



(10) **DE 10 2012 108 796 B4** 2021.03.04

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 108 796.2**
(22) Anmeldetag: **18.09.2012**
(43) Offenlegungstag: **28.03.2013**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **04.03.2021**

(51) Int Cl.: **H01L 41/107** (2006.01)
H01L 41/22 (2013.01)
G01N 29/04 (2006.01)
H03H 9/05 (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).

(30) Unionspriorität:
13/240,754 **22.09.2011** **US**

(73) Patentinhaber:
General Electric Company, Schenectady, N.Y., US

(74) Vertreter:
**Rüger Abel Patent- und Rechtsanwälte, 73728
Esslingen, DE**

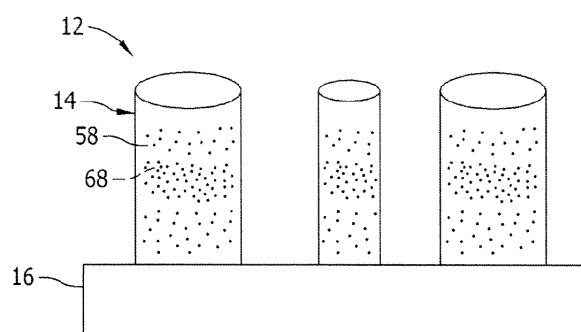
(72) Erfinder:
**Krohn, Matthew Harvey, Lewistown, US; Singh,
Prabhjot, Niskayuna, US; Meyer, Paul Aloysius,
Lewistown, US; Luo, Wei, Lewistown, US**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	2009 / 0 230 823	A1
WO	2009/ 102 544	A1
JP	2005- 342 337	A

(54) Bezeichnung: **Wandlerstruktur für eine Wandlersonde und ein Verfahren zur Herstellung derselben**

(57) Hauptanspruch: Keramische Verbundwerkstoff-Wandlerstruktur (10) zur Verwendung bei der Konstruktion einer Ultraschallsonde (50), wobei die Struktur (10) aufweist:
ein Substrat (16); und
eine Vielzahl von piezoelektrischen Wandlersäulen (14), die auf dem Substrat (16) in einer Vielzahl von räumlichen Positionen kontrolliert geformt sind, welche sich auf einer X-Y-Ebene des Substrats (16) befinden, wobei die piezoelektrischen Säulen (14) eine Vielzahl von Formen aufweisen, die in einer X-Y-Z-Ebene des Substrats definiert sind (16), wobei die piezoelektrischen Wandlersäulen (14) so konfiguriert sind, dass Scherwellen innerhalb der Ultraschallsonde (50) minimiert sind;
dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine der Vielzahl von piezoelektrischen Wandlersäulen (14) eine nicht-einheitliche Dichte aufweist.



Beschreibung**HINTERGRUND DER ERFINDUNG**

[0001] Gegenstand der Erfindung sind Wandlerstrukturen, und genauer gesagt Verfahren und Systeme für eine kontrollierte Formung und Anordnung einer Wandlerstruktur zur Benutzung in Wandlersonden.

[0002] Ultraschallsonden, die häufig eine piezoelektrische Säule oder eine Anordnung von piezoelektrischen Säulen umfassen, werden in verschiedenen Anwendungen eingesetzt, wozu auch zerstörungsfreie Bildgebung eines Inneren von Strukturen, beispielsweise durch Ultraschallabtastung, gehört. In vielen solchen Bildgebungsanwendungen ist es wünschenswert, einen Verbundwerkstoff zu benutzen, der normalerweise aus einem piezoelektrischen Material und einem nicht-piezoelektrischen Material besteht. Dieses Verbundmaterial ergibt verglichen mit den monolithischen piezoelektrischen Materialien eine besseren piezoelektrische Leistung. Es ist notwendig, die Größe der einzelnen piezoelektrischen Bestandteile, aus denen das Verbundmaterial besteht, so weit wie möglich zu reduzieren, um den Betrieb bei höheren Frequenzen zu ermöglichen, wodurch wiederum eine höhere Auflösung in dem erfassten Bild gewährleistet werden kann. Bekannte Dice-and-Fill-Verfahren zur Herstellung von piezoelektrischen Wandlern erreichen im Allgemeinen eine Auflösungsgrenze, wenn Säulen in den piezoelektrischen Wandlern in ihrer Größe reduziert werden. Außerdem sind bekannte Verfahren zur Herstellung von Sonden, wie beispielsweise Dice-and-Fill-Verfahren, auf die Herstellung von geradlinigen Fallkerben zwischen den Wandlersäulen beschränkt, wodurch die zur Verfügung stehende Wandler-Konstruktionsfläche reduziert wird, z.B. werden Wandlersäulen-Anordnungen, Querschnittsformen und die Möglichkeit zur Herstellung von frei geformten dreidimensionalen Wandler-Bauteilen eingeschränkt.

[0003] Der Betrieb bei bekannten Ultraschallsonden bei höheren Frequenzen wird teilweise erreicht durch die Minderung der Dicke des Wandlermaterials und die entsprechende Reduktion der x-y-Querschnittsfläche der piezoelektrischen Säulen, aus denen der Wandler besteht. Diese Betriebsweise resultiert in einer Erhöhung der Dicing-Zeit, die zum Abschluss der Herstellung des Wandlers notwendig ist. Außerdem wird die Produktionsausbeute des Dice-and-Fill-Verfahrens zur Herstellung von Hochfrequenz-Wandlern im Allgemeinen im Vergleich zur Produktionsausbeute von konventionell hergestellten Wandlern mit niedrigeren Frequenzen aufgrund der erhöhten Wahrscheinlichkeit von Brüchen bei (dünneren) piezoelektrischen Säulen reduziert. Zusätzlich können im Zuge von bekannten Herstellungsverfahren Wandler mit Scherwellen produziert werden, bei denen es dazu

kommt, dass sich innerhalb der Verbundkonstruktion eine oder mehrere Ultraschall-Wellenlängen ausbreiten. Scherwellen verursachen Konstruktionseinschränkungen bei Sonden und verursachen akustische Störungen in Sonden, wie beispielsweise Klingen.

[0004] WO 2009 / 102 544 A1 offenbart eine keramische Verbundwerkstoff-Wandlerstruktur zur Verwendung bei der Konstruktion einer Ultraschallsonde mit einem Substrat und einer Vielzahl von auf dem Substrat geformten piezoelektrischen Wandlersäulen mit den Merkmalen des Oberbegriffs des unabhängigen Anspruchs 1. In einer Ausführungsform haben einige der piezoelektrischen Wandlersäulen eine andere Querschnittsfläche oder einen anderen Abstand zu benachbarten Wandlersäulen als andere piezoelektrische Wandlersäulen.

[0005] JP 2005 - 342 337 A beschreibt eine Ultraschallstruktur mit einer keramischen Verbundwerkstoff-Wandlerstruktur, deren piezoelektrische Wandlerelemente unterschiedliche Gestalt oder Größe haben, um unterschiedliche Frequenzeigenschaften zu erhalten. Die piezoelektrischen Wandlerelemente sind in einem Raster, in einer gestaffelten oder willkürlichen zweidimensionalen Konfiguration auf einem Substrat angeordnet.

[0006] US 2009 / 0 230 823 A1 beschreibt eine keramische Verbundwerkstoff-Wandlerstruktur, bei der die keramischen piezoelektrischen Wandlerelemente in Ausführungsformen unterschiedliche stöchiometrische Zusammensetzungen, unterschiedliche Dotierungsgrade oder unterschiedliche Dichten zur Erzielung unterschiedlicher Frequenzeigenschaften aufweisen.

KURZBESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0007] Gemäß der Erfindung ist eine keramische Verbundwerkstoff-Wandlerstruktur zur Verwendung bei der Konstruktion einer Ultraschallsonde geschaffen. Die Struktur umfasst ein Substrat und eine Vielzahl von piezoelektrischen Wandlersäulen. Die Vielzahl von piezoelektrischen Wandlersäulen ist auf dem Substrat in einer Vielzahl von räumlichen Positionen, die sich auf einer X-Y-Ebene des Substrates befinden, kontrollierbar geformt. Die Vielzahl von piezoelektrischen Säulen weist eine Vielzahl von Formen auf, die in einer X-Y-Z-Ebene des Substrats definiert sind, wobei die Vielzahl von piezoelektrischen Wandlersäulen so konfiguriert ist, dass sie die Minimierung von Scherwellen innerhalb der Ultraschallsonde ermöglichen. Mindestens eine der Vielzahl von piezoelektrischen Wandlersäulen weist eine nicht-einheitliche Dichte auf.

Figurenliste

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG
DER ERFINDUNG

Fig. 1 illustriert eine Teilansicht eines Querschnitts einer exemplarischen Wandlerstruktur, die eine Anordnung einer Vielzahl von Wandlersäulen umfasst.

Fig. 2 ist ein Flussdiagramm eines exemplarischen Verfahrens zur Herstellung einer Anordnung von Wandlersäulen, die mit der in **Fig. 1** gezeigten Struktur verwendet wird.

Fig. 3a illustriert ein exemplarisches Suspensionssystem, das bei der Herstellung von Wandlersäulen verwendet werden kann, das mit der in **Fig. 1** gezeigten Struktur verwendet wird.

Fig. 3b illustriert eine weitere Prozess-Sicht des in **Fig. 3a** gezeigten Suspensionssystems.

Fig. 4 illustriert ein exemplarisches Lichtmodulatorsystem, das bei der Herstellung der Wandlersäulen verwendet werden kann, die mit der in **Fig. 1** gezeigten Struktur dargestellt werden.

Fig. 5a illustriert das in **Fig. 4** gezeigte Lichtmodulatorsystem, wie es zur Herstellung eines exemplarischen Lichtmusters verwendet wird.

Fig. 5b illustriert eine weitere Prozess-Sicht des Lichtmodulatorsystems, das in **Fig. 4** gezeigt wird.

Fig. 5c illustriert eine weitere Prozess-Sicht des Lichtmodulatorsystems, das in **Fig. 4** gezeigt wird.

Fig. 5d illustriert eine weitere Prozess-Sicht des Lichtmodulatorsystems, das in **Fig. 4** gezeigt wird.

Fig. 6 illustriert eine perspektivische Ansicht der Struktur, die in **Fig. 1** gezeigt wird.

Fig. 7 illustriert eine Seitenansicht der exemplarischen Wandlersäulen für die Struktur, die in **Fig. 6** gezeigt wird.

Fig. 8 illustriert eine weitere Seitenansicht der exemplarischen Wandlersäulen, die mit der Struktur verwendet werden können, die in **Fig. 6** gezeigt wird.

Fig. 9 illustriert eine Planansicht einer exemplarischen Anordnung von Wandlersäulen, die mit der Struktur verwendet werden können, die in **Fig. 6** gezeigt wird.

Fig. 10 illustriert eine perspektivische Ansicht der Anordnung der Wandlersäulen, die in **Fig. 9** gezeigt wird.

Fig. 11 illustriert eine partielle Seitenansicht einer exemplarischen Sonde, die mit einer Anordnung von Wandlersäulen hergestellt wurde.

[0008] **Fig. 1** illustriert eine Querschnittsansicht einer exemplarischen Wandlerstruktur **10**, die eine Anordnung **12** aus einer Vielzahl von Wandlersäulen **14** umfasst, die auf einem Substrat **16** angeordnet sind. **Fig. 2** ist ein Flussdiagramm eines exemplarischen Verfahrens **200**, welches zur Herstellung der Anordnung **12** von Wandlersäulen **14** verwendet werden kann. In der exemplarischen Ausführungsform umfasst das Verfahren **200** die Formung **202** einer Schicht **18** (in **Fig. 3** gezeigt) auf dem Substrat **16**. Das Substrat **16** kann Materialien wie beispielsweise, Plastik, Glas, Glimmer, Metalle, Keramik und/oder Kombinationen von diesen umfassen, wobei es aber nicht auf diese beschränkt ist. Die Schicht **18** wird aus Materialien wie beispielsweise einem Ultraschallwandler-Material und einem lichtaushärtbaren Polymermaterial hergestellt, wobei es aber nicht auf diese beschränkt ist. Ein Ultraschallwandler-Material kann ein oder mehrere leitfähige Materialien und/oder ein oder mehrere piezoelektrische Materialien und/oder ein oder mehrere akustische Materialien umfassen.

[0009] In der exemplarischen Ausführungsform wird eine Vielzahl von ausgewählten Regionen der Schicht **18** mit einem programmierbaren Lichtsystem **30** (in **Fig. 4** gezeigt) belichtet **204**. Als Nächstes werden ausgewählte Regionen der Schicht **18** ausgehärtet **206**, so dass sie polymerisierte Ultraschallwandler-Regionen bilden, und unbelichtete Regionen der Schicht **18** werden selektiv entfernt **208**, um eine gewünschte Anordnung von polymerisierten Ultraschall-Wandlersäulen **14** zu bilden. Das Verfahren **200** umfasst auch die Entbinderung **210** der polymerisierten Ultraschall-Wandlersäulen **14**, um die organischen Polymere selektiv zu entfernen und dann das Sintern **212** an der Anordnung der polymerisierten Ultraschall-Wandlersäulen **14** durchzuführen, um eine gewünschte Anordnung **12** von Ultraschall-Wandlersäulen **14** zu gewinnen.

[0010] **Fig. 3a** illustriert ein exemplarisches Suspensionssystem **20**, welches bei der Bereitstellung der Schicht **18** eingesetzt werden kann. **Fig. 3b** illustriert eine andere Prozess-Sicht des Suspensionssystems, das in **Fig. 3a** gezeigt wird. Ein beliebiges geeignetes Herstellungsverfahren zur Bildung von dünnen einheitlichen Schichten kann verwendet werden, um die Schicht **18** zu bilden. In der exemplarischen Ausführungsform setzt der Spender **24** des Suspensionssystems **20** einen Tropfen **26** Slurry **22** auf das Substrat **16**, wobei das Slurry **22** das Wandlmaterial und Photopolymermaterial enthält. Die Größe des Slurry-Tropfens **26** und/oder die Häufigkeit der Formung der Tropfen **26** kann basierend auf zuvor bestimmten Eigenschaften der Struktur **10** gesteuert werden. Während der Herstellung wird das Slurry **22** kontrollierbar mittels eines Blatts **28** verwischt, um die

Formung einer Schicht **18** mit der gewünschten Größe und Form zu ermöglichen. Andere geeignete Systeme (nicht gezeigt) zur Verwendung bei der Bereitung der Schicht **18** können Lamellenblech-Technik, Streichmesser-Technik und Siebdruck umfassen, wie sie auf diesem Gebiet bekannt sind, wobei sie aber nicht darauf beschränkt sind.

[0011] In der exemplarischen Ausführungsform umfasst die Schicht **18** piezoelektrisches Material **15** und lichtaushärtbares Polymermaterial **17**. Zur Herstellung der Schicht **18** kann ein beliebiges geeignetes piezoelektrisches Material verwendet werden. Beispielsweise können piezoelektrische Materialien Bleizirkonat-Titanat, Bleimetaniobat, Lithiumniobate, Bismuttitanat, Bleititanat, und/oder Kombinationen von diesen umfassen, wobei sie aber nicht darauf beschränkt sind. Andere piezoelektrische Materialien können Bleimagnesiumniobat, Bleizinkniobat, Bleinickelnioibat, Bismutscandiumoxid und/oder Kombinationen von diesen umfassen, wobei sie aber nicht darauf beschränkt sind. In der exemplarischen Ausführungsform umfasst das piezoelektrische Material Bleizirkonat-Titanat (PZT). In einer anderen Ausführungsform kann Schicht **18** auch ein beliebiges geeignetes leitfähiges Material und ein Photopolymer umfassen. Beispielsweise kann ein geeignetes leitfähiges Material Platin, Palladium, Platin-Palladium-Legierungen und/oder Kombinationen von diesen umfassen, wobei es aber nicht auf diese beschränkt sind. Es kann jedes beliebige lichtaushärtende Polymer, welches mit dem einen oder den mehreren Ultraschallwandlernmaterialien verträglich ist, zur Formung von Schicht **18** benutzt werden. Ferner kann jedes lichtaushärtende Material, das bei Bestrahlung mit Licht einer bestimmten Wellenlängenverteilung polymerisiert, verwendet werden, um die Schicht **18** herzustellen.

[0012] Fig. 4 illustriert ein exemplarisches Lichtmodulatorsystem **30**, das bei der Herstellung einer Anordnung **12** der Wandlersäule **14** verwendet werden kann, welches mit der Struktur **10** zum Einsatz kommen kann. Die Fig. 5a-5d illustrieren das Lichtmodulatorsystem, das in Fig. 4 gezeigt wird, das zur Herstellung eines exemplarischen Lichtmusters eingesetzt wird. In einer Ausführungsform wird ein räumlicher Lichtmodulator **34** systematisch bewegt, um eine Schicht **18** zu belichten, wobei eine „Step-and-Scab“-Herstellungstechnik verwendet wird. Während der Herstellung wird eine Vielzahl von ausgewählten Regionen **19** der Schicht **18** mit einem Licht einer zuvor bestimmten Intensität und Wellenlängenverteilung belichtet **204**, das einen Polymerisationsprozess initiieren kann. Das System **30** umfasst einen Computer **32**, welcher digitale Steuersignale liefert, um die Modulationslicht-Intensität und/oder Richtung des räumlichen Lichtmodulators **34** zu steuern, um die Generierung eines zuvor bestimmten Lichtmusters **36** auf der Schicht **18** zu ermöglichen. In einer Aus-

führungsform wird das programmierbare Lichtmuster **36** digital gesteuert. Der Computer **32** generiert elektronische Steuersignale und der räumliche Lichtmodulator **34** projiziert zuvor bestimmte Lichtmuster **36** auf die Vielzahl von ausgewählten Regionen **19** der Schicht **18**, um diese ausgewählten Regionen **19** der Schicht **18** zu belichten und auszuhärten **206**. Jede Schicht **18** wird mit einem digital programmierbaren Lichtmuster **36** bestrahlt, und die Bildgebung der einzelnen Elemente kann dynamisch über Computersteuerung erreicht werden. Ein digitales Muster **38**, das den Querschnitt der herzustellenden Struktur darstellt, wird auf die Schicht **18** projiziert. Der räumliche Lichtmodulator **34** härtet **206** das Photopolymer, das innerhalb der ausgewählten Region **19** der Schicht **18** vorhanden ist, selektiv aus, um polymerisierte Regionen innerhalb der Schicht **18** zu liefern.

[0013] Wie sich am besten in den Fig. 5a-5d erkennbar ist, lässt sich während der Herstellung das räumliche Lichtmodulator-Modul **34** in einer im Allgemeinen horizontalen Ebene entlang der X- und Y-Ebenen bewegen, um das digital programmierbare Lichtmuster **36** in einem gewünschten Expositionsmuster **42** auf die Schicht **18** auszusenden. Das räumliche Lichtmodulator-Modul **34** kann also entlang der Z-Ebene beweglich sein. Beispielsweise kann das räumliche Lichtmodulator-Modul **34** entlang der X-Ebene translatorisch bewegt werden, um auf mindestens einem Abschnitt der Schicht **18** ein erstes Expositionsmuster **44** zu erzeugen, und entlang der Y-Ebene translatorisch bewegt werden, um auf mindestens einem Abschnitt der Schicht **18** ein anderes Expositionsmuster **46** zu erzeugen. Ebenso kann der räumliche Lichtmodulator **34** entlang der Z-Ebene translatorisch bewegt werden, um ein weiteres Expositionsmuster **48** auf mindestens einem Abschnitt der Schicht **18** zu erzeugen. Die Verwendung dieser Step-and-Scan-Technik ermöglicht die Herstellung von größeren Abschnitten unter Verwendung eines kleinen Bereichs, hoher Auflösung und digitalen Masken.

[0014] Das Verfahren **200** fährt mit der selektiven Entfernung **208** von unbelichteten Regionen **21** der Schicht **18** fort, um eine gewünschte Anordnung von polymerisierten Wandlersäulen **14** zu erzeugen. Als Nächstes wird die Anordnung **12** von polymerisierten Wandlersäulen **14** entbindet **210**, um organische Polymere zu entfernen. Schließlich umfasst in der exemplarischen Ausführungsform das Verfahren **200** das Sintern **212** von polymerisierten Wandlersäulen **14**, um eine gewünschte Anordnung **12** von Ultraschall-Wandlersäulen **14** zu gewinnen, die in Abständen über das Substrat **16** (wie in Fig. 1 gezeigt) verteilt sind. Die Wandlersäulen **14** können mit beliebigen kontrollierten Abständen platziert und/oder unabhängig mit verschiedenen Abmessungen und/oder verschiedenen Formen hergestellt werden. Die Wandlersäulen **14** können bei reduzierten Kosten kontrolliert mit beliebigen Abständen hergestellt wer-

den und/oder können beliebige Abmessungen und/oder Formen für die frei geformte, dreidimensionale Formierung aufweisen, bei denen die Struktur **10** auf die hier beschriebene Weise funktionieren kann.

[0015] Die kontrollierte Formierung und Anordnung von Wandlersäulen **14** ermöglicht verbesserte die Auflösung durch eine Sonde (wie die Sonde **50**, die in **Fig. 11** gezeigt wird) durch Minimierung oder im Wesentlichen Eliminierung von Scherwellen von Ultraschallwandler-Wellenlängen, die sich innerhalb der Anordnung **12** bilden. Die Wandlersäulen **14** können eine beliebige geeignete Konfiguration und/oder Ausrichtung und/oder Größe umfassen, bei denen die Minimierung oder Eliminierung von Scherwellen innerhalb der Anordnung **12** ermöglicht wird, und die Longitudinalwellen können innerhalb der Anordnung **12** beibehalten und/oder verbessert werden und/oder es kann die Verbesserung der Auflösung durch Sonde **50** ermöglicht werden.

[0016] In einer Ausführungsform wird eine Vielzahl von Wandlersäulen **14** kontrolliert auf dem Substrat **16** geformt und angeordnet. Die Vielzahl von Wandlersäulen **14** wird in einer Vielzahl von räumlichen Positionen geformt, die sich auf der X-Y-Ebene des Substrats **16** befinden. Ferner wird die Vielzahl von Wandlersäulen **14** mit einer Vielzahl von Formen gebildet, die in der X-Y-Z-Ebene des Substrats **16** definiert werden. Die Vielzahl von räumlichen Positionen und die Vielzahl von Formen der Wandlersäulen **14** ist so gewählt, dass sie die Minimierung von Scherwellen und das Beibehalten der Longitudinalwellen innerhalb der Anordnung **12** ermöglicht. In einer Ausführungsform sind räumliche Positionen und/oder Formen von Wandlersäulen **14** so gebildet, dass sie die Interferenz und/oder Auslöschung von Scherwellen ermöglichen, die durch die Säulen **14** generiert werden und sich innerhalb oder zwischen den Säulen **14** ausbreiten. In der exemplarischen Ausführungsform ermöglichen die räumlichen Positionen und/oder Formen der Wandlersäulen **14** ferner die Reduktion der Amplitude von Scherwellen, die sich innerhalb oder zwischen den Säulen **14** ausbreiten. Die Vielzahl von räumlichen Positionen und Formen ermöglicht die Verbesserung der piezoelektrischen Eigenschaften und akustischen Eigenschaften einer Sonde, wie beispielsweise der Sonde **50** (in **Fig. 11** gezeigt).

[0017] **Fig. 6** illustriert eine perspektivische Ansicht der Struktur **10** mitsamt einer kontrolliert geformten und angeordneten Anordnung **12** von Wandlersäulen **14**. In einer Ausführungsform umfasst die Vielzahl von räumlichen Positionen der Wandlersäulen **14** eine periodische Anordnung der Vielzahl von Wandlersäulen **14** auf dem Substrat **16**. Alternativ umfasst die Vielzahl von räumlichen Positionen von Wandlersäulen **14** eine aperiodische Anordnung der Wandlersäulen **14** auf dem Substrat **16**. In einer Ausführungs-

form umfassen die räumlichen Positionen der Wandlersäulen **14**, die sich auf dem Substrat **16** befinden, mindestens eine aus einer 0-3, 3-0, 1-3, 3-1, 3-3 und 2-2 Verbundkonstruktion.

[0018] In der exemplarischen Ausführungsform werden Wandlersäulen **14** so positioniert, dass ein Zwischenraum **52** zwischen benachbarten Wandlersäulen **14** definiert wird. In einer Ausführungsform ist der Zwischenraum **52** zwischen mindestens einer der Wandlersäulen **14** und den benachbarten Wandlersäulen **14** abstandsgleich. In einer anderen Ausführungsform ist der Zwischenraum **52** zwischen mindestens einer der Wandlersäulen **14** und einer benachbarten Wandlersäule **14** nicht abstandsgleich. In einer Ausführungsform liegt der Zwischenraum **52** zwischen den Wandlersäulen **14** zwischen ungefähr 5 Mikron bis ungefähr 50 Mikron. Jede Wandlersäule **14** umfasst ein proximales Ende **54**, ein distales Ende **56** und einen Körper **58**, der zwischen diesen verläuft. Das proximale Ende **54** ist an das Substrat **16** gekoppelt und der Körper **58** erstreckt sich von einem proximalen Ende **54** weg von dem Substrat **16**. In der exemplarischen Ausführungsform hat mindestens eine der Wandlersäulen **14** einen Körper **58**, der mit einer im Wesentlichen einheitlichen Konfiguration **60** geformt ist. Genauer gesagt umfasst der Begriff einheitliche Konfiguration **60**, wie er hier verwendet wird, ein im Wesentlichen glattes Seitenprofil und/oder ein im Wesentlichen einheitliche strukturiertes Seitenprofil (nicht gezeigt), welches kleinere Variationen in der Querschnittsform entlang des Körpers **58** umfasst. Ferner umfasst der Begriff einheitliche Konfiguration **60**, wie er hier verwendet wird, im Wesentlichen gleiche Querschnittsflächen für den Körper **58**.

[0019] In einer anderen Ausführungsform umfasst die Vielzahl von Formen für die Vielzahl von Wandlersäulen **14** eine unterschiedliche Querschnittsfläche für mindestens eine Wandlersäule **14** der Vielzahl von Wandlersäulen **14**. Weiterhin umfasst in einer Ausführungsform die Vielzahl von Formen für die Vielzahl von Wandlersäulen **14** eine unterschiedliche Seitenprofilform für mindestens eine Wandlersäule **14** der Vielzahl von Wandlersäulen **14**.

[0020] In der exemplarischen Ausführungsform hat mindestens ein Körper **58** der Vielzahl von Wandlersäulen **14** eine nicht-orthogonale Form **62** wie beispielsweise eine Sälenform, was auch eine im Wesentlichen runden Querschnitt umfasst, aber nicht auf diesem beschränkt ist. In einer Ausführungsform liegt der Durchmesser **64** solch eines Wandlerelements **14** zwischen ungefähr 1 Mikron bis ungefähr 50 Mikron Länge. In der exemplarischen Ausführungsform hat jeder der Körper **58** gemessen zwischen den Enden **54** und **56** eine im Wesentlichen gleiche Höhe **66**. In der exemplarischen Ausführungsform liegt jede Wandlerelement-Höhe **66** zwischen ungefähr 5 Mikron bis ungefähr 150 Mikron. Außerdem umfasst

in der exemplarischen Ausführungsform Körper **58** ein Seitenverhältnis von Höhe zu Breite von mindestens 2:1. Alternativ wird mindestens ein Körper **58** im Vergleich zu anderen Körpern **58** in der Vielzahl von Wandlersäulen **14** innerhalb der Anordnung **12** mit einer abweichenden Höhe **66** geformt.

[0021] Fig. 7 illustriert eine Seitenansicht von exemplarischen Wandlersäulen **14** für die Struktur, welche in Fig. 6 gezeigt wird. In der exemplarischen Ausführungsform kann mindestens eine Wandlersäule **14** eine andere Dichte **68** als andere Wandlersäulen **14** der Vielzahl von Wandlersäulen **14** aufweisen. Alternativ kann jede Wandlersäule **14** der Vielzahl von Wandlersäulen **14** im Wesentlichen gleiche Dichten haben. Die Dichtestruktur jeder Wandlersäule **14** ermöglicht die Minimierung oder im Wesentlichen Eliminierung von Scherwellen der Ultraschall-Wandlersäulen, die sich innerhalb der Anordnung **12** ausbreiten. Die Wandlersäule **14** kann mit einer beliebigen Dichteverteilung ausgebildet werden, welche es ermöglicht, Scherwellen zu eliminieren, die sich innerhalb der oder zwischen den Säulen **14** der Anordnung **12** ausbreiten. Die Wandlersäule **14** kann mit einer beliebigen Dichteverteilung ausgebildet werden, welche das Beibehalten der Longitudinalwellen von Wellen ermöglicht, die sich innerhalb der oder zwischen den Säulen **14** der Anordnung **12** ausbreiten. Ferner kann in einer Ausführungsform jede Wandlersäule **14** der Vielzahl von Wandlersäulen **14** eine einheitliche Dichteverteilung oder eine nicht-einheitliche Dichteverteilung aufweisen. Die Wandlersäule **14** kann auch Strukturen wie beispielsweise Sachlöcher und Durchgangsbohrungen umfassen, welche innerhalb der Wandlersäule **14** verteilt sind, wobei sie aber nicht auf diese beschränkt sind.

[0022] Fig. 8 illustriert eine Seitenansicht eines exemplarischen Wandlerelements **14**, welches mit einer nicht-orthogonalen Form **70** ausgebildet wird. In der exemplarischen Ausführungsform wird das Wandlerelement **14** mit einer säulenartigen Form gebildet, welche durch einen hexagonalen Querschnitt definiert wird. In der exemplarischen Ausführungsform liegt die Länge **72** jeder Seite **73** des Wandlerelements **14** zwischen ungefähr 1 Mikron bis ungefähr 50 Mikron und jedes Wandlerelement **14** hat vom Substrat **16** aus gemessen eine Höhe **74** von zwischen ungefähr 5 Mikron bis ungefähr 150 Mikron.

[0023] Fig. 9 illustriert eine Planansicht einer exemplarischen Anordnung **76** der Wandlersäulen **14**, die auf dem Substrat **16** angeordnet sind, wie in Fig. 6 gezeigt. Fig. 10 illustriert eine perspektivische Ansicht der Anordnung **76**. In der exemplarischen Ausführungsform werden die Wandlersäulen **14** innerhalb der Anordnung **76** mit einer nicht-orthogonalen Form ausgebildet, wie beispielsweise einer säulenförmigen Form, die durch einen im Wesentlichen runden Querschnitt definiert ist, wobei sie aber nicht auf

diese beschränkt ist. Alternativ können die Wandlersäulen **14** in der Anordnung **76** mit anderen nicht-orthogonalen Formen (nicht gezeigt), wie hexagonalen Querschnittsformen, ausgebildet werden, wobei sie aber nicht darauf beschränkt sind. Außerdem können die Wandlersäulen **14** in der Anordnung **76** mit orthogonalen Formen (nicht gezeigt) geformt werden.

[0024] Wie gezeigt wird, werden mindestens einige Wandlersäulen **14** verglichen mit anderen Wandlersäulen **14** innerhalb der Anordnung **76** mit unterschiedlichen physischer Größe innerhalb der Anordnung **76** geformt. Genauer gesagt umfasst in der exemplarischen Ausführungsform die Anordnung **76** eine Vielzahl von Wandlersäulen **78**, die in der Anordnung **76** mit einem größeren Querschnitt als andere Wandlersäulen **84** ausgebildet wurden. Außerdem hat in einer Ausführungsform jedes Wandlerelement **78** innerhalb der Anordnung **76** einen größeren Durchmesser **80** als ein Durchmesser **82** jedes benachbarten Wandlerelements **84**. In der exemplarischen Ausführungsform ist jeder Durchmesser **80** ungefähr 30% bis 50% größer als jeder Durchmesser **82**.

[0025] In der Anordnung **76** ist jedes Wandlerelement **78** zwischen einem Paar **79** von Wandlersäulen **84** und einer Gruppierung **81** von anderen Wandlersäulen **84** positioniert. Die Gruppierung **81** von Wandlersäulen **84** kann eine Vielzahl von Wandlersäulen **84** umfassen. In einer Ausführungsform umfasst die Gruppierung **81** vier Wandlersäulen **84**. In der exemplarischen Ausführungsform beträgt der Zwischenraum **83** zwischen benachbarten Wandlersäulen **84** zwischen ungefähr 5 Mikron und ungefähr 50 Mikron. Ferner beträgt der Zwischenraum **85**, der zwischen Wandlerelement **78** und jedem benachbarten Wandlerelement **84** definiert ist, zwischen ungefähr 5 Mikron und ungefähr 50 Mikron. Die Ausrichtung der Anordnung **76** sowie die Form und/oder Größe der Wandlersäulen **78** und **84** ermöglichen, die Minimierung oder im Wesentlichen die Eliminierung der Scherwellen, die sich innerhalb oder zwischen den Wandlersäulen **14** der Wandlerstruktur **10** ausbreiten. Ferner ermöglicht die Ausrichtung der Anordnung **76** sowie die Form und/oder Größe der Wandlersäulen **78** und **84** das Beibehalten der Longitudinalwelle, die sich innerhalb oder zwischen den Wandlersäulen **14** der Wandlerstruktur **10** ausbreiten. Außerdem ermöglichen die Ausrichtung von Anordnung **76** sowie die Form und/oder Größe der Wandlersäulen **78** und **84** die Reduktion der Gesamtgröße der Struktur **10**, so dass eine Sonde, wie beispielsweise die Sonde **50** (in Fig. 11 gezeigt) bei höheren Frequenzen betrieben werden kann als Sonden mit bekannten Zwischenräumen und/oder Ausrichtungen und/oder Formen. Ferner ermöglicht die Ausrichtung von Anordnung **76** sowie die Form und/oder Größe der Wandlersäulen **78** und **84** die Erhöhung der Auflösung in Bildern, die durch die Sonde **50** erfasst wurden.

[0026] Fig. 11 illustriert eine Seitenteilansicht einer exemplarischen Sonde 50, welche mit der Anordnung 12 von Wandlersäulen 14 hergestellt wurde. Die Sonde 50 umfasst Anordnung 12 von Wandlersäulen 14 mit Elektroden 86, welche an jeder Oberseite 88 gekoppelt sind, so dass die Sonde 50 elektrisch mit einer Energiequelle (nicht gezeigt) gekoppelt werden kann. Die Säulen 14 wandeln elektrische Energie in Ultraschallenergie um. Die Sonde 50 umfasst auch einen Füllstoff 92, welcher die Wandlersäulen 14 auf dem Substrat 16 umgibt. In der exemplarischen Ausführungsform umfasst der Füllstoff 92 ein Epoxidmaterial, das die Wandlersäulen zusammenhält und das Elektrodenmaterial zwischen Säule 14 stützt, wodurch ein Verbundwerkstoff entsteht, der im Vergleich zu monolithischen keramischen Materialien eine niedrigere akustische Impedanz und einem höheren Koppelfaktor hat. Diese Formierung ermöglicht eine effizientere akustische Kopplung zwischen der Wandlersäule 14 und der Komponente (nicht gezeigt), die mittels der Sonde 50 untersucht wird.

[0027] So wie der Ausdruck „gesteuert oder angeordnet“ hier im Kontext einer Diskussion von einem oder mehreren Komponenten der Struktur und/oder der Wandlersäule und/oder der Sonde benutzt wird, kann er sich auf eine physische Geometrie und/oder eine Größe und/oder eine Ausrichtung der Wandlersäulen beziehen, wie sie unabhängig benutzerdefiniert oder programmierbar implementiert werden kann. Zusätzlich kann der Ausdruck auch eine Situation umfassen oder sich auf eine solche beziehen, bei der die Anordnung der Wandlersäulen der Sonde ebenfalls benutzerdefiniert ist, und kann beispielsweise nicht-einheitlich und/oder einheitlich sein. Diese Anordnung könnte über festgelegte oder beliebige Strecken aperiodisch/zufällig sein. Sofern der Begriff „Säule“ im Kontext der Diskussion einer oder mehrerer Komponenten der Struktur und/oder Wandlersäule und/oder Sonde benutzt wird, kann er sich auf beliebige Merkmale von piezoelektrischen Materialien beziehen.

[0028] Die hier beschriebenen Ausführungsformen liefern Geometrien und/oder Ausrichtungen und/oder Zwischenräume für Wandlersäulen, um die Minimierung und/oder Eliminierung von Scherwellen und das Beibehalten von Longitudinalwellen zu ermöglichen, wodurch wiederum die Leistung der dazugehörigen Sonde im Vergleich zu der Leistung von Sonden, welche bekannte Wandlersäulen umfassen, verbessert wird. Die hier beschriebenen Ausführungsformen umfassen nicht-orthogonale Säulenquerschnitte entweder in den x-y, x-z, oder y-z Ebenen, wie beispielsweise runde und hexagonale Querschnitte. Nicht-orthogonale Querschnitte ermöglichen ferner die Minimierung oder im Wesentlichen die Eliminierung von Scherwellen, die durch Anwendung einer elektrischen Spannung über die Struktur generiert werden. Die hier beschriebene Ausführungsform lie-

fert ferner die Möglichkeit zur Herstellung von frei formbaren dreidimensionalen Wandlersäulen für verbesserte höhere elektromechanische Kopplungseffizienten, verbesserte akustische Impedanzanpassungen zwischen dem Wandler und dem inspizierten Gegenstand und verbesserte Resonanzeigenschaften bei kostengünstiger Herstellung.

[0029] Die hier beschriebenen Ausführungsformen liefern eine Struktur zur Verwendung mit einer Wandlersonde. Die dargelegten Abmessungsbereiche umfassen sämtliche zwischen diesen liegende Teilbereiche. Die Abmessungsbereiche für die Wandlersäulen ermöglichen die Reduktion der Gesamtgröße des Wandlerelements, so dass die Sonde bei höheren Frequenzen betrieben werden kann. Zudem ermöglichen die Abmessungsbereiche für das Wandlerelement die Erhöhung der Auflösung bei Bildern, die durch eine Sonde erfasst werden.

[0030] Ein technischer Effekt der hier beschriebenen Ausführungsformen umfasst die kontrollierte Anordnung von Wandlersäulen, wodurch die Minimierung oder Eliminierung von Scherwellen ermöglicht wird, die sich innerhalb der Anordnung der Wandlerstruktur ausbreiten. Ein weiterer technischer Effekt der hier beschriebenen Anordnung von Wandlersäulen ermöglicht die Reduktion der Größe der Wandlerelemente, so dass die Sonde bei höheren Frequenzen betrieben werden kann. Ein weiterer technischer Effekt der Anordnung von Wandlersäulen ermöglicht die Erhöhung der Auflösung in Bildern, die durch eine Sonde erfasst werden.

[0031] Exemplarische Ausführungsformen einer Wandlersäule, einer Sonde sowie von Verfahren zur Herstellung der Wandlersäule, Struktur und Sonde und dem Zusammenbau der Sonde werden oben detailliert beschrieben. Die Wandlersäule, Struktur, Sonde sowie das Verfahren sind nicht auf die hier beschriebenen spezifischen Ausführungsformen beschränkt, sondern die Komponenten der Wandlersäule und/oder die Sonde und/oder die Schritte des Verfahrens können unabhängig und getrennt von anderen hier beschriebenen Komponenten und/oder Schritten verwendet werden. Beispielsweise können die Sonde und die Verfahren auch in Kombination mit anderen diagnostischen Systemen und Verfahren verwendet werden, und sind nicht lediglich auf die Ausführung mit der Ultraschall-Wandlersonde, wie sie hier beschrieben wird, eingeschränkt. Vielmehr können die exemplarischen Ausführungsformen in Verbindung mit vielen anderen diagnostischen Systemen oder anderen Tragestrukturen implementiert und eingesetzt werden.

[0032] Obwohl spezifische Merkmale von verschiedenen Ausführungsformen der Erfindung in den Zeichnungen gezeigt werden, während sie in anderen ausgelassen worden sind, dient dies nur der Be-

quemlichkeit. Gemäß den Prinzipien der Erfindung kann jedes Merkmal einer Zeichnung in Kombination mit jedem anderen Merkmal jeder anderen Zeichnung referenziert und/oder beansprucht werden.

[0033] Eine keramische Verbundwerkstoff-Wandlerstruktur **10** zur Verwendung bei der Konstruktion einer Ultraschallsonde **50** umfasst ein Substrat **16** und eine Vielzahl von piezoelektrischen Wandlersäulen **14**. Die Vielzahl von piezoelektrischen Wandlersäulen **14** wird kontrolliert auf dem Substrat **16** in einer Vielzahl von räumlichen Positionen geformt, welche sich auf einer X-Y-Ebene des Substrates **16** befinden. Die Vielzahl von piezoelektrischen Säulen **14** umfasst eine Vielzahl von Formen, die in einer X-Y-Z-Ebene des Substrates **16** definiert sind, wobei die Vielzahl von piezoelektrischen Wandlersäulen **14** so konfiguriert ist, dass sie die Minimierung von Scherwellen innerhalb der Ultraschallsonde **50** ermöglicht.

Bezugszeichenliste

10	Struktur
12	Anordnung
14	Wandlersäule
16	Substrat
200	Verfahren
18	Funktionsschicht
202	Formung einer Funktionsschicht
204	Belichtung einer Vielzahl von ausgewählten Regionen
206	Aushärten ausgewählter Regionen der Funktionsschicht
208	Entfernung von unbelichteten Regionen der Funktionsschicht
210	Entbinderung einer Anordnung von Wandlerelementen
212	Sintern der Anordnung von Wandlerelementen
20	Suspensionssystem
22	Slurry
24	Spender
26	Tropfen
28	Blatt
30	Modulatorsystem
32	Computer
34	Lichtmodulator
36	Lichtmuster
38	digitales Muster

42	Muster
44	Muster
46	Muster
48	Muster
50	Sonde (50)
52	aperiodischer Zwischenraum
54	proximales Ende
56	distales Ende
58	Körper
60	einheitliche Konfiguration
62	nicht-orthogonale Form
64	Durchmesser
66	Höhe
68	Lücke
70	hexagonale Form
72	Länge
73	Seite
74	Höhe
76	aperiodische Anordnung
78	Wandlerelement
79	Paar von Wandlerelementen 84
80	Durchmesser
81	Gruppierung
82	Durchmesser
83	Zwischenraum (zwischen Wandlerelementen 84)
84	Wandlerelement
85	Zwischenraum (zwischen Wandlerelement 78 und Wandlerelement 84)
86	Elektroden
88	Seite
92	Füllstoff

Patentansprüche

1. Keramische Verbundwerkstoff-Wandlerstruktur (10) zur Verwendung bei der Konstruktion einer Ultraschallsonde (50), wobei die Struktur (10) aufweist: ein Substrat (16); und eine Vielzahl von piezoelektrischen Wandlersäulen (14), die auf dem Substrat (16) in einer Vielzahl von räumlichen Positionen kontrolliert geformt sind, welche sich auf einer X-Y-Ebene des Substrats (16) befinden, wobei die piezoelektrischen Säulen (14) eine Vielzahl von Formen aufweisen, die in einer X-Y-Z-Ebene des Substrats definiert sind (16), wobei die

piezoelektrischen Wandlersäulen (14) so konfiguriert sind, dass Scherwellen innerhalb der Ultraschallsonde (50) minimiert sind;

dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine der Vielzahl von piezoelektrischen Wandlersäulen (14) eine nicht-einheitliche Dichte aufweist.

2. Keramische Verbundwerkstoff-Wandlerstruktur (10) gemäß Anspruch 1, wobei jede der piezoelektrischen Wandlersäulen (14) ein lichtaushärtbares piezoelektrisches Keramikmaterial aufweist.

3. Keramische Verbundwerkstoff-Wandlerstruktur (10) gemäß Anspruch 1, wobei die Vielzahl von räumlichen Positionen, welche sich auf der X-Y-Ebene des Substrats (16) befinden, mindestens eine aus einer 0-3, 3-0, 1-3, 3-1, 3-3 und 2-2 Verbundkonstruktion (10) aufweist.

4. Keramische Verbundwerkstoff-Wandlerstruktur (10) gemäß Anspruch 1, wobei die Vielzahl von räumlichen Positionen in der X-Y-Ebene des Substrats (16) eine aperiodische Anordnung der Vielzahl von piezoelektrischen Wandlersäulen (14) aufweist.

5. Keramische Verbundwerkstoff-Wandlerstruktur (10) gemäß Anspruch 1, wobei mindestens eine der piezoelektrischen Wandlersäulen (14) eine andere Querschnittsfläche als die übrigen der piezoelektrischen Wandlersäulen (14) hat.

6. Keramische Verbundwerkstoff-Wandlerstruktur (10) gemäß Anspruch 1, wobei mindestens eine der piezoelektrischen Wandlersäulen (14) ein anderes Seitenprofil als die übrigen piezoelektrischen Wandlersäulen (14) hat.

7. Keramische Verbundwerkstoff-Wandlerstruktur (10) gemäß Anspruch 1, wobei mindestens eine der piezoelektrischen Wandlersäulen (14) eine andere Höhe als die übrigen piezoelektrischen Wandlersäulen (14) hat.

8. Keramische Verbundwerkstoff-Wandlerstruktur (10) gemäß Anspruch 1, wobei mindestens eine der piezoelektrischen Wandlersäulen (14) eine andere Dichte als die übrigen piezoelektrischen Wandlersäulen (14) hat.

9. Keramische Verbundwerkstoff-Wandlerstruktur (10) gemäß Anspruch 1, wobei mindestens eine piezoelektrische Wandlersäule (14) in einer nicht-abstandsgleichen Entfernung von den benachbarten piezoelektrischen Wandlersäulen (14) liegt.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

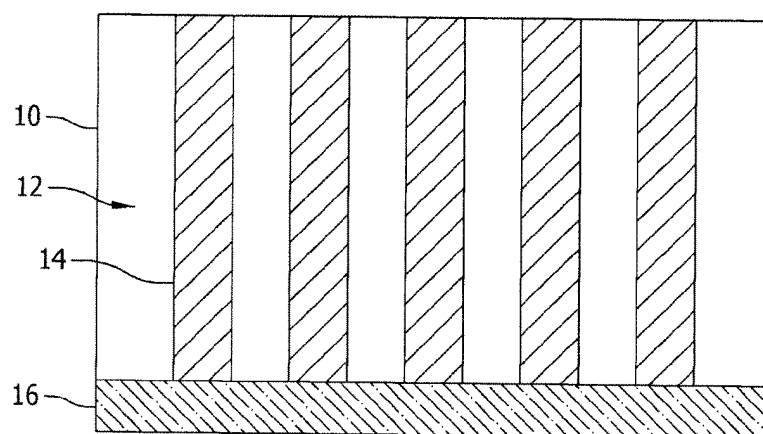


FIG. 1

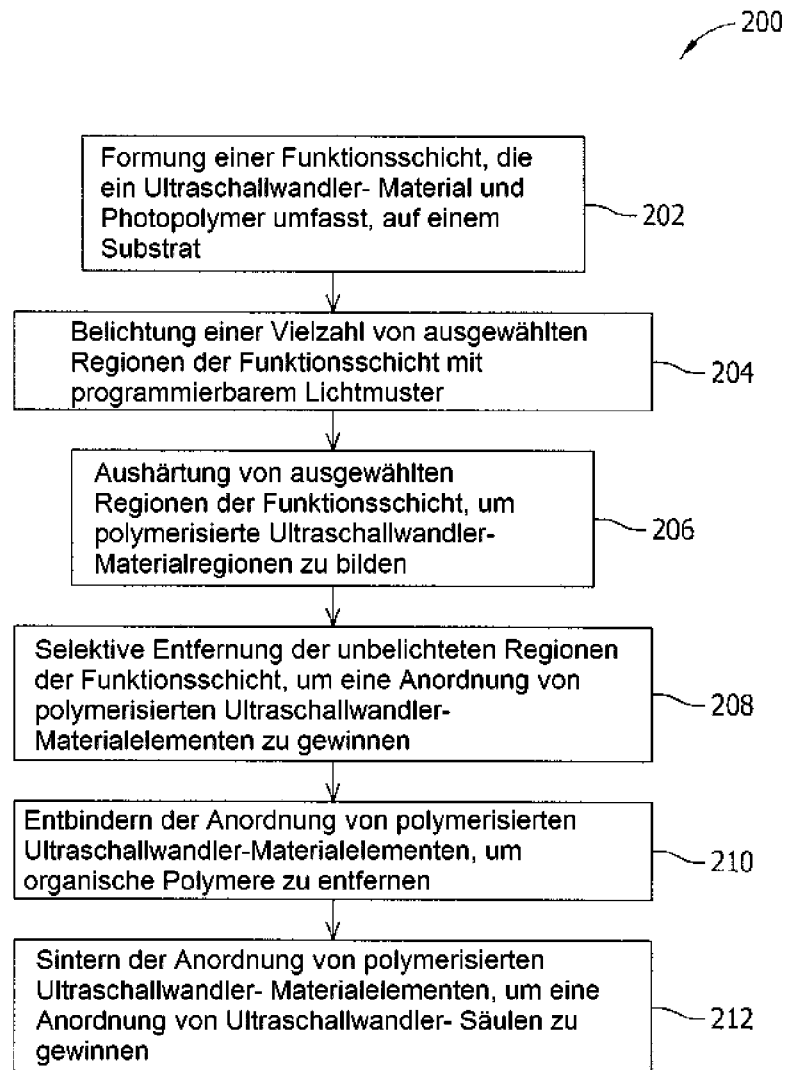


FIG. 2

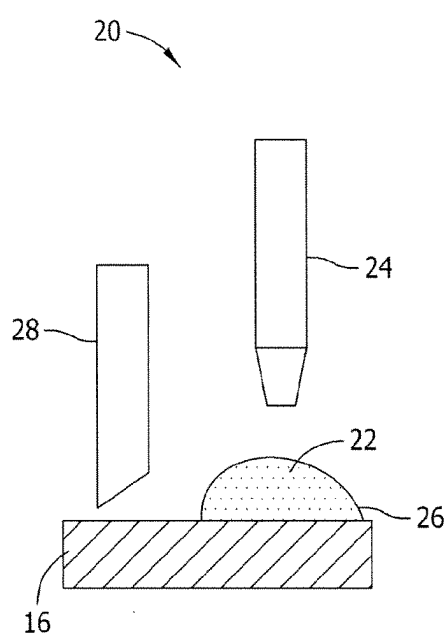


FIG. 3A

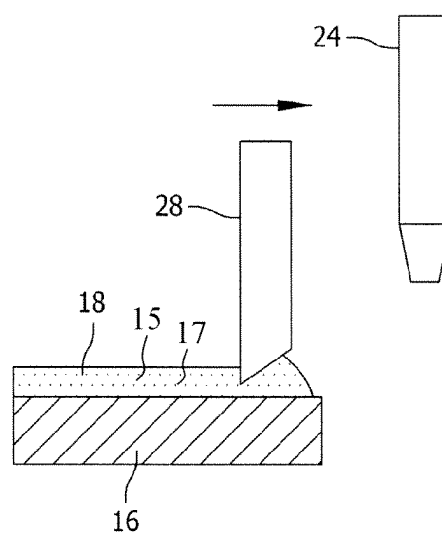


FIG. 3B

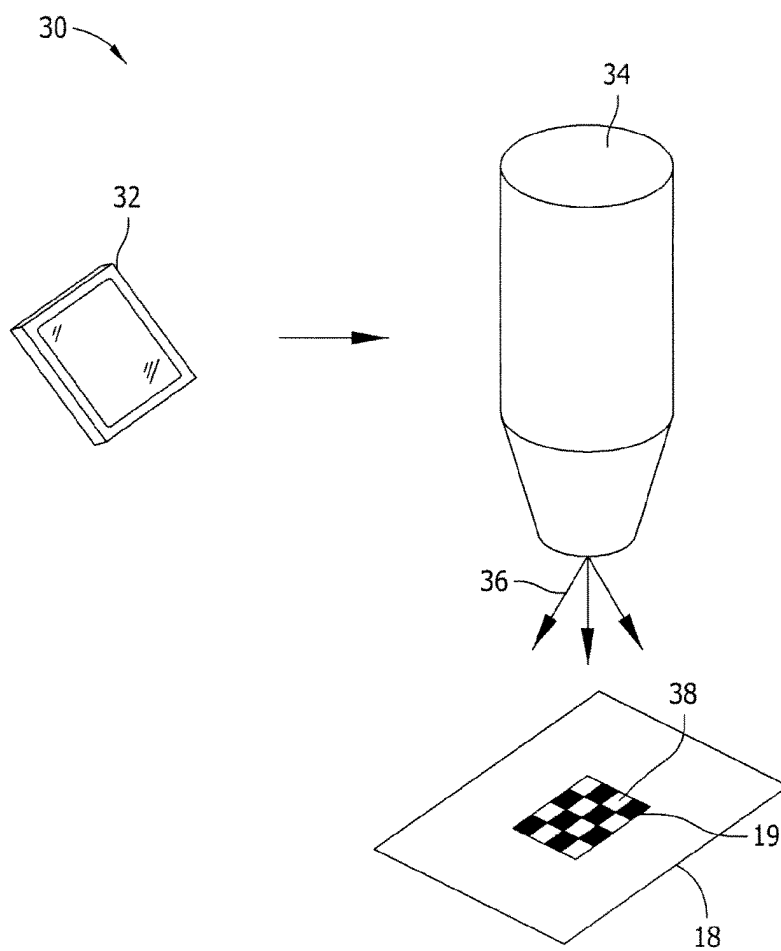


FIG. 4

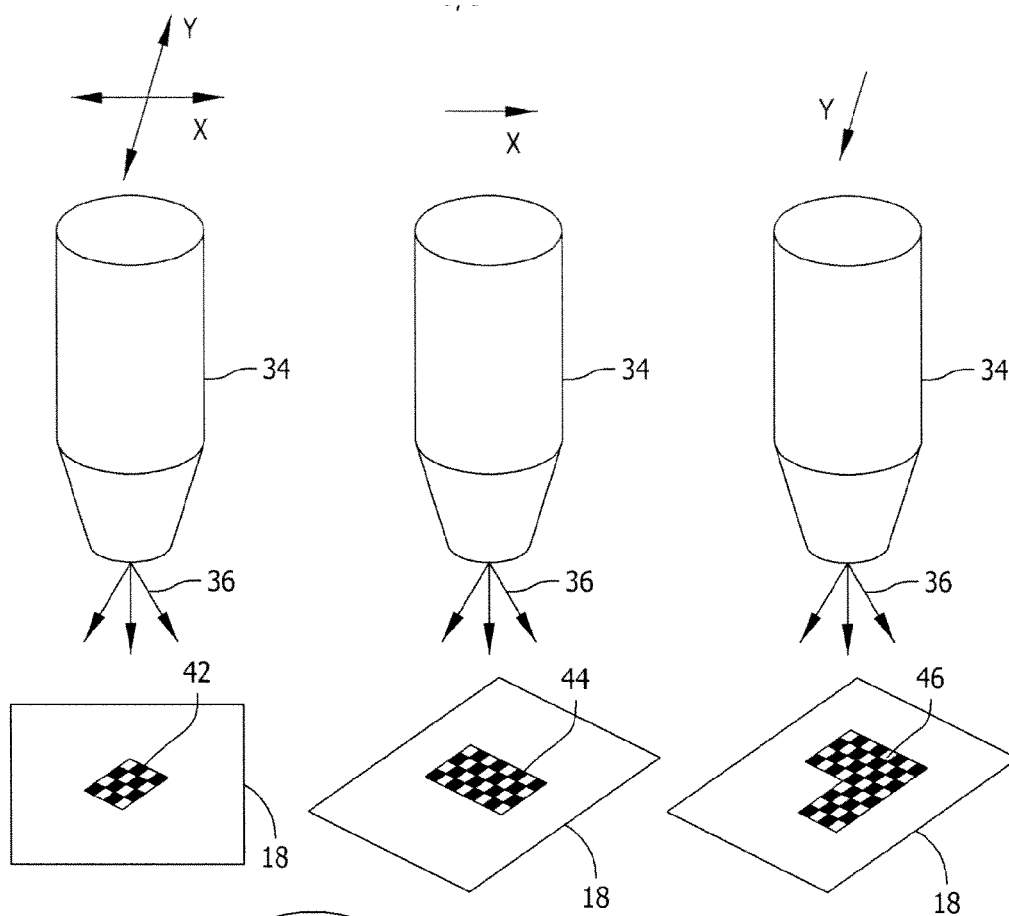


FIG. 5A

FIG. 5B

FIG. 5C

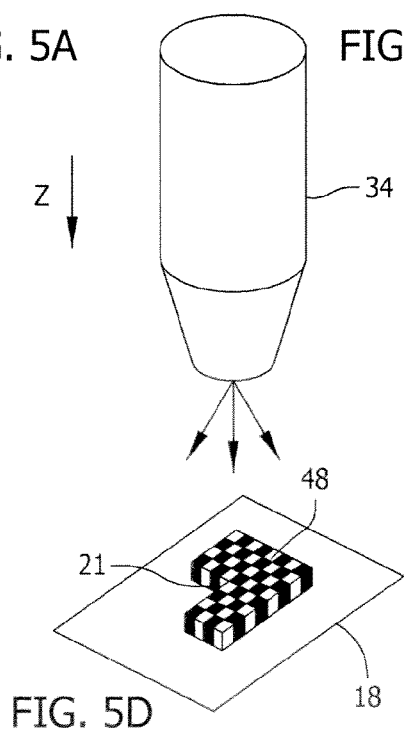


FIG. 5D

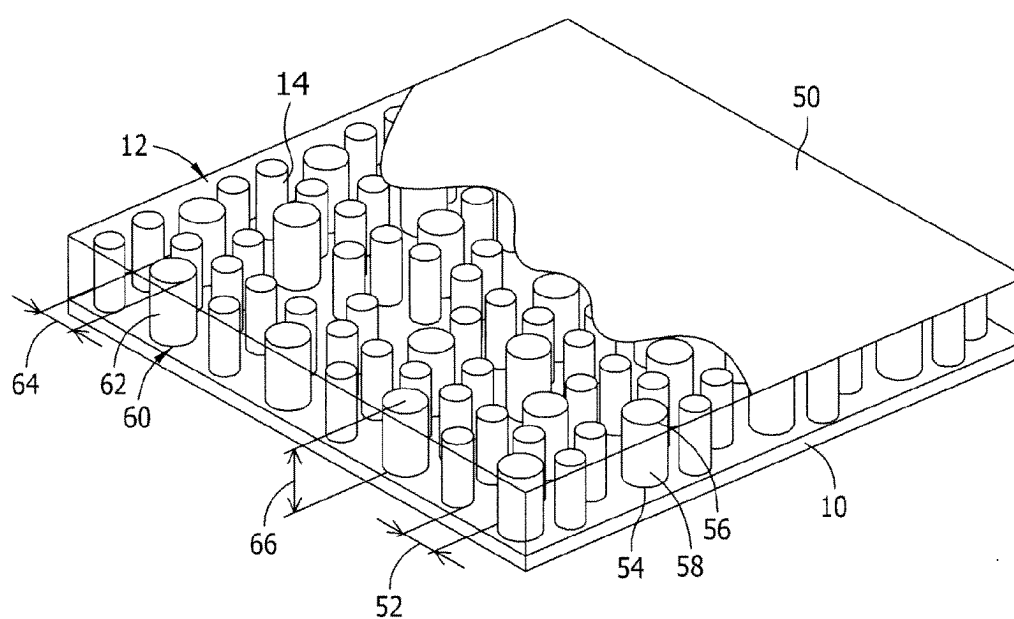


FIG. 6

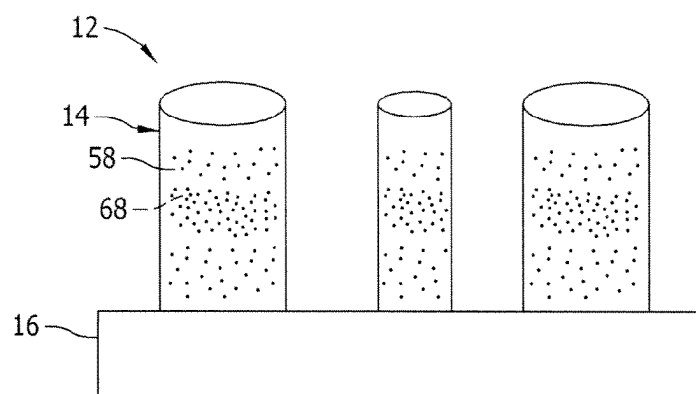


FIG. 7

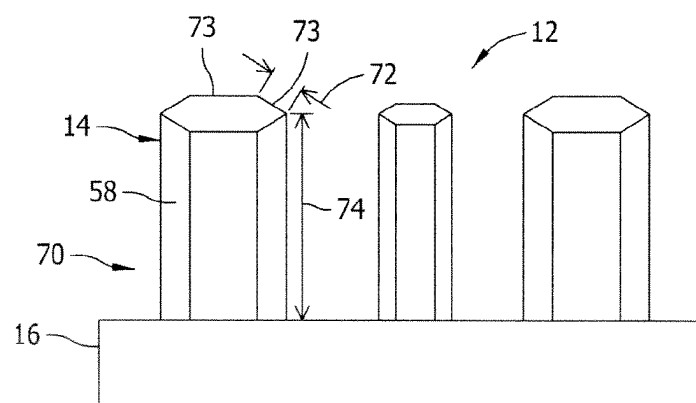


FIG. 8

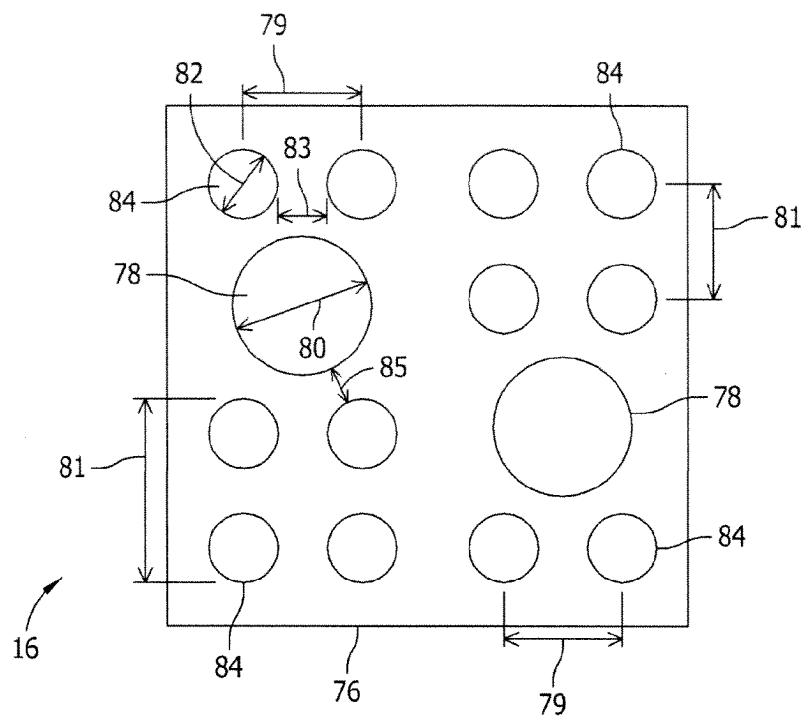


FIG. 9

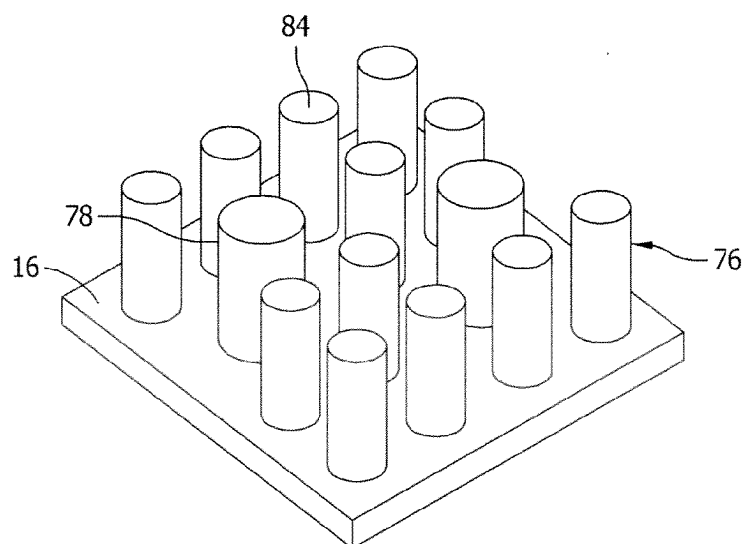


FIG. 10

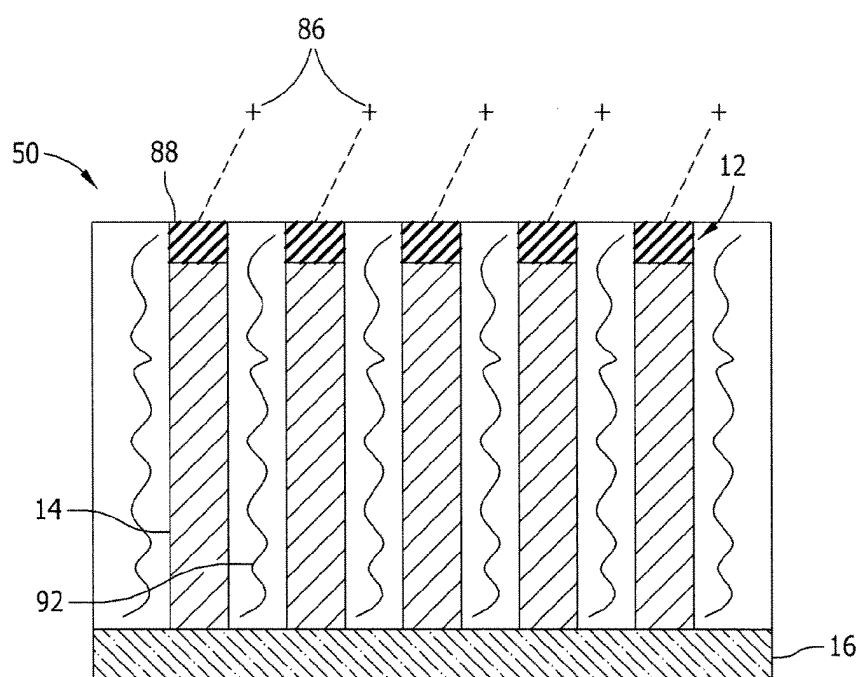


FIG. 11