationsreaktion benötigte UV-Licht zur Verfügung zu stellen. Durch die UV-Härtung ist eine sehr schnelle Abformung möglich, wie sie für die Mikrostrukturierung von Folien notwendig ist. Weiterhin ist der Energieeintrag für die Härtung nichtthermischer Art, so dass die Mikrostrukturierung bei Raumtemperatur erfolgen kann. Dadurch ist vorteilhafterweise kein Vorhalt infolge thermisch bewirkter Verschiebungen erforderlich, noch ist die Verzerrung der Struktur durch thermisch bedingte Verformungen im Träger der Strukturen zu erwarten.

[0036] Vorzugsweise sind die beiden Walzenkörper so zueinander angeordnet, dass die beiden Walzenoberflächen sich spiegelsymmetrisch bezüglich der zwischen den Walzenkörpern verlaufenden Folie gegenüberliegen. Mit anderen Worten, im Kontaktbereich ist jeder Punkt der Folie von den Zentren der Walzenkörper gleichweit entfernt. Hierdurch lassen sich die Mikrostrukturen auf beiden Seiten der Folie mit höchster Präzision gleichzeitig Einprägen. Ferner ist bevorzugt, wenn mindestens ein Walzenkörper aus einem UV-transparenten Material hergestellt ist. Insbesondere kann als UV-transparentes Material Quarzglas verwendet werden. Ferner kann der aus UV-transparentem Material bestehende Walzenkörper eine innerhalb dieses Walzenkörpers angeordnete UV-Strahlungsquelle aufweisen. Hierdurch kann das zum Aushärten notwendige UV-Licht unmittelbar an den Kontaktbereich der Walzenkörper mit dem Beschichtungsmaterial auf der Folie geleitet

werden. Die erzeugten Mikrostrukturen werden also direkt nach ihrer Entstehung ausgehärtet. Es ist demnach bevorzugt, wenn die UV-Strahlungsquelle so orientiert ist, dass die UV-Strahlung auf einen Punkt des kürzesten Abstandes zu beiden Walzenoberflächen gerichtet ist.

[0037] Im Fall von aus Quarzglas bestehenden Walzenkörpern kann die Strukturierung der Oberfläche ebenfalls mit Hilfe von schichtabtragenden Ultrakurzpulslasern erfolgen. Auch andere Verfahren der Mikrostrukturierung wie Druckverfahren und/oder Wasser- oder Sandstrahlverfahren oder Ultraschallabtragverfahren sowie der Oberflächenglättung, z. B. Laserbestrahlung, chemisches Ätzen oder Flammpolieren, sind anwendbar.

[0038] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer beidseitig mikrostrukturierten Folie. Das Verfahren umfasst die Schritte:

- a) Bereitstellen einer Vorrichtung der vorab geschilderten Ausführung;
- b) Beidseitiges Beschichten der Folie mit einem UV-aushärtbaren Material;
- c) Aufprägen einer Mikrostruktur auf einer ersten Folienseite mittels des ersten Walzenkörpers;
- d) Aufprägen einer Mikrostruktur auf einer zweiten Folienseite mittels des zweiten Walzenkörpers; und
- e) Aushärten der mikrostrukturierten Folie durch UV-Bestrahlung.

[0039] Im Schritt a) wird demnach die zuvor beschriebene erfindungsgemäße Vorrichtung zur Herstellung einer beidseitig mikrostrukturierten Folie bereitgestellt.

[0040] Die (gegebenenfalls vorpräparierte) Folie wird im Schritt b) einer Beschichtungseinheit zugeführt, die, wie oben bereits ausgeführt, aus zwei paarweise angeordneten drehbaren Walzen bestehen kann mit denen das Beschichtungsmaterial beidseitig auf die Folie aufgetragen wird.

[0041] Die beschichtete Folie wird in Schritt c) beziehungsweise Schritt d) den beiden Walzenkörpern zugeführt und so in Kontakt mit den Walzenoberflächen gebracht, so dass die vorgegebene Struktur auf die beschichtete Folie aufgeprägt wird.

[0042] Zum dauerhaften Erhalt der Mikrostruktur wird im Schritt e) die Oberflächenkontur der Folie durch photoinduzierte Polymerisation ausgehärtet.

[0043] Das Verfahren ist in chronologischer Reihenfolge so geordnet, dass der Schritt e) des Aushärtens vorzugsweise unmittelbar nach oder zeitgleich mit dem Aufprägen der Mikrostrukturen im Schritt c) beziehungsweise Schritt d) erfolgt. Dadurch wird sichergestellt, dass die von den Walzenoberflächen

aufgeprägte Mikrostruktur ihre Form vor dem Aushärten nicht oder nur minimal ändert.

[0044] Vorzugsweise werden für das Hindurchführen durch die Walzenkörperoberflächen der beschichteten Folie Foliengeschwindigkeiten im Bereich von 10^{-3} m/s bis 2 m/s vorgegeben. Dieser Geschwindigkeitsbereich ist geeignet, um eine definierte Mikrostrukturierung zu gewährleisten.

[0045] Die Rotationsgeschwindigkeiten der beiden Walzenkörper werden miteinander synchronisiert. Die synchrone Bewegung der beiden Walzenkörper kann durch eine elektronische Steuerung der beiden Walzenantriebe erzielt werden. Die Drehgeschwindigkeit der Walzenoberflächen kann durch lokale Geschwindigkeitsmessung an den Walzenoberflächen kontrolliert und es kann bei vorliegenden Geschwindigkeitsdifferenzen eine Nachregelung erfolgen. Die Drehbewegung wird an die Foliengeschwindigkeit so angepasst, dass die Bahngeschwindigkeit der Walzenoberflächen mit der Foliengeschwindigkeit übereinstimmt. Durch Feinjustierung von Position und Geschwindigkeit der Walzenoberflächen wird eine hohe Überdeckungsgenauigkeit von Ober- und Unterseite erzielt. Ferner ist das Verfahren zur beidseitigen Strukturierung von Folien nicht auf der Mikroskala beschränkt, sondern kann beispielsweise mit Hilfe von noch feiner strukturierten Walzenoberflächen auf Strukturen im Bereich der Mesoskala ausgedehnt werden. Ferner sind Hilfsstrukturen auf den Walzenkörpern denkbar, die die synchrone Bewegung sicherstellen.

[0046] Schließlich betrifft die Erfindung eine nach dem vorab beschriebenen Verfahren hergestellte beidseitig mikrostrukturierte Folie. Die beidseitig mikrostrukturierte Folie zeichnet sich dabei durch eine hohe Überdeckungsgenauigkeit von Ober- und Unterseite aus. Zusammen mit der Flexibilität des Trägermaterials ist dieses Produkt prädestiniert für Anwendungen im Bereich der flexiblen Elektronik, der Mikrofluidik, bei elektronischen Schaltung oder Herstellung flexibler Displays.

[0047] Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den weiteren Ansprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung.

Kurzbeschreibung der Figuren

[0048] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels und dazugehöriger Zeichnungen näher erläutert. Die Figuren zeigen:

[0049] Fig. 1 Schematische Darstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung und des Verfahrens zur Herstellung einer beidseitig mikrostrukturierten Folie mit einer UV-Strahlungsquelle gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel

[0050] Fig. 2 Schematische Darstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung und des Verfahrens zur Herstellung einer beidseitig mikrostrukturierten Folie mit zwei UV-Strahlungsquellen gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0051] Fig. 1 zeigt eine schematische Vorrichtung zur Herstellung einer beidseitig mikrostrukturierten Folie **13**. Die Vorrichtung wird perspektivisch im Querschnitt betrachtet. Statisch umfasst die Vorrichtung eine Beschichtungseinheit **20** sowie eine Strukturierungseinheit **30**.

[0052] Die Beschichtungseinheit **20** ist beispielhaft durch zwei paarweise angeordnete Walzen **22** realisiert, die in dieser Querschnittsperspektive als Kreis dargestellt sind. Die Walzen **20** sind mit dem UV-aushärtbaren Material **21** benetzt, was durch einen dünnen Kreisring dargestellt ist. Die Beschichtungseinheit **20** kann alternativ aus weiteren Walzen bestehen, um eine geänderte Folienführung sowie einen anderen Auftrag des UV-aushärtbaren Materials **21** zu ermöglichen. Alternativ können andere Beschichtungsmethoden zum Einsatz kommen, wie beispielsweise Besprühen, Vernebeln, Auftrag über eine Schlitzdüse usw.

[0053] Die Strukturierungseinheit **30** umfasst einen ersten Walzenkörper **4** und einen zweiten Walzenkörper **5**, die gegenüberliegend paarweise angeordnet sind und ebenfalls als Kreise dargestellt sind. Der Rand beider Walzenkörper **4**, **5** stellt jeweils eine mikrostrukturierte Walzenoberfläche **2** dar.

[0054] Der erste Walzenkörper **4** besteht aus UV-intransparentem Material **16** und ist durch eine geringere Transparenz des Kreisinneren gekennzeichnet. Der zweite Walzenkörper **5** besteht aus einem UV-transparenten Material **15**, hier Quarzglas, und ist in der Figur durch eine hohe Transparenz des Kreisinneren als solches gekennzeichnet. Im Innern des zweiten Walzenkörpers **5** befindet sich eine UV-Strahlungsquelle **3**, die UV-Strahlung **31** in den vom ersten Walzenkörper **4** und zweiten Walzenkörper **5** gebildeten Zwischenraum emittiert.

[0055] Dynamisch ist in Fig. 1 folgendes Verfahren dargestellt. Eine Folie **10** wird über eine Zuführung **11**, angezeigt durch einen Pfeil, der Beschichtungseinheit **20** zugeführt. Durch Kontakt der Folie **10** mit den mit UV-aushärtbarem Material **21** benetzten Oberflächen der drehbaren Walzen **22** erzeugt die Beschichtungseinheit **20** als Edukt eine beidseitig mit UV-aushärtbarem Material **21** beschichtete Folie **12**.

[0056] Dann wird die beidseitig beschichtete Folie **12** der Strukturierungseinheit **30** so zugeführt, dass die beidseitig beschichtete Folie **12** gleichzeitig in Kon-

takt mit den Walzenoberflächen **2** des ersten Walzenkörpers **4** und des zweiten Walzenkörpers **5** kommt. Durch die synchrone Drehung der beiden Walzenkörper **4, 5** wird die Mikrostruktur der beschichteten Folie **12** beidseitig aufgeprägt und durch die UV-Strahlungsquelle **3** ausgehärtet. Es erfolgt die Abführung **14** des Endprodukts, eine beidseitig mikrostrukturierte Folie **13**. Die hohe Überdeckungsgenauigkeit zwischen Ober- und Unterseite der beidseitig mikrostrukturierten Folie **13** wird schematisch durch Dreiecksprofile auf beiden Seiten gekennzeichnet, die spiegelsymmetrisch bezüglich der Folie angeordnet sind.

[0057] Fig. 2 zeigt eine schematische Vorrichtung zur Herstellung einer beidseitig mikrostrukturierten Folie **13** gemäß einer zweiten Ausführungsform. Im Unterschied zu Fig. 1 bestehen beide Walzenkörper **4, 5** aus UV-transparentem Material **15** und besitzen jeweils eine innerhalb der Walzenkörper **4, 5** angeordnete UV-Strahlungsquelle **3**. Die UV-Strahlungsquellen **3** sind dabei symmetrisch bezüglich der beschichteten Folie **12** angeordnet und bestrahlen somit beide Seiten der Folie mit UV-Strahlung **31**. Der Vorteil dieser Anordnung ist, dass selbst für beschichtete Folien **12**, die intransparent gegenüber UV-Strahlung **31** sind, eine beidseitige Aushärtung der durch die Walzenkörper **4, 5** aufgeprägten Mikrostrukturen gewährleistet ist.

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 102013106827 A1 [0006]
- CH 697447 [0007]
- GB 20090001958 [0007]
- US 5259926 [0008]
- US 2002/098426 [0009]
- WO 2008/086116 A1 [0010]
- DE 69618929 T2 [0011]
- EP 0623440 A1 [0012]
- DE 60007535 T2 [0013]
- DE 102013203829 A1 [0016]
- DE 102012010635 A1 [0033]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Kang et al., Sci. Rep. 4, 5387 (2014) [0003]

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Herstellung einer beidseitig mikrostrukturierten Folie (**13**), umfassend
 – eine Beschichtungseinheit (**20**), mit der ein UV-aushärtbares Material (**21**) beidseitig auf eine Folie (**10**) auftragbar ist;

– einen drehbaren ersten Walzenkörper (**4**) mit einer Mikrostruktur auf seiner Walzenoberfläche (**2**), wobei der erste Walzenkörper (**4**) so angeordnet ist, dass die Walzenoberfläche (**2**) die Mikrostruktur auf einer ersten Folienseite der beschichteten Folie (**12**) aufprägen kann;

– einen drehbaren zweiten Walzenkörper (**5**) mit einer Mikrostruktur auf seiner Walzenoberfläche (**2**), wobei der zweite Walzenkörper (**5**) so angeordnet ist, dass die Walzenoberfläche (**2**) die Mikrostruktur auf einer zweiten Folienseite der beschichteten Folie (**12**) aufprägen kann; und

– zumindest eine den Walzenkörpern (**4, 5**) zugeordnete UV-Strahlungsquelle (**3**).

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die beiden Walzenkörper (**4,5**) so zueinander angeordnet sind, dass die beiden Walzenoberflächen (**2**) sich spiegelsymmetrisch bezüglich der zwischen den Walzenkörpern (**4, 5**) verlaufenden beschichteten Folie (**12**) gegenüberliegen.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei der mindestens ein Walzenkörper, (**4**) oder (**5**), aus einem UV-transparenten Material (**15**) hergestellt ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, bei der der aus UV-transparentem Material (**15**) bestehende Walzenkörper eine innerhalb dieses Walzenkörpers angeordnete UV-Strahlungsquelle (**3**) besitzt.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, bei der die UV-Strahlungsquelle (**3**) so orientiert ist, dass die UV-Strahlung (**31**) auf einen Punkt des kürzesten Abstandes zu beiden Walzenoberflächen (**4, 5**) gerichtet ist.

6. Verfahren zur Herstellung einer beidseitig mikrostrukturierten Folie (**13**), umfassend die Schritte:

a) Bereitstellen einer Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche;

b) Beidseitiges Beschichten der Folie (**10**) mit einem UV-aushärtbaren Material (**21**);

c) Aufprägen einer Mikrostruktur auf einer ersten Folienseite mittels des ersten Walzenkörpers (**4**);

d) Aufprägen einer Mikrostruktur auf einer zweiten Folienseite mittels des zweiten Walzenkörpers (**5**); und

e) Aushärten der mikrostrukturierten Folie durch UV-Bestrahlung (**31**).

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem der Schritt e) des Aushärtens unmittelbar nach oder zeitgleich

mit dem Aufprägen der Mikrostrukturen im Schritt c) beziehungsweise Schritt d) erfolgt.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, bei dem eine Foliengeschwindigkeit im Bereich von 10^{-3} m/s bis 2m/s liegt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, bei dem eine Rotationsgeschwindigkeit der beiden Walzenkörper (**4, 5**) synchronisiert wird.

10. Beidseitig mikrostrukturierte Folie (**13**) hergestellt nach einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 6 bis 9.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

