



(10) **DE 10 2020 111 895 A1** 2021.11.04

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 111 895.3**

(22) Anmeldetag: **30.04.2020**

(43) Offenlegungstag: **04.11.2021**

(51) Int Cl.: **G03F 7/16 (2006.01)**

G03F 7/20 (2006.01)

(71) Anmelder:

Laser Imaging Systems GmbH, 07745 Jena, DE

(74) Vertreter:

**GLEIM PETRI OEHMKE Patent- und
Rechtsanwaltspartnerschaft mbB, 07743 Jena, DE**

(72) Erfinder:

**Theis, Jens, Dr., 47169 Duisburg, DE; Bierau,
Frank, 07745 Jena, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	6 255 035	B1
US	2005 / 0 186 785	A1
US	2010 / 0 193 841	A1
US	2017 / 0 176 859	A1
US	2019 / 0 013 212	A1

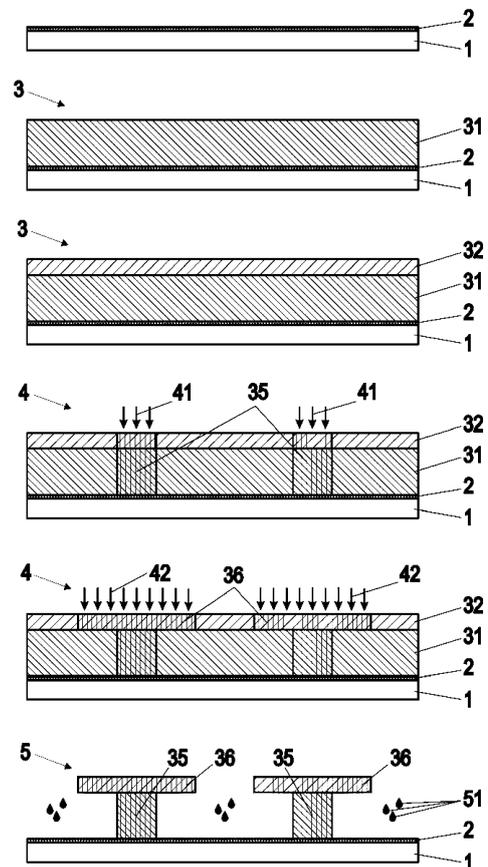
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Herstellung von dreidimensionalen Strukturen mittels Photoresisten**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von dreidimensionalen Strukturen mittels Photoresist, insbesondere zur Erzeugung von gestuften Strukturen im Mikrometer bis Millimeterbereich.

Die Aufgabe, eine neue Möglichkeit zur Realisierung von Mikrostrukturen für mikromechanische und leistungsstarke elektronische Strukturen zu finden, die eine freie Gestaltung und durchsatzstarke Herstellung von abgestuften Strukturen gestatten, wird erfindungsgemäß gelöst durch mindestens einmaliges Beschichten (3) eines kupferkaschierten Substrats (1) mit einem ersten Photoresist zur Erzeugung einer definierten Höhe wenigstens einer Strukturstufe und mindestens einmaliges Beschichten (3) des ersten Photoresists mit einem zweiten Photoresist zur Erzeugung einer definierten Höhe wenigstens einer weiteren Strukturstufe, wobei der erste und der zweite Photoresist unterschiedliche Photoempfindlichkeiten und Transmissionseigenschaften aufweisen, die durch Belichtung (4) mit unterschiedlichen Wellenlängen und Strahlungsdosen und nach einer Entwicklung (5) strukturbildende Bereiche (35; 36) mindestens des ersten und zweiten Photoresists erzeugen, die einander wenigstens teilweise überlappen und eine gestufte dreidimensionale Struktur bilden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von dreidimensionalen Strukturen mittels Photoresist, insbesondere zur Erzeugung von gestuften Strukturen aus Photoresist oder zur Abformung von Formkörpern mittels gestufter Strukturen im Mikrometer bis Millimeterbereich. Das Anwendungsgebiet der Erfindung liegt insbesondere in der Elektronikindustrie beim Leiterplatten- und Chip-Packaging, in der Halbleiterindustrie sowie in der Mikrotechnologie, insbesondere zur Herstellung mikromechanischer Strukturen.

[0002] Photolack (engl.: Photoresist) wird im Stand der Technik zur photolithographischen Strukturierung verwendet, um in der Mikroelektronik und der Mikrosystemtechnik Strukturen im Mikro- und Submikrometerbereich zu erzeugen.

Die Vorgehensweise ist dabei stets so gestaltet, dass eine Photoresist-Schicht auf ein Substrat oder eine bereits vorhandene Schaltungsstrukturschicht aufgetragen und anschließend in den Bereichen belichtet wird, die - bei Negativresist - als Strukturflächen erhalten bleiben sollen, oder in den Bereichen belichtet wird, die - bei Positivresist - abgetragen werden sollen. Die im nachfolgenden Entwicklungsprozess von Photoresist-Strukturen nicht widerstandsfähigen Bereiche werden als ungehärtete Schichtanteile abgetragen und können anschließend mit elektronischen Leiter- und Halbleiterstrukturen gefüllt oder mit Gatestrukturen lokal besetzt werden.

[0003] Eine solche Vorgehensweise ist von V. PAPANICOLAOU et al. im Fachartikel „Cofabrication of Planar Gunn Diode and HEMT on InP Substrate“ (in: IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 61, No. 8 (2014) pp. 2779-2784) beschrieben worden. Die in diesem Zusammenhang für eine Gunn-Dioden- oder eine HEMT-(High-Electron Mobility Transistor-) Struktur erforderliche Gate-Lücke zwischen Source und Drain mit einer Breite von 1,5 bis 2 µm wurde durch abgetragene Photoresist-Strukturen hergestellt, wobei wegen der geringen Dicke der Source- und Drain-Schichten lediglich Photoresist-Schichtdicken in der Größenordnung von ca. 0,1 µm benötigt werden. Die für die Diodenstruktur verwendeten Photoresiste benötigen verschiedene Photoresistempfindlichkeiten, die durch einen prozentual unterschiedlichen PMMA-Anteil (Polymethylmethacrylat) hervorgerufen werden, um verschiedene Abtragungstiefen zu erzielen. Über Möglichkeiten zur Herstellung von Strukturen, bei denen die Schichtdicken in der Größenordnung der Strukturbreiten oder noch darüber liegen, sind im obigen Fachartikel keine Anregungen oder Erkenntnisse zu realisierbaren größeren Abtragungstiefen, den dafür erforderlichen Energie- oder Zeitaufwänden offenbart

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine neue Möglichkeit zur Realisierung von Mikrostrukturen für mikromechanische und leistungsstarke elektronische Strukturen zu finden, die eine weitgehend freie Gestaltung von gestuften, insbesondere überhängenden Strukturen, und eine fertigungstechnisch flexible und durchsatzstarke Herstellung von komplizierten Formen zur Abformung von metallischen Mikrostrukturen und Leiterbahnen gestatten.

[0005] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe bei einem Verfahren zur Herstellung von dreidimensionalen Strukturen mittels Photoresist gelöst mit den Schritten:

- Bereitstellen eines metallkaschierten Substrats **(1)** zur Verbesserung der Oberflächenhaftung oder Anpassung für spätere Metallabscheidung und Abtrennung von Strukturen **(6;71)** von dem Substrat **(1)**;

- mindestens einmaliges Beschichten **(3)** des kupferkaschierten Substrats **(1)** mit einem ersten Photoresist zur Erzeugung einer definierten Höhe wenigstens einer Strukturstufe und mindestens einmaliges Beschichten **(3)** des ersten Photoresists mit einem zweiten Photoresist zur Erzeugung einer definierten Höhe wenigstens einer weiteren Strukturstufe, wobei der erste und der zweite Photoresist unterschiedliche Photoempfindlichkeiten und Transmissions-eigenschaften für eine Strukturierung aufweisen;

- Belichtung **(4)** des ersten Photoresists mit einer Belichtungsstrahlung **(41)** mit einem ersten Wellenlängenbereich und einer ersten Strahlungsdosis in mindestens einem strukturbildenden Bereich **(35)** des ersten Photoresists;

- Belichtung mindestens des zweiten Photoresists mit Belichtungsstrahlung **(42)** mit einem zweiten Wellenlängenbereich und einer zweiten Strahlungsdosis in mindestens einem strukturbildenden Bereich **(36)** des zweiten Photoresists, wobei die strukturbildenden Bereiche **(35; 36)** mindestens des ersten und zweiten Photoresists einander wenigstens teilweise überlappen;

- Entwicklung **(5)** mindestens einer mehrstufigen Photoresist-Struktur **(6)** aus den überlappenden strukturbildenden Bereichen **(35; 36; 37)** mindestens des ersten und des zweiten Photoresist durch Entwicklung der nicht strukturbildend belichteten Bereiche der Beschichtungen **(31; 32; 33; 34)** von mindestens erstem und zweitem Photoresist.

[0006] Vorteilhaft erfolgt das Beschichten des ersten Photoresists mit dem zweiten Photoresist vor der ersten strukturerzeugenden Belichtung des ersten Photoresists und der strukturerzeugenden Belichtung des zweiten Photoresists.

Alternativ kann das Beschichten des ersten Photoresists mit dem zweiten Photoresist erst nach der strukturerzeugenden Belichtung des ersten Photoresists und die strukturerzeugende Belichtung des zweiten Photoresists nach dem Beschichten mit dem zweiten Photoresist erfolgen.

In einer weiteren vorteilhaften Variante erfolgt das Beschichten des zweiten mit einem dritten Photoresist erst nach der strukturerzeugenden Belichtung des zweiten Photoresist und für das Beschichten mit einem vierten oder jedem weiteren Photoresist wird die strukturerzeugende Belichtung des dritten oder jedes weiteren vorher aufgetragenen Photoresists jeweils vorausgesetzt.

[0007] In einer bevorzugten Ausführung des Verfahrens wird mindestens der erste oder der zweite oder ein weiterer Photoresist mit mehr als einer Photoresist-Schicht übereinander aufgetragen, um eine gewünschte definierte Höhe einer Strukturstufe der Photoresist-Struktur zu erzeugen.

[0008] Weiterhin ist es zweckmäßig, dass der erste und der zweite Photoresist mit jeweils unterschiedlicher Empfindlichkeit so ausgewählt werden, dass sie mit jeweils unterschiedlicher Belichtungsstrahlung aushärtbar sind, auf die der jeweils andere Photoresist nicht reagiert.

Dabei ist es eine bevorzugten Variante, dass der erste Photoresist für eine langwelligere Belichtungsstrahlung mit höherer Belichtungs-dosis gegenüber wirksamer Wellenlänge und Belichtungs-dosis des zweiten Photoresist empfindlich ist und gegenüber einer kurzwelligeren Belichtungsstrahlung mit niedrigerer Belichtungs-dosis, auf die der zweite Photoresist reagiert, unempfindlich und der zweite Photoresist transparent und unempfindlich gegenüber der langwelligeren Belichtungsstrahlung und höheren Belichtungs-dosis des ersten Photoresists ist und für gegenüber der wirksamen Wellenlänge und Belichtungs-dosis des ersten Photoresists kurzwelligerer Belichtungsstrahlung empfindlich ist. Zweckmäßig unterscheiden sich die unterschiedlichen Empfindlichkeiten des ersten und des zweiten Photoresists in einem Wellenlängenbereich von 375 nm und 436 nm um mehr als 20 nm, vorzugsweise um mehr als 30 nm, und in der anwendbaren Dosis um einen Bereich zwischen 10 mJ/cm² und 2200 mJ/cm², vorzugsweise um einen Faktor von mehr als vier.

[0009] Ein dritter oder weiterer Photoresist wird vorteilhaft mit einer Empfindlichkeit so ausgewählt, dass er sich in der Wellenlänge in einem Wellenlängenbereich von 248 nm und 436 nm um mehr als 20 nm, vorzugsweise um mehr als 30 nm, von den Wellenlängen des ersten und des zweiten Photoresists, und in der anwendbaren Dosis um einen Bereich zwischen 10 mJ/cm² und 2200 mJ/cm², vorzugsweise um einen Faktor von mehr als vier, von den ange-

wendeten Belichtungs-dosen des ersten und zweiten Photoresists unterscheidet.

[0010] Es erweist sich als vorteilhaft, wenn bei der Entwicklung mindestens des ersten und des zweiten Photoresists dreidimensionale Photoresist-Strukturen aus überlappenden strukturbildenden Bereichen von mindestens dem ersten und dem zweiten Photoresist auf dem Substrat verbleiben und Photoresist-Lücken zwischen benachbarten Photoresist-Strukturen bilden, die als Kavitäten zum Befüllen mit einem abformbaren Material nutzbar sind.

[0011] Dabei können in die Photoresist-Lücken zwischen benachbarten oder umschließenden Photoresist-Strukturen ein Metall oder eine Metalllegierung abgeschieden werden. Zweckmäßig wird mindestens eines der Metalle aus der Gruppe Kupfer, Nickel, Titan, Chrom, Aluminium, Palladium, Zinn, Silber und Gold oder Legierungen davon als Füllmaterial für die Kavitäten verwendet.

[0012] Vorzugsweise werden die Photoresist-Strukturen als durch Lücken beabstandete langgestreckte oder um eine Lücke geschlossene Schichtstapel erzeugt, um in den Lücken unterschiedliche Formkörper abformen zu können.

[0013] Nach einer in den Lücken, die durch Entwicklung mindestens des ersten und des zweiten Photoresists zwischen den Photoresist-Strukturen entstanden sind, erfolgten Metallabscheidung kann zweckmäßig eine Resistentfernung der Photoresist-Strukturen mittels eines Resist-Entwicklers vorgenommen werden, bei der abgeformte Metallformkörper auf der Metallschicht des metallkaschierten Substrats verbleiben.

[0014] Vorteilhaft kann ein Prozess der Metallrückätzung der Metallschicht auf dem Substrat mindestens in den Zwischenräumen zwischen den durch die Metallabscheidung entstandenen Metallstrukturen mittels eines Metallätzmittels durchgeführt werden.

[0015] In einer besonders vorteilhaften Anwendung kann der Prozess der Metallrückätzung mit auf die Metallschicht des metallisierten Substrats angepassten Ätzmitteln solange fortgesetzt werden, bis die Metallschicht des Substrats vollständig abgetragen ist, sodass die Metallstrukturen als Metallformkörper einzeln werden.

[0016] Durch die Erfindung wird eine Möglichkeit aufgezeigt, wie Mikrostrukturen für mikromechanische oder leistungsstarke mikroelektronische Strukturen realisierbar sind, die eine weitgehend freie Gestaltung von gestuften, insbesondere überhängenden Strukturen und eine fertigungstechnisch flexible und durchsatzstarke Massenproduktion von kompli-

zierten Formen zur Formgebung von metallischen Mikroformteilen gestatten.

[0017] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und Abbildungen näher erläutert. Dabei zeigen:

Fig. 1: eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Erzeugung einer vorteilhaft abgestuften Struktur mit unterschiedlichen Photoresist-Schichten;

Fig. 2: eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Erzeugung einer weiteren vorteilhaft abgestuften Struktur mit unterschiedlichen Photoresist-Schichten;

Fig. 3: eine schematische Darstellung einer weiteren Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Erzeugung einer dreischichtigen Struktur mit wenigstens zwei unterschiedlichen Photoresisten;

Fig. 4: eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Fortsetzung der Ausführung nach **Fig. 3** zur Erzeugung einer sechsschichtigen Struktur mit insgesamt wenigstens drei unterschiedlichen Photoresisten;

Fig. 5: eine vorteilhafte Fortsetzung der Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß **Fig. 3** und **Fig. 4**, bei der die mehrfach erzeugten Photoresist-Strukturen zur Herstellung von metallischen Formkörpern verwendet werden und eine Vereinzelung (Ablösung vom Substrat) der Formkörper erfolgt;

Fig. 6: eine schematische Darstellung einer weiteren Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Erzeugung einer Struktur mit wenigstens zwei unterschiedlichen Photoresisten, bei der eine Belichtung für jeden der unterschiedlichen Photoresiste jeweils vor der Beschichtung mit dem nächsten Photoresist erfolgt;

Fig. 7: eine vorteilhafte Fortsetzung des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß **Fig. 6**, bei der die mehrfach erzeugten Resiststrukturen zur Herstellung von Metallstrukturen verwendet werden, wobei eine Rückätzung der Kupferbeschichtung des Substrats entweder lediglich zur elektrischen Isolation der separaten Metallstrukturen oder bis hin zur Vereinzelung (Ablösung vom Substrat) von metallischen Formkörpern erfolgen kann;

Fig. 8: eine schematische Darstellung einer weiteren Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Erzeugung dicker Photoresist-Schichten, bei der separate Belichtung für unterschiedliche Photoresiste erfolgt und nach der Entwicklung der Resist-Strukturen die Lücken der Strukturen mit Kupfer gefüllt werden, um nach Rückätzung der Metallisierung des Sub-

strats (oder des Substrats selbst) separierte Kupferstrukturen auf dem Substrat zu erhalten;

Fig. 9: eine Auswahl von einfach realisierbaren Querschnitten von bevorzugten Photoresist-Strukturen zur multiplen Herstellung von Mikrostrukturen unter Verwendung einer begrenzten Anzahl von unterschiedlichen Photoresist-Schichten, die mit einem einzigen gemeinsamen Entwicklungsschritt herstellbar sind.

[0018] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung von Mikrostrukturen mit Strukturhöhen (Schichtdicken) im unteren bis oberen Mikrometerbereich (1 µm bis mehrere 100 µm) umfasst in einer Grundvariante gemäß **Fig. 1** die Schritte:

- Bereitstellen eines metallisierten Substrats **1** (in der Regel: Metallkaschierung, PVD-Metallisierung oder Metallabscheidung);
- mindestens einmalige Beschichtung **3** des metallkaschierten Substrats **1** mit einem ersten Photoresist für die Erzeugung wenigstens einer definierten Stufenhöhe einer Strukturstufe und mindestens einmalige Beschichtung **3** des ersten Photoresists mit einem zweiten Photoresist für die Erzeugung wenigstens einer weiteren Strukturstufe, wobei der erste und der zweite Photoresist unterschiedliche Photoempfindlichkeiten und Transmissionseigenschaften für eine Strukturierung aufweisen;
- erste struktur erzeugende Belichtung **4** für den ersten Photoresist mit einem ersten Wellenlängenbereich und einer ersten Strahlungs dosis;
- zweite struktur erzeugende Belichtung **4** für den zweiten Photoresist mit einem zweiten Wellenlängenbereich und einer zweiten Strahlungs dosis;
- Entwicklung **5** einer mehrstufigen Photoresist-Struktur **6** durch Abtragen der nicht strukturbildend belichteten Bereiche des ersten und des zweiten Photoresists.

[0019] Dabei sind der Art der Strukturgestaltung bezüglich Anzahl, Höhe und Breite der Kanten kaum Grenzen gesetzt, jedoch sind für die erreichbare Kantenqualität am Ende des Entwicklungsprozesses der Photoresist-Struktur je nach gewünschter Höhe der Strukturstufen sowohl die Materialien der Photoresiste nach deren spektraler Empfindlichkeit und den Absorptions-/Transmissionseigenschaften der verwendeten Photoresiste für die Bearbeitungsstrahlung auszuwählen. Ergänzend sind zudem die verfügbaren Strahlungsleistungen/-dosen, um die struktur erzeugende Belichtung innerhalb des Empfindlichkeitsbereiches der verwendeten Photoresiste in möglichst kurzen Belichtungszeiten zu erreichen.

[0020] Fig. 1 zeigt die einzelnen Schritte in einer schematischen Profildarstellung eines erzeugten Schichtstapels auf einem Substrat 1. In der Teilabbildung 1) ist als Ausgangspunkt der gewünschten Mikrostrukturierung ein Substrat 1 mit einer Metallschicht 2 versehen (metallkaschiert). Die Metallschicht 2 dient vor allem der Verbesserung der Oberflächenhaftung für weitere Beschichtungen, für spätere Metallabscheidungsprozesse und Ablöseverfahren von Strukturen vom Substrat 1.

[0021] Die Teilabbildung 2) von Fig. 1 zeigt das Substrat 1 nach Beschichtung mit einem ersten Photoresist 31 (z.B. Photopolymer A), der eine Schichtdicke aufweist, die an eine gewünschte Höhe der zu erzeugenden Struktur angepasst ist. Falls ein definiert gleichmäßiger Schichtauftrag nicht in einem Schritt möglich ist, kann die erforderlichen Schichtdicke auch durch mehrfache Beschichtung mit demselben Photoresist 31 erfolgen, wie das später noch gezeigt ist (z.B. Fig. 3 und Fig. 4).

[0022] Grundlegend richtet sich die Auswahl der Photoresiste nach der zu erzeugenden Endform der Struktur. Die für die Prozessierung genutzten Eigenschaften der Photoresiste sind die wellenlängenabhängige Absorption/Transparenz und Empfindlichkeit (Belichtungsdosis). Diese Eigenschaften müssen für die jeweilige Struktur passend aufeinander abgestimmt werden.

[0023] Die Erzeugung von T-förmigen Strukturen, beispielsweise aus Polymeren zum Zwecke der späteren Metallabformung, wie sie in Fig. 1 angenommen und gezeigt ist, erfordert als untere Photoresist-Schicht 31 einen ersten Photoresist (z. B. Hitachi HM-40112), der auf relativ große Wellenlängen, z. B. 405 nm, reagiert und eine hohe Belichtungsdosis (z. B. 250 bis 400 mJ/cm² bei 405 nm) für das Aushärten in der vollen Tiefe der Photoresist-Schicht 31 benötigt. Anwendbar als solche unempfindlichen Photoresiste sind zum Beispiel die Hitachi RY-Serien, Hitachi HM-Serien und DuPont WBR-Serien mit geeigneten Belichtungswellenlängen zur Aushärtung.

[0024] Die darüber liegende Photoresist-Schicht 32 benötigt demgegenüber deutlich verschiedene Eigenschaften, wenn unterschiedliche Querschnitts- und/oder Höhenmaße für die Endform der Struktur erzeugt werden sollen. Für die in Fig. 1 gewählte T-förmig überstehende Form ist für die obere Photoresist-Schicht 32 ein Photoresist (z. B. Kolon Industries LS-8025) mit einer hohen Absorption für kurze Wellenlängen (z. B. 375 nm) und einer hohen Transparenz für die zur Belichtung der ersten Photoresist-Schicht 31 verwendeten langen Wellenlängen und eine möglichst geringe Belichtungsdosis (z. B. Kolon Industries LS-8025: 35 bis 50 mJ/cm² bei 375 nm) zum Aushärten zu wählen. Als solche höher empfindlichen Photoresiste eignen sich beispielsweise die Hitachi RD-Se-

rien, Hitachi SL-Serien, Asahi Kasei AQ-Serien und Kolon Industries LS-Serien.

[0025] Die Photoresiste sind dabei mit derart unterschiedlichen Parametern auszuwählen, dass sich die Belichtungsprozesse mit der Belichtungsstrahlung 41 für den ersten zum Aushärten vorgesehenen strukturbildenden Bereich 33 der Photoresist-Schicht 31, wie in Teilabbildung 4) dargestellt, und mit der Belichtungsstrahlung 42 für den zweiten zum Aushärten gewählten strukturbildenden Bereich 34 der Photoresist-Schicht 32, wie in Teilabbildung 5) dargestellt, möglichst nur auf diejenige Schicht beschränken, für die sie bestimmt sind. Das ist deshalb von Bedeutung, damit insbesondere solche Anteile der strukturbildenden Bereiche 33 und 34 der Photoresist-Schichten 31 und 32, auf die beide Belichtungsstrahlungen 41 und 42 gerichtet sind, jeweils nur durch die für sie bestimmte Belichtungsstrahlung 41 oder 42 beeinflusst werden, um innerhalb des jeweils strukturbildenden Bereichs 33 bzw. 34 der ersten und zweiten Photoresist-Schichten 31 bzw. 32 konstante Aushärtungsgrade zu erreichen, die einen kantenspezifisch präzisen Abtrag der nicht gehärteten restlichen Teile der Photoresist-Schichten 31 und 32 im nachfolgenden Entwicklungsprozess gemäß Teilabbildung 6) von Fig. 1 ermöglichen.

[0026] Bei einer invertierten T-förmigen Struktur - wie in Fig. 2 gezeigt - ist eine Umkehrung der vorher zu Fig. 1 beschriebenen Eigenschaften der ersten und der zweiten Photoresist-Schichten 31 bzw. 32 erforderlich. Die untere Photoresist-Schicht 31 erfordert dabei einen ersten Photoresist mit geringer Belichtungsdosis und eine höhere Empfindlichkeit für lange Wellenlängen (z. B. Hitachi SL-1338 mit 30 bis 50 mJ/cm² bei 405 nm). Die obere Photoresist-Schicht 32 sollte dagegen einen zweiten Photoresist für eine hohe Belichtungsdosis und mit hoher Transparenz für lange Wellenlängen aufweisen (z. B. Hitachi RY-5125 mit 180 bis 300 mJ/cm² bei 375 nm).

[0027] Alle übrigen Abläufe der Ausführung des Verfahrens nach Fig. 2 bleiben dabei gegenüber Fig. 1 unverändert. Geändert sind nur der für die Form der Struktur ausgewählte erste Photoresist und der darauf abgestimmte zweite Photoresist sowie die dazu angepasst gewählten Belichtungsstrahlungen 41 und 42. Prinzipiell könnte auch die in Fig. 1 gewählte Materialpaarung der Photoresist-Schichten 31 und 32 invers aufgetragen und mit angepasstem Muster der Belichtungsstrahlungen 41 und 42 gehärtet werden, falls das die Transparenz der zweiten Photoresist-Schicht 32 im Wellenlängenbereich der Belichtungsstrahlung 41 für die erste Photoresist-Schicht 31 zulässt.

[0028] Ein wesentlicher Vorteil und Kern des erfindungsgemäßen Verfahrens spiegelt sich in den Ausführungen von Fig. 1 und Fig. 2 (und allen nachfol-

genden Ausführungsbeispielen) dadurch wider, dass Beschichtungs- und Belichtungsvorgänge und der Entwicklungsprozess in einheitlichen (d. h. nicht wechselweise betriebenen) Zyklen ablaufen können, sodass die beschichteten Substrate **1** nicht mehrfach die dafür benötigten speziellen Bearbeitungskammern wechseln müssen und aufgrund dieser Prozessökonomie große Stückzahlen gewünschter dreidimensionaler Mikrostrukturen mit aus der Chipherstellung bekannten Verfahren mit hohem Prozessdurchsatz herstellbar sind.

[0029] In **Fig. 3** ist eine weitere Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens unter Verwendung eines ersten und eines dazu verschiedenen zweiten Photoresists gezeigt, bei der nach dem Beschichten des Substrats **1** auf die Metallbeschichtung **2** (z. B. Kupferkaschierung) mit der unteren Photoresist-Schicht **31** - aufgrund der gewünschten Strukturhöhe des zweiten Photoresists - die Photoresist-Schicht **32** doppelt aufgetragen wird, wie in den Teilabbildungen **1**) bis **4**) schrittweise dargestellt. Eine solche mehrfache Beschichtung vor dem Einwirken der Belichtungsstrahlung **41** und **42** für den ersten und den zweiten Photoresist in einem seriellen Belichtungszyklus ist immer nur so weit möglich, wie die zwei Photoresist-Schichten **32** (z. B. aus Hitachi RY-5125) eine ausreichende Transparenz bei der Wellenlänge der Belichtungsstrahlung **41** (z. B. 405 nm) für den ersten Photoresist (z. B. Hitachi SL-1338) aufweisen und letzterer bei geringer Belichtungs-dosis (z. B. mit 30 bis 50 mJ/cm²) aushärtbar ist, wie in Teilabbildung **5**) schematisch gezeigt. Nach dem Belichtungsprozess gemäß Teilabbildung **6**) von **Fig. 3** mit der zweiten Belichtungsstrahlung **42** (mit bspw. 200 bis 300 mJ/cm² bei 375 nm) für den zweiten Photoresist (z. B. Hitachi RY-5125) der zwei oberen Photoresist-Schichten **32** kann der Prozess der Struktur-erzeugung mit dem sogenannten Entwicklungsprozess (entsprechend der Teilabbildung **6**) aus **Fig. 2**) abgeschlossen werden oder aber - wie hier intendiert - mit weiteren Photoresist-Beschichtungen eine komplexere Form einer Struktur erzeugt werden.

[0030] **Fig. 4** zeigt eine vorteilhafte Fortsetzung der Verfahrensvariante von **Fig. 3** zur Erzeugung zweier weiterer Strukturstufen einer gewünschten Struktur. Gleiches könnte erforderlich sein, wenn die gewünschte Struktur ausschließlich eine größere Höhe aufweisen soll.

[0031] In der mit Bezug zu **Fig. 3** fortlaufend nummerierten Teilabbildung **7**) von **Fig. 4** wird - ohne vorherigen Entwicklungsprozess für den bisher aufgetragenen und belichteten Schichtenstapel aus unterer Photoresist-Schicht **31** und zwei darüber liegenden oberen Photoresist-Schichten **32** - eine weitere Photoresist-Schicht **33** zweifach aufgetragen, um eine weitere Kantenstruktur (Strukturstufe) zu erzeugen. Dabei ist der mehrfache Schichtauftrag nicht

durch die gewünschte (eher geringe) Strukturhöhe bedingt, sondern zur Vermeidung der Einwirkung auf die darunterliegenden Photoresist-Schichten **31** und **32** erforderlich, da ein dritter Photoresist mit geringer Belichtungs-dosis (z. B. JSR THB-111N mit 25 mJ/cm² bei 355 nm) auszuwählen ist. Die Wellenlänge zur Aushärtung des dritten Photoresists muss ebenfalls gegenüber dem ersten und zweiten Photoresist unterschiedlich gewählt sein. Ist jedoch die Belichtungs-dosis für Schicht **33** gering und die Absorption hoch genug, dann kann die gleiche Wellenlänge wie für Schicht **31** verwendet werden. Nach dem Auftragen der beiden Photoresist-Schichten **33** erfolgt anschließend deren Aushärtung innerhalb des strukturbildenden Bereichs **35** mittels einer Belichtungsstrahlung **43**, wie in Teilabbildung **9**) stilisiert dargestellt, mit kurzer Wellenlänge und geringer Belichtungs-dosis für den dritten Photoresist, wie z. B. 355 nm mit 25 mJ/cm² (wie oben angegeben) oder alternativ 375 nm mit 35 mJ/cm² für Kolon Industries LS-8025.

Des Weiteren wird für das in **Fig. 4** dargestellte Beispiel angenommen, dass eine weitere Abstufung des gewünschten Strukturprofils gemäß Teilabbildung **10**) so vorgesehen ist, dass eine finale Photoresist-Schicht **34** mit einem weiteren Photoresist aufgetragen wird, der mit dem dritten Photoresist (z. B. JSR-THB-111N: (z.B. 25 mJ/cm² bei 355 nm) identisch sein kann, wenn der strukturbildende Bereich **38** kleiner als die strukturbildenden Bereiche **37** der Photoresist-Schichten **33** ist.

Falls jedoch die Dimensionierung des strukturbildenden Bereichs **38** der finalen Photoresist-Schicht **34** größer sein, d. h. einen Überstand gegenüber den strukturbildenden Bereichen **37** aufweisen soll (in **Fig. 4** nicht dargestellt), müsste ein vierter Photoresist (z. B. JSR ARX-Serie, 15 mJ/cm² bei 248 nm) ausgewählt werden, der wiederum eine andere Wellenlänge (mindestens gegenüber dem dritten Photoresist der Schichten **33**) aufweist sowie eine kleine Strahlungs-dosis zum Aushärten benötigt, um Beeinträchtigungen der darunter liegenden Photoresist-schichten **31**, **32** und **33** außerhalb der strukturbildenden Bereichen **35**, **36** und **37** zu vermeiden.

[0032] Nach dem in Teilabbildung **11**) von **Fig. 4** dargestellten Aushärten der finalen Photoresist-Schicht **34** mittels der Belichtungsstrahlung **44**, die im oben erstgenannten Fall des kleineren strukturbildenden Bereichs **38** mit der Belichtungsstrahlung **43** übereinstimmen kann, findet gemäß Teilabbildung **12**) für alle Photoresist-Schichten **31** bis **34** ein gemeinsamer Entwicklungsprozess mittels der gängigen Entwickler **51**, wie z. B. alkalische Entwickler (Natriumcarbonat, Kaliumcarbonat, Kaliumhydroxid, Tetramethylammoniumhydroxid, etc.) oder organische Entwickler (1-Methoxy-2-propylacetat, Cyclopentanon, etc.), statt, nach dem die gewünschte Struktur **6** stehenbleibt.

[0033] In **Fig. 5** ist eine bevorzugte Anwendung für die im Verfahren gemäß den **Fig. 3** und **Fig. 4** her-

gestellten Struktur **6** angegeben, bei der vorausgesetzt wird, dass eine multiple Herstellung der Struktur **6** auf dem mit einer Metallschicht **2** belegten Substrat **1** erfolgt ist. Einen solchen Ausschnitt des Substrats **1** zeigt Teilabbildung 13) von **Fig. 5**, wobei zwischen jeweils zwei benachbarten Strukturen **6** eine Metallabscheidung **7** (z. B. von Kupfer, Nickel, Chrom, Zinn, Palladium, Silber, Gold oder Legierungen davon) bis zum vollständigen Ausfüllen der Photoresist-Lücken **61** erfolgt. Zur Schonung der Metallabscheidungen **7** beim nachträglichen Rückätzprozess kann es vorteilhaft sein, ein Substrat **1** zu wählen, das sich in einem organischen Lösungsmittel auflöst und somit das Metall der Metallabscheidung **7** nicht angreift. Dafür wäre es zwischen Substrat **1** und Metallschicht **2** sinnvoll, eine zusätzliche dünne, aus einem Polymer bestehende Trennschicht (hier nicht gezeichnet) einzubringen.

In Teilabbildung 14) von **Fig. 5** ist der darauffolgende Schritt der Freilegung von abgeformten Metallabscheidungen **7** zwischen den Strukturen **6** aus den Photoresist-Schichten **31** bis **34** (nur in **Fig. 4** und **Fig. 5** bezeichnet) gezeigt. Die hier als Negativformen für die Formgebung der Metallabscheidung **7** verwendeten Strukturen **6** werden dafür herausgelöst, indem auf die strukturbildenden Bereiche **35** bis **38** aus den Photoresist-Schichten **31** bis **34** in einem Prozessschritt der Resist-Entfernung **8** ein Resist-Entwickler **81** einwirkt und die Photoresist-Strukturen **6** zwischen den inzwischen mit Metall gefüllten Photoresist-Lücken **61** herauslöst. Danach verbleiben auf dem metallkaschierten Substrat **1** die in den Photoresist-Lücken **61** abgeformten Metallabscheidungen **7**, die über die Metallschicht **2** des Substrats **1** noch mit dem Substrat **1** fest verbunden sind.

[0034] Sollen die Metallabscheidungen **7** als Metallstruktur **71** (nur in Teilabbildung 16) bezeichnet am Substrat **1** fest gebunden bleiben, aber voneinander elektrisch isoliert sein, erfolgt eine Metallrückätzung **9** in einem solchen begrenzten Umfang, dass lediglich die Metallkaschierung des Substrats **1** durch einen Resist-Entwickler **81** (z. B. Eisen(III)-chlorid oder Kupfer(II)-chlorid zusammen mit Wasserstoffperoxid für Kupfer, Eisen(III)-chlorid oder Salpetersäure zusammen mit Salzsäure für Nickel, Ammoniumhydroxid zusammen mit Wasserstoffperoxid und Methanol für Silber, verdünnte Salpetersäure für Zinn, etc.) abgetragen wird. Das Ergebnis ist in der Teilabbildung 15) von **Fig. 5** schematisch dargestellt.

[0035] Ist eine Vereinzelung der Metallstrukturen **71** gewünscht, wird der Prozess der Metallrückätzung **9** länger und/oder mit speziell auf das Material der Metallschicht **2** des Substrats **1** abgestimmtem Ätzmittel (wie oben angegeben) fortgesetzt, bis sich die Metallstrukturen **71** als einzelne Metallformkörper **72** vom Substrat **1** abgelöst haben, wie es in Teilabbildung 16) zu sehen ist.

[0036] In **Fig. 6** wird in den sechs Teilabbildungen ein weiteres Beispiel für die Herstellung einer einfachen Photoresist-Struktur **6** dargestellt, bei der nur zwei Photoresist-Schichten **31** und **32** benötigt werden, um eine T-förmige Struktur **6** mit den Abmessungen Breite b : 100 μm , Höhe h : 83 μm , Stützbreite s : 50 μm , Stützhöhe ($h-t$): 45 μm zu erzeugen.

[0037] Die Vorgehensweise unterscheidet sich gegenüber den Ausführungen gemäß **Fig. 1** und **Fig. 2** dadurch, dass nach der Beschichtung **3**, gemäß Teilabbildung **2**, mit dem ersten Photoresist (beispielsweise DuPont Hitachi RY-5545, das für relativ kurze Wellenlängen 365 nm [i -Linie einer Quecksilberdampflampe] optimiert ist) die entstandene Photoresist-Schicht **31** (beispielsweise zunächst mit einer an diesen angepassten Belichtungsstrahlung **41** (z. B. 240 mJ/cm^2 bei 375 nm) im strukturbildenden Bereich **35** entsprechend Teilabbildung **3**) belichtet wird, bevor eine Beschichtung **3** gemäß Teilabbildung **4**) mit dem zweiten Photoresist erfolgt, der für relativ große Wellenlängen empfindlich ist (z. B. Hitachi SL-1333 bei 405 nm).

[0038] Ist die Photoresist-Schicht **32** aufgetragen, wird diese nachfolgend gemäß Teilabbildung **5**) in dem strukturbildenden Bereich **36** mit einer Belichtungsstrahlung **42** (z. B. 30 mJ/cm^2 bei 405 nm) belichtet. Anschließend wird der gemeinsame Entwicklungsprozess **5** mit einem ausgewählten Resist-Entwickler **81** (z. B. basierend auf alkalische Lösungen von Natriumcarbonat, Natriumhydroxid, Kaliumcarbonat oder auch Kaliumhydroxid) ausgeführt.

[0039] Um eine besonders hohe Breite b bei gleichzeitig geringer Stützbreite s zu erzeugen, kann es notwendig werden, eine Photoresist-Schicht **31** mit besonders geringer Empfindlichkeit zu verwenden. Ein Beispiel für einen solchen Photoresist ist AZ 125 nXT, der für dickere Schichten ab 70 μm eine Dosis von 1500 mJ/cm^2 bis 2200 mJ/cm^2 zur Aushärtung benötigt. Damit kann im Anschluss die obere Photoresist-Schicht **32** mit einer 4fach geringeren Dosis, die aber eine deutlich höhere Dosis als üblich ist, belichtet werden, um die Stabilität dieser oberen Photoresist-Schicht **32** zu erhöhen und einen größeren Überstand gegenüber der unteren Photoresist-Schicht **31** zu ermöglichen. In diesem Beispiel kann so der strukturbildende Bereich **36** (gebildet aus dem Resist Hitachi SL-1333) mit ca. 150 mJ/cm^2 anstelle von 30 mJ/cm^2 belichtet werden. Die für die Belichtung der unteren Photoresist-Schicht **31** angewendete Dosis betrug demgegenüber das Zehn- bis nahezu Fünfzehnfache, sodass die für die obere Photoresist-Schicht **32** zum Einsatz kommende Dosis von weniger als einer Zehnteldosis keine nennenswerte Wirkung auf die unbelichteten Bereiche (außerhalb des strukturbildenden Bereichs **35**) der unteren Photoresist-Schicht **31** hat.

[0040] In jedem Fall sollten sich die Belichtungs-dosen der jeweiligen unteren zu den oberen Photoresist-Schichten **31**, **33** bzw. **32**, **34** um einen Faktor vier oder größer unterscheiden. Dies verhindert ein unerwünschtes Belichten der jeweils anderen Photoresist-Schicht **32**, **34** bzw. **31**, **33** außerhalb der bereits belichteten strukturbildenden Bereiche **35**, **36**.

[0041] Da die Belichtungs-dosis im Wesentlichen durch die Empfindlichkeit der ausgewählten Resiste bestimmt ist, kann der Faktor der Dosisunterschiede umso kleiner gewählt werden, je weiter die Wellenlängen, für die der jeweilige Resist empfindlich ist, auseinanderliegen.

[0042] Fig. 7 stellt zu Fig. 6 eine Verfahrensfortsetzung für die Herstellung von metallischen Strukturen **72** auf dem Substrat **1** dar, sei es zur Herstellung von massiven Leiterbahnen für Leistungselektronik oder von filigranen Leiterbahnen mit erhöhter mechanischer Stabilität. Es sind aber auch einander kreuzende Photoresist-Strukturen **6** auf dem Substrat **1** durch Belichten aushärtbar, sodass durch die sich kreuzenden strukturbildenden Bereiche **35** und **36** Lücken **61** für Metallabscheidungen **71** freigelassen sind, die quadratische, rechteckige, parallelogramm- oder rhombenförmige, hexagonale oder elliptische bis kreisförmige Grundfläche aufweisen.

[0043] Teilabbildung 7 zeigt zur Erläuterung dieser Verfahrensausführung einen Ausschnitt des metallkaschierten Substrats **1** mit einer Metallschicht **2** (z. B. aus Kupfer). In die gemäß Teilabbildung **6** von Fig. 6 entstandenen Lücken **61** zwischen den Photoresist-Strukturen **6** wird jeweils Metall (als Lagen von z. B. Kupfer, Nickel, Chrom, Zinn, Palladium, Silber, Gold oder Legierungen davon) abgeschieden, die Lücken **61** werden damit vollständig ausgefüllt und somit durch Nutzung der Struktur der Lücken **61** als Präform die Metallabscheidung **7** entsprechend abgeformt. Gemäß Teilabbildung **8** werden bei der Resistentfernung **8** die Photoresist-Strukturen **6** mittels eines Resist-Entwicklers **81** (z. B. Kaliumcarbonat) vollständig herausgelöst und anschließend eine Metallrückätzung **9** für die Metallschicht **2** durch Anwendung eines Ätzmittels **92** (wie oben angegeben) durchgeführt, das für eine partielle Metallrückätzung der Metallschicht **2** zwischen den Metallstrukturen **71** geeignet angepasst ist. Als Ergebnis verbleibt das Substrat **1** mit speziell geformten Metallstrukturen **71**, wobei als Haftvermittler die verbliebenen Abschnitte der Metallschicht **2** dienen.

[0044] In der in Fig. 8 dargestellten Verfahrensvariante besteht die Besonderheit der Strukturzeugung darin, besonders hohe T-förmige Photoresist-Strukturen **6** zu erzeugen, bei denen das Verhältnis von Stützhöhe (h-t) zur Gesamthöhe h bei ungefähr Eins liegt und somit über dem strukturbildenden Bereich **35** eines ersten Photoresists ein Über-

hang eines strukturbildenden Bereichs **36** eines zweiten Photoresists zu bilden ist, wobei aus Gründen der Zeitersparnis die Photoresist-Struktur **6** aus möglichst wenigen Photoresist-Schichten **31** und **32** erzeugt werden soll. Die Maße der abgestuften T-förmigen Photoresist-Struktur **6** sollen in diesem Beispiel mit $h = 155 \mu\text{m}$, $b = 90 \mu\text{m}$, $s = 60 \mu\text{m}$ und $(h-t) = 75 \mu\text{m}$ angenommen werden.

[0045] Für diesen Zweck wird auf dem metallkaschierten Substrat **1** auf die Metallschicht **2** eine Photoresist-Schicht **31** aufgetragen, die aus einem ersten Photopolymer (bspw. Dupont WBR-2075 oder Hitachi HM-40112) für relativ große Wellenlängen, z. B. 405 nm, und eine hohe Belichtungs-dosis, z. B. 350 mJ/cm^2 bei 405 nm, erzeugt wird. Für die zweite überhängende Strukturstufe ist eine Beschichtung **3** mit zwei gleichartigen Photoresist-Schichten **32** erforderlich, wobei ein zweiter Photoresist (z. B. Asahi Kasei AQ-4088) verwendet wird, der eine hohe Absorption für kurze Wellenlängen (z. B. 365 nm) und eine hohe Transparenz für die zur Belichtung der ersten Photoresist-Schicht **31** verwendeten langen Wellenlängen und eine möglichst geringe Belichtungs-dosis (z. B. 80 mJ/cm^2 bei 375 nm) aufweist. Soweit in der Belichtungseinrichtung (nicht dargestellt) geeignete Lichtungsquellen zur Verfügung stehen, kann auch eine Wellenlängenpaarung 405 nm und 355 nm verwendet werden, wobei dann als zweiter Resist z. B. JSR THB-111N (mit geringer Belichtungs-dosis von 25 mJ/cm^2 bei 355 nm) zum Einsatz kommen kann.

[0046] Nach dem Beschichten **3** mit der unteren Photoresist-Schicht **31** - wie in Teilabbildung **1**) gezeigt - erfolgt hier zweckmäßig gleich die Belichtung **4** mit der für den ersten Photoresist ausgewählten Belichtungsstrahlung **41** in den gewünschten strukturbildenden Bereichen **35** (Teilabbildung **2**), bevor eine zweite und dritte Beschichtung **3** mit zwei gleichartigen Photoresist-Schichten **32**, gemäß Teilabbildungen **3**) und **4**), aus dem zweiten Photoresist erfolgen. Gemäß Teilabbildung **5**) von Fig. 8 wird danach die Belichtung **4** mit der an den zweiten Photoresist angepassten Belichtungsstrahlung **42** in den vorgesehenen strukturbildenden Bereichen **36** durchgeführt. Es schließt sich die gemeinsame Entwicklung **5** für alle Photoresist-Schichten **31** und **32** (Teilabbildung **6**) an. In den Lücken **61** zwischen den Photoresist-Strukturen **6** erfolgt, wie in den vorherigen Beispielen zu Fig. 5 und Fig. 7 beschrieben, eine Metallabscheidung **7**, mit der eine Metallstruktur **71** (z. B. aus Lagen von Kupfer, Nickel, Chrom, Zinn, Palladium, Silber, Gold oder Legierungen davon) an den Photoresist-Strukturen **6** abgeformt wird. Nach der Resistentfernung **8** durch einen Resist-Stripper **81** (z. B. durch eine 10%ige Kaliumhydroxid-Lösung) verbleibt (gemäß Teilabbildung **8**) zwischen den Metallstrukturen **71** noch eine leitende Verbindung, die durch die Metallschicht **2** des Substrats **1** gebildet wird. Um letztere zu entfernen und die Metallstrukturen **71** als feste

Strukturen auf dem Substrat **1** zu erhalten, wird durch eine Metallrückätzung **9** mit einem speziell an die Metallschicht **2** angepassten Ätzmittel **92** (bspw. für Cu: Kupfer(II)-chlorid zusammen mit Wasserstoffperoxid; Al: Mischung aus 5% Salpetersäure / 65% Phosphorsäure / 5% Essigsäure und Wasser; Sn: verdünnte Salpetersäure) zur partiellen Abtragung der Metallschicht **2** nur zwischen den gewünschten Metallstrukturen **71** durchgeführt (Teilabbildung **9**).

[0047] In **Fig. 9** sind noch einmal spezielle vorteilhafte Photoresist-Strukturen **6** nach dem Verfahrensschritt der Entwicklung **5** dargestellt. Zur Klarstellung der bereits in den vorhergehend beschriebenen Beispielen sind die einzustellenden Größenmaße in Teilabbildung **1**) angegeben.

[0048] Die in Teilabbildung **1**) von **Fig. 9** gezeigte Photoresist-Struktur **6** ist vorzugsweise für die Erzeugung von Metallstrukturen **71** oder Metallformkörpern **72** konzipiert und weist in der Regel Dimensionen zwischen $h = 30 - 1000 \mu\text{m}$ und $(h-t) = 10 \mu\text{m} - 900 \mu\text{m}$ auf, wobei deren Breite b und Stützbreite s nahezu beliebig, aber jeweils in Abhängigkeit von Höhe und Abstand der Strukturen sowie der Stabilität des Resists zu wählen sind. Die Erzeugung mehrerer gleichartiger Schichten **31** bzw. **32** bei Verwendung von nur zwei unterschiedlichen Photoresisten lässt eine Vergrößerung der Strukturhöhe für einzelne Strukturstufen bis maximal $1000 \mu\text{m}$ zu, wobei einzelne Photoresist-Schichten **31**, **32** zum Teil deutlich geringere Höhen aufweisen können (z. B. Hitachi SL-Serie bis $76 \mu\text{m}$, Hitachi HM-40112 bis $112 \mu\text{m}$, DuPont WBR-Series bis $240 \mu\text{m}$) und gestapelt werden müssen, während auch Ausnahmen existieren (z. B. MicroChem SU-8 bis $1000 \mu\text{m}$), bei denen eine große Strukturstufe durch lediglich eine Photoresist-Schicht **31** erreicht werden kann.

[0049] Da verschiedene Trockenfilmresiste nur in bestimmten Schichtdicken produziert werden (z. B. Hitachi HM-Serie in $56 \mu\text{m}$, $75 \mu\text{m}$ und $112 \mu\text{m}$), kann es in bestimmten Fällen nötig werden, die gewünschte Schichtdicke durch mehrfache Lamination von dünnen Resistschichten **31**, **32** zu erzeugen. Hierbei ist, wie in allen anderen Fällen auch, eine Anpassung der Belichtungs-dosis an die jeweilige Schichtdicke und den Schichtaufbau vorzunehmen, um ein optimales Ergebnis nach Entwicklung der Photoresist-Strukturen **6** zu erhalten.

[0050] In der Teilabbildung **2**) von **Fig. 9** ist eine solche Photoresist-Struktur **6** gezeigt, die bei großer Höhe der Strukturstufen der strukturbildenden Bereiche **36** der unteren Photoresist-Schicht **31** sowie bei einem großen Überstand der strukturbildenden Bereiche **36** der oberen Photoresist-Schicht **32** bevorzugt zur Erzeugung von Metallstrukturen **71** oder Metallformkörpern **72**, vorgesehen ist, die große Abstufun-

gen oder Auskragungen (Überstände) der Deckflächen (nicht bezeichnet) aufweisen.

[0051] Die Metallstrukturen **71** können zur mechanischen Stabilisierung von Leiterbahnen auf flexiblen Substraten **1** dienen. Durch die geeignete Wahl der Strukturen **6** bezüglich Höhe, Breite und Überstand, wird so die mechanische Stabilität bei wiederkehrender Belastung verbessert und gleichzeitig die benötigte Materialmenge beim Beschichten/Abscheiden (Plating) der Metallstrukturen **71** reduziert. Dies verlängert die Lebensdauer von Metallbädern für die Abscheidung der Metallschichten. Gleichzeitig können durch Variation der Größenverhältnisse der Metallstrukturen **71**, die mechanischen und elektrischen Eigenschaften gezielt an die jeweilige Anforderung angepasst werden.

[0052] Metallformkörper **72** finden vorrangig als mikromechanische Elemente oder Bauteile Anwendung, die durch die hier genutzte Technologie in hoher Stückzahl hergestellt werden können.

[0053] Die Teilabbildung **3**) von **Fig. 9** zeigt - bei ähnlicher Dimensionierung wie in den Teilabbildungen **1**) und **2**) - eine spezielle Schichtgestaltung, die insbesondere auf ein hohes Verhältnis von Breite zu Stützbreite ausgerichtet ist. Damit wird insbesondere die Erzeugung von Metallstrukturen **71** bezüglich der mechanischen Stabilität und Haftung auf flexiblen Substraten **1** verbessert.

[0054] Mit der Erfindung ist eine kostengünstige und durchsatzstarke Erzeugung von Mikrostrukturen aus Photoresisten oder Metallen mit reproduzierbarer Genauigkeit und begrenzter Anzahl von Prozessschritten in einem oder wenigen Zyklen realisierbar. Dadurch ist für relativ filigrane scharfkantig gestufte Körper eine Massenfertigung mit herkömmlichen Technologien der Halbleiterindustrie bzw. der Leiterplattenindustrie, aber deutlich größerer Höhendimension der erzeugten Strukturen als sie in herkömmlichen Schaltkreis- und Wafer-Chip-Fertigungszyklen Anwendung finden, bei reproduzierbarer Kantenqualität und Genauigkeit möglich. Durch die Kombination aus Photoresist-Schichten **31** bis **34**, die aus wenigen unterschiedlichen Photoresisten verschiedener Empfindlichkeiten für deren Aushärtung bestehen, können Schichtstapel zusammengesetzt werden, die teilweise in einem fortlaufenden Belichtungszyklus mit unterschiedlichen Belichtungswellenlängen und/oder -dosen bearbeitbar sind, aber in jedem Fall in einem gemeinsamen Entwicklungsprozess die gewünschte Photoresist-Struktur **6** entstehen lassen. Dadurch wird eine besonders hohe Prozessökonomie der Herstellung von 3D-Mikrostrukturen im ein- bis dreistelligen Mikrometerbereich erreicht.

[0055] Es sind weitere Steigerungen der Breite der erzeugbaren Resist-Strukturen bis ca. 150 nm und

Strukturhöhen bis in den Millimeterbereich möglich, wenn das erfindungsgemäße Verfahren auf Stepper der Halbleiterindustrie anwendbar gemacht wird, indem die dort üblichen Quecksilberdampflampen mit Filtern für die hier verwendeten Wellenlängen (365 nm, 405 nm, 436 nm) versehen werden. Zusätzlich können auch verschiedene Laserlichtquellen (Festkörperlaser oder Laserdioden) mit einer Wellenlänge von 355 nm, 375 nm oder 405 nm zum Einsatz kommen. Dieses Verfahren lässt sich auch auf die Resiste im tiefen UV-Bereich anwenden, welche eine Wellenlänge von 248 nm (KrF*-Laser) und 193 nm (ArF*-Laser) zur Belichtung nutzen.

Bezugszeichenliste

1	(metallkaschiertes) Substrat
2	Metallschicht
3	Beschichten
31, 32, 33	Photoresist-Schicht
34	finale Photoresist-Schicht
35, 36, 37, 38	strukturbildender Bereich
4	Belichtung
41	Belichtungsstrahlung (für Photoresist-Schicht 31)
42	Belichtungsstrahlung (für Photoresist-Schicht 32)
43	Belichtungsstrahlung (für Photoresist-Schicht 33)
44	Belichtungsstrahlung (für Photoresist-Schicht 34)
5	Entwicklung
51	Entwickler
6	Photoresist-Struktur
61	(Photoresist-) Lücken
7	Metallabscheidung
71	Metallstruktur
72	(Metall-) Formkörper
8	Resist-Entfernung
81	Resist-Entwickler (Resist-Stripper)
9	Metallrückätzung
91	Metallätzmittel (für Metallschicht 2)
92	Ätzmittel für partielle Metallschichtrückätzung

ZITATE ENHALTEN 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 Nicht-Patentliteratur

- V. PAPAGEORGIU et al. im Fachartikel
„Cofabrication of Planar Gunn Diode
and HEMT on InP Substrate“ (in: IEEE
Transactions on Electron Devices, Vol. 61, No.
8 (2014) pp. 2779-2784) [0003]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von dreidimensionalen Strukturen mittels Photoresist mit den Schritten:

- Bereitstellen eines metallkaschierten Substrats (1) zur Verbesserung der Oberflächenhaftung oder Anpassung für spätere Metallabscheidung und Abtrennung von Strukturen (6;71) von dem Substrat (1);
- mindestens einmaliges Beschichten (3) des kupferkaschierten Substrats (1) mit einem ersten Photoresist zur Erzeugung einer definierten Höhe wenigstens einer Strukturstufe und mindestens einmaliges Beschichten (3) des ersten Photoresists mit einem zweiten Photoresist zur Erzeugung einer definierten Höhe wenigstens einer weiteren Strukturstufe, wobei der erste und der zweite Photoresist unterschiedliche Photoempfindlichkeiten und Transmissionsseigenschaften für eine Strukturierung aufweisen;
- Belichtung (4) des ersten Photoresists mit einer Belichtungsstrahlung (41) mit einem ersten Wellenlängenbereich und einer ersten Strahlungsdosis in mindestens einem strukturbildenden Bereich (35) des ersten Photoresists;
- Belichtung mindestens des zweiten Photoresists mit Belichtungsstrahlung (42) mit einem zweiten Wellenlängenbereich und einer zweiten Strahlungsdosis in mindestens einem strukturbildenden Bereich (36) des zweiten Photoresists, wobei die strukturbildenden Bereiche (35; 36) mindestens des ersten und zweiten Photoresists einander wenigstens teilweise überlappen;
- Entwicklung (5) mindestens einer mehrstufigen Photoresist-Struktur (6) aus den überlappenden strukturbildenden Bereichen (35; 36; 37) mindestens des ersten und des zweiten Photoresist durch Entwicklung der nicht strukturbildend belichteten Bereiche der Beschichtungen (31; 32; 33; 34) von mindestens erstem und zweitem Photoresist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Beschichten (3) des ersten Photoresists mit dem zweiten Photoresist vor der ersten strukturerzeugenden Belichtung (4) des ersten Photoresists und der strukturerzeugenden Belichtung (4) des zweiten Photoresists erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Beschichten (3) des ersten Photoresists mit dem zweiten Photoresist erst nach der strukturerzeugenden Belichtung (4) des ersten Photoresists und die strukturerzeugende Belichtung (4) des zweiten Photoresists nach dem Beschichten (3) mit dem zweiten Photoresist erfolgt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, wobei das Beschichten (3) des zweiten mit einem dritten Photoresist erst nach der strukturerzeugenden Belichtung (4) des zweiten Photoresist erfolgt und das Beschichten (3) mit einem vierten oder jedem weiteren Photoresist die strukturerzeugende Belich-

tung (4) des dritten oder jedes weiteren vorher aufgetragenen Photoresists jeweils voraussetzt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei mindestens der erste oder der zweite oder ein weiterer Photoresist mit mehr als einer Photoresist-Schicht (31; 32; 33; 34) übereinander aufgetragen wird, um eine gewünschte definierte Höhe einer Strukturstufe der Photoresist-Struktur (6) zu erzeugen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der erste und der zweite Photoresist mit jeweils unterschiedlicher Empfindlichkeit so ausgewählt werden, dass sie mit jeweils unterschiedlicher Belichtungsstrahlung (41; 42) aushärtbar sind, auf die der jeweils andere Photoresist nicht reagiert.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der erste Photoresist für eine langwelligere Belichtungsstrahlung (41) mit höherer Belichtungsstrahlung gegenüber wirksamer Wellenlänge und Belichtungsstrahlung des zweiten Photoresist empfindlich und gegenüber einer kurzwelligeren Belichtungsstrahlung (42) mit niedrigerer Belichtungsstrahlung, auf die der zweite Photoresist reagiert, unempfindlich ist und der zweite Photoresist transparent und unempfindlich gegenüber der langwelligeren Belichtungsstrahlung (42) und höheren Belichtungsstrahlung des ersten Photoresists ist und für gegenüber der wirksamen Wellenlänge und Belichtungsstrahlung des ersten Photoresists kurzwelligerer Belichtungsstrahlung (42) empfindlich ist.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, wobei die unterschiedlichen Empfindlichkeiten des ersten und des zweiten Photoresists sich in einem Wellenlängenbereich zwischen 375 nm und 436 nm um mehr als 20 nm, vorzugsweise um mehr als 30 nm, und in der anwendbaren Dosis um einen Bereich zwischen 10 mJ/cm² und 2200 mJ/cm², vorzugsweise um einen Faktor von mehr als 4, unterscheiden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei ein dritter oder weiterer Photoresist mit einer Empfindlichkeit ausgewählt wird, der sich in der Wellenlänge in einem Wellenlängenbereich zwischen 248 nm und 436 nm um mehr als 20 nm, vorzugsweise um mehr als 30 nm von den Wellenlängen des ersten und des zweiten Photoresists, und in der anwendbaren Dosis in einem Bereich zwischen 10 mJ/cm² und 2200 mJ/cm², vorzugsweise um einen Faktor von mehr als 4, von den angewendeten Belichtungsstrahlungen des ersten und zweiten Photoresists unterscheidet.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei bei der Entwicklung (5) mindestens des ersten und des zweiten Photoresists dreidimensionale Photoresist-Strukturen (6) aus überlappenden strukturbildenden Bereichen (35, 36, ...) von mindestens erstem

und zweitem Photoresist auf dem Substrat (1) verbleiben und Photoresist-Lücken (61) zwischen benachbarten Photoresist-Strukturen (6) bilden, die als Kavitäten zum Befüllen mit einem abformbaren Material nutzbar sind.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei in die Photoresist-Lücken (61) zwischen den Photoresist-Strukturen (6) ein Metall oder eine Metalllegierung abgeschieden wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei mindestens eines der Metalle aus der Gruppe Kupfer, Nickel, Titan, Chrom, Aluminium, Palladium, Zinn, Silber und Gold oder Legierungen davon als Füllmaterial für die Kavitäten verwendet wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei die Photoresist-Strukturen (6) als langgestreckte oder geschlossene Schichtstapel erzeugt werden, um unterschiedliche Formkörper abzuformen.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei in den nach der durch Entwicklung mindestens des ersten und des zweiten Photoresists entstandenen Lücken (61) zwischen den Photoresist-Strukturen (6) erfolgten Metallabscheidung (7) eine Resistentfernung (8) der Photoresist-Strukturen (6) mittels eines Resist-Entwicklers (81) vorgenommen wird, bei der Metallformkörper (72) auf der Metallschicht des metallkaschierten Substrats (1) verbleiben.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei ein Prozess der Metallrückätzung (9) der Metallschicht (2) auf dem Substrat (1) mindestens in den Zwischenräumen zwischen den durch die Metallabscheidung (7) entstandenen Metallstrukturen (71) mittels eines Metallätzmittels (91) durchgeführt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei der Prozess der Metallrückätzung (9) mit auf die Metallschicht (2) des metallisierten Substrats (1) angepassten Ätzmitteln (92) solange fortgesetzt wird, bis die Metallschicht (2) des Substrats (1) vollständig abgetragen ist, sodass die Metallstrukturen (71) als Metallformkörper (72) vereinzelt werden.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

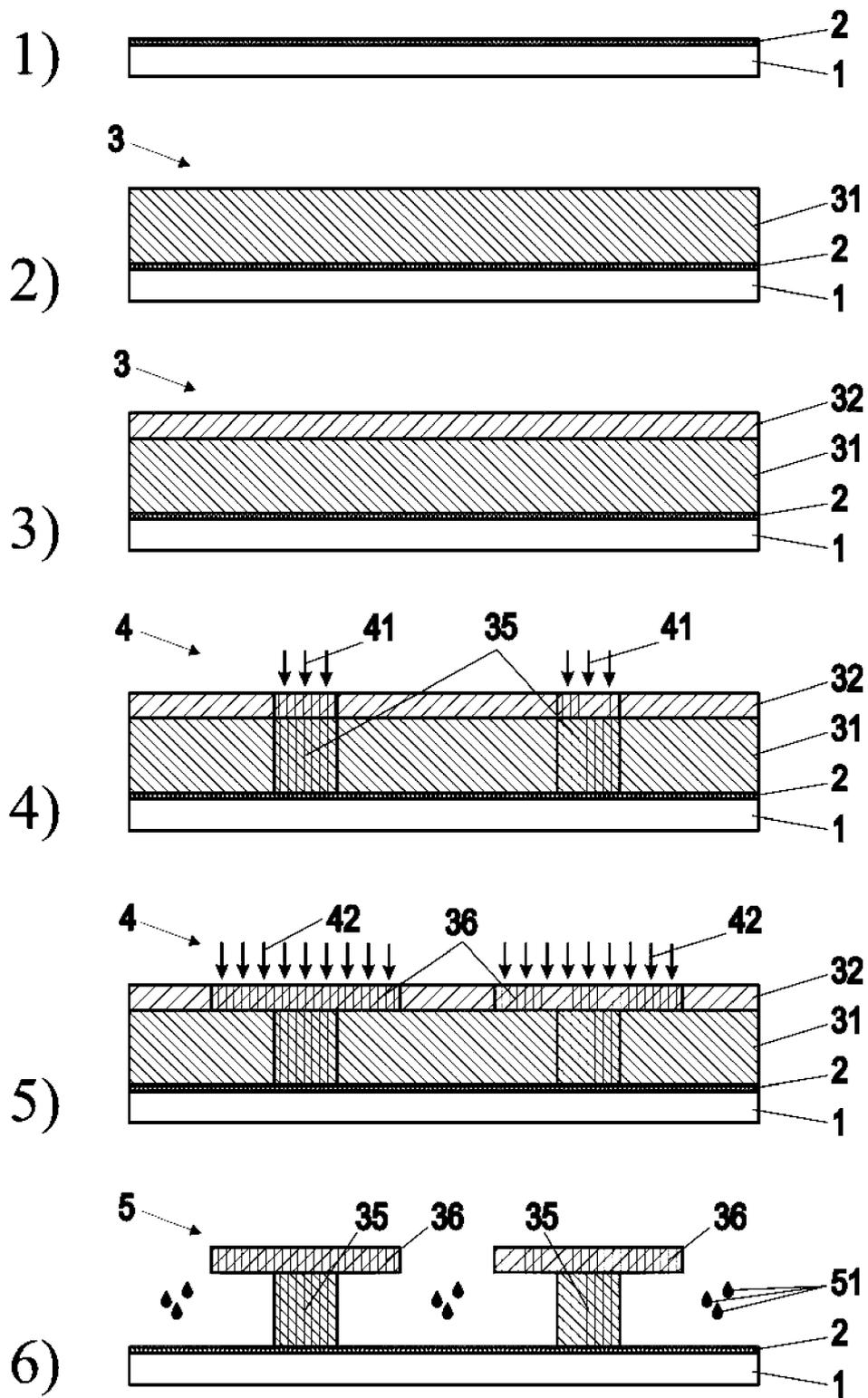


Fig. 1

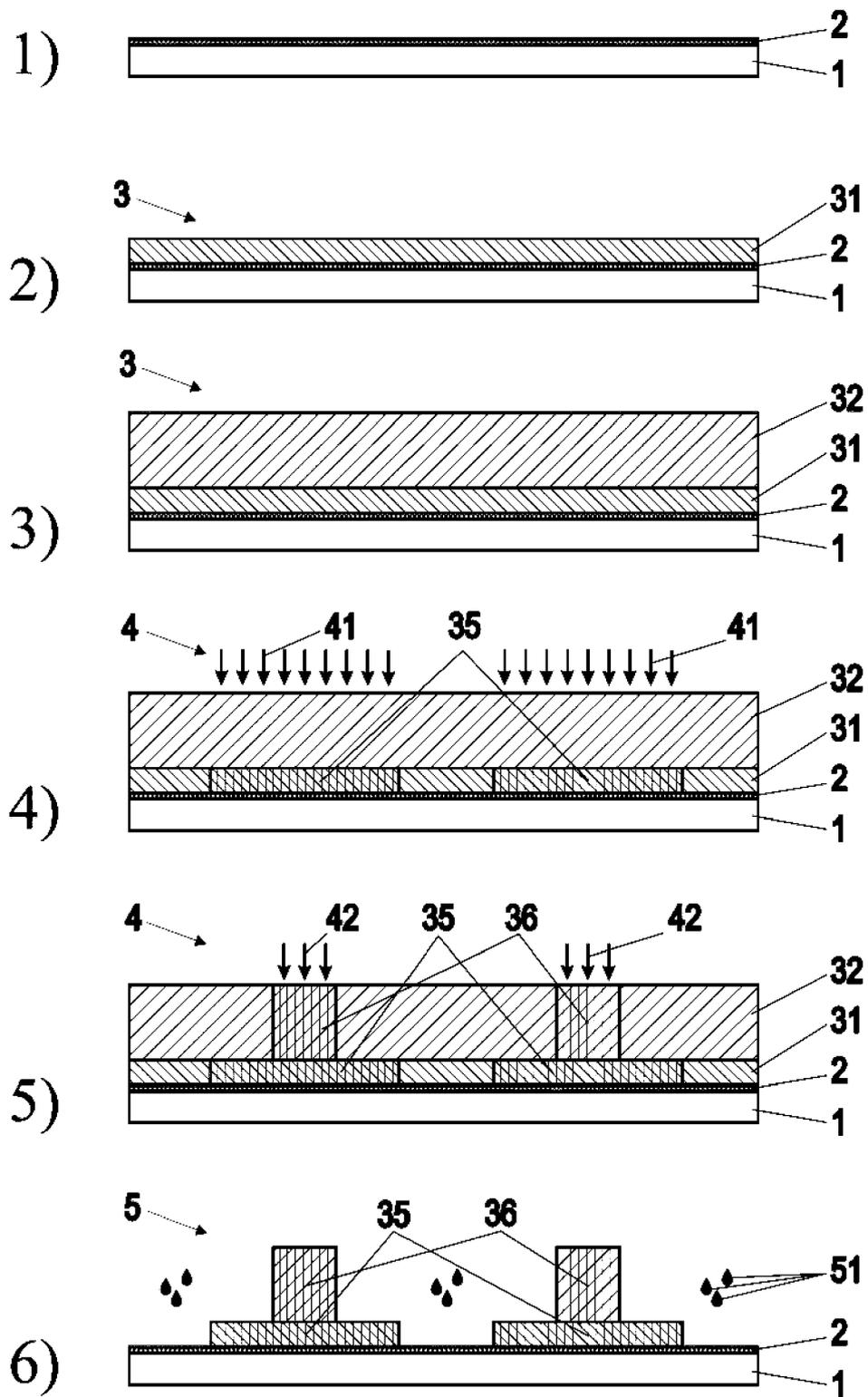


Fig. 2

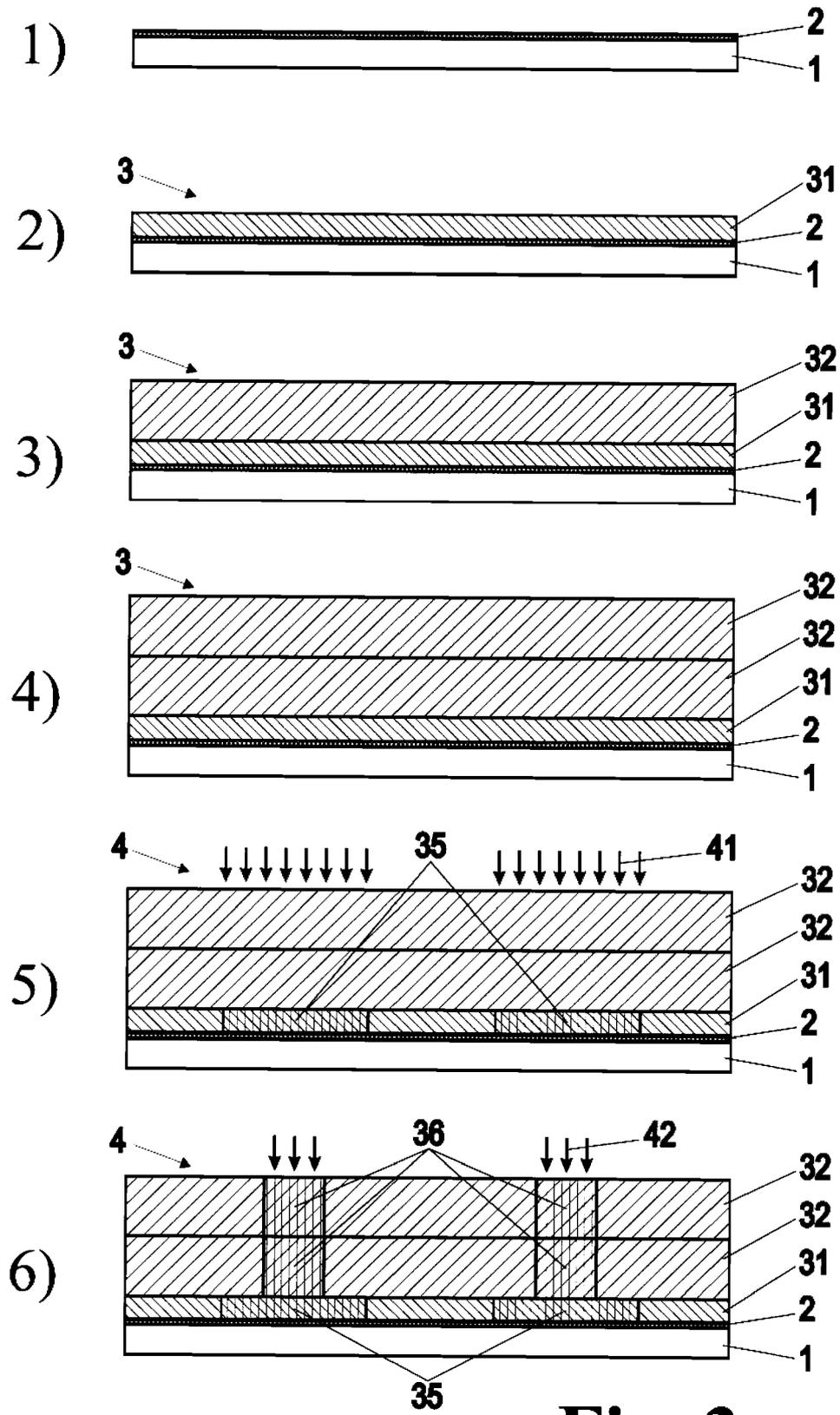


Fig. 3

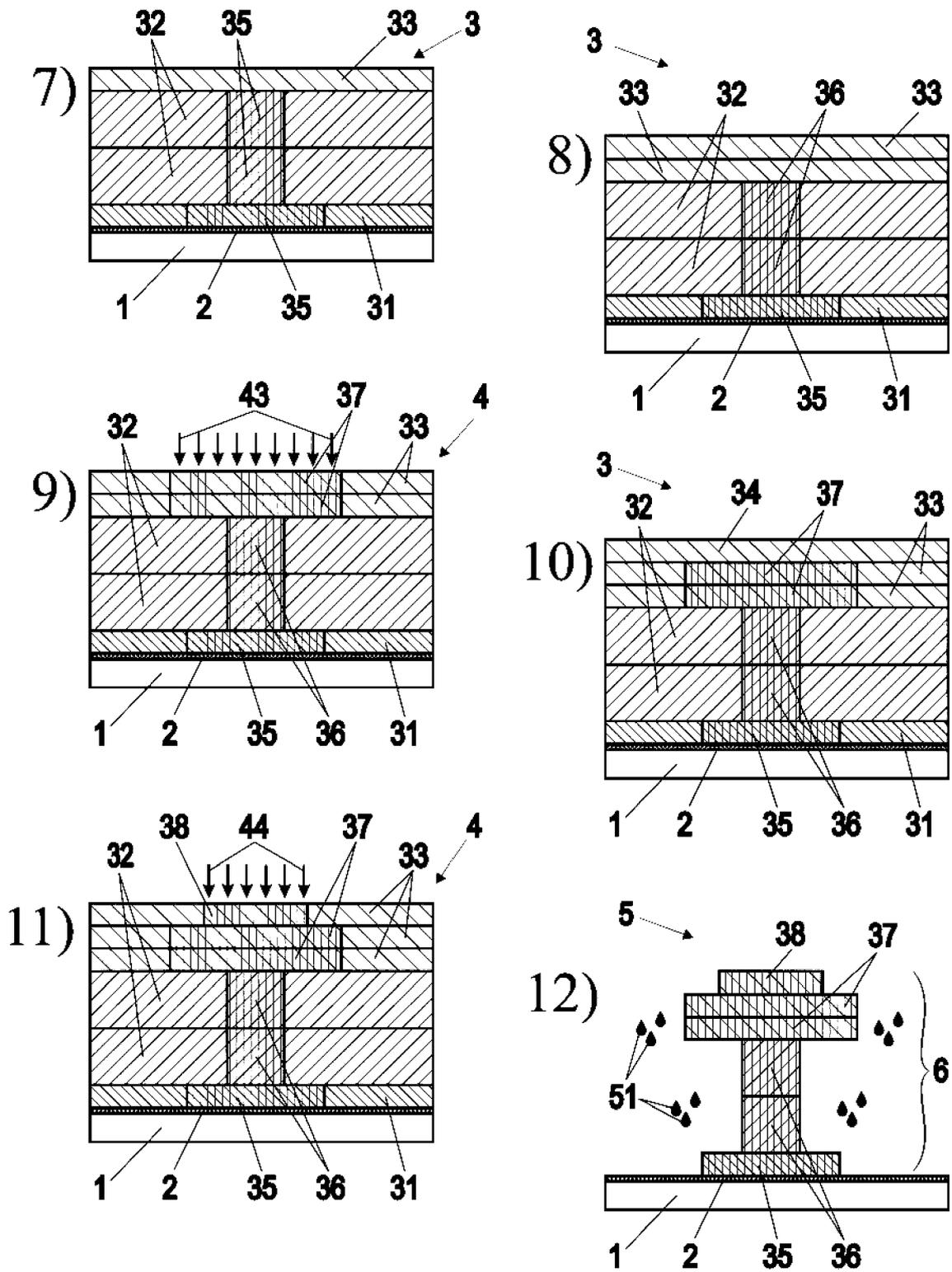


Fig. 4

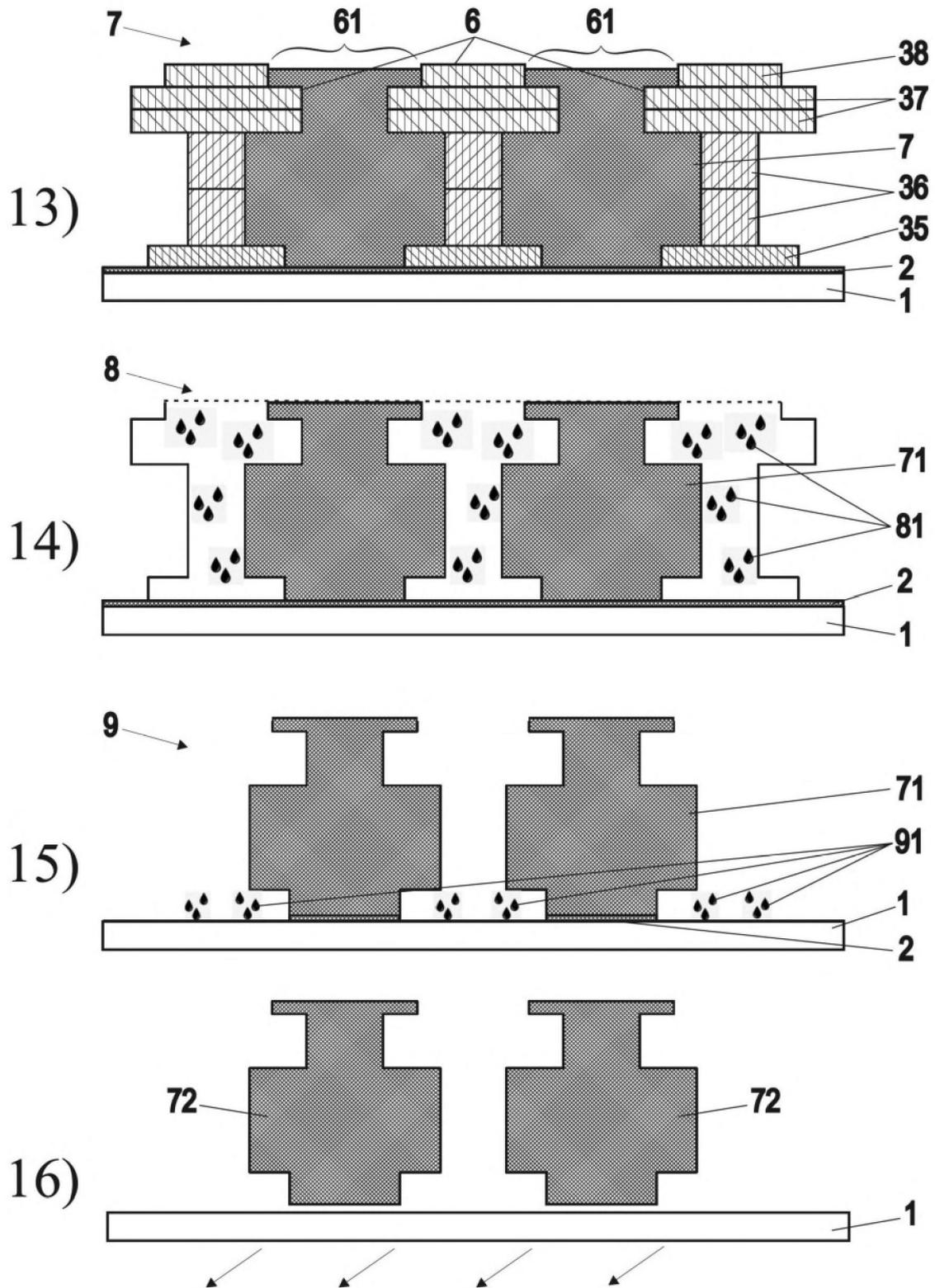


Fig. 5

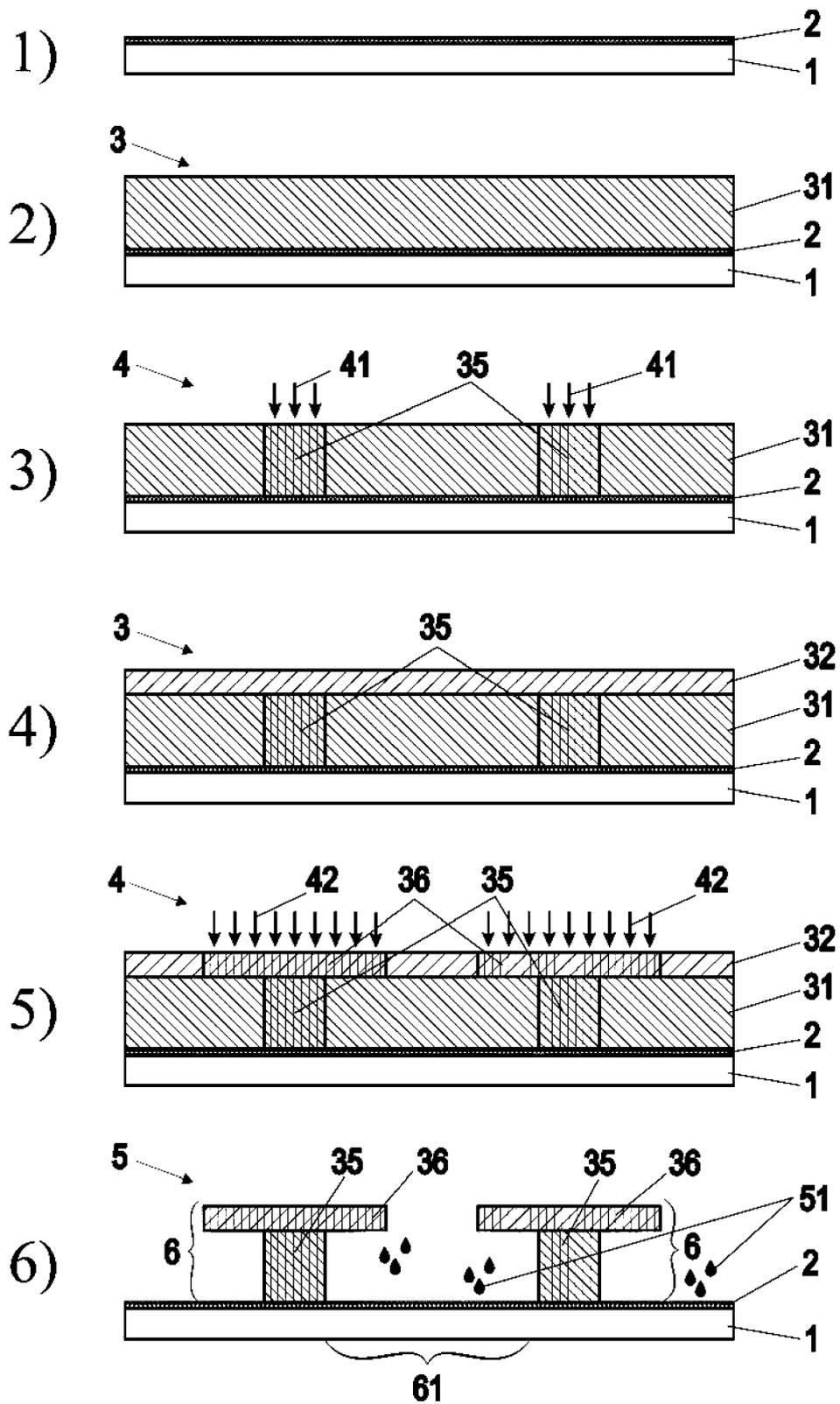


Fig. 6

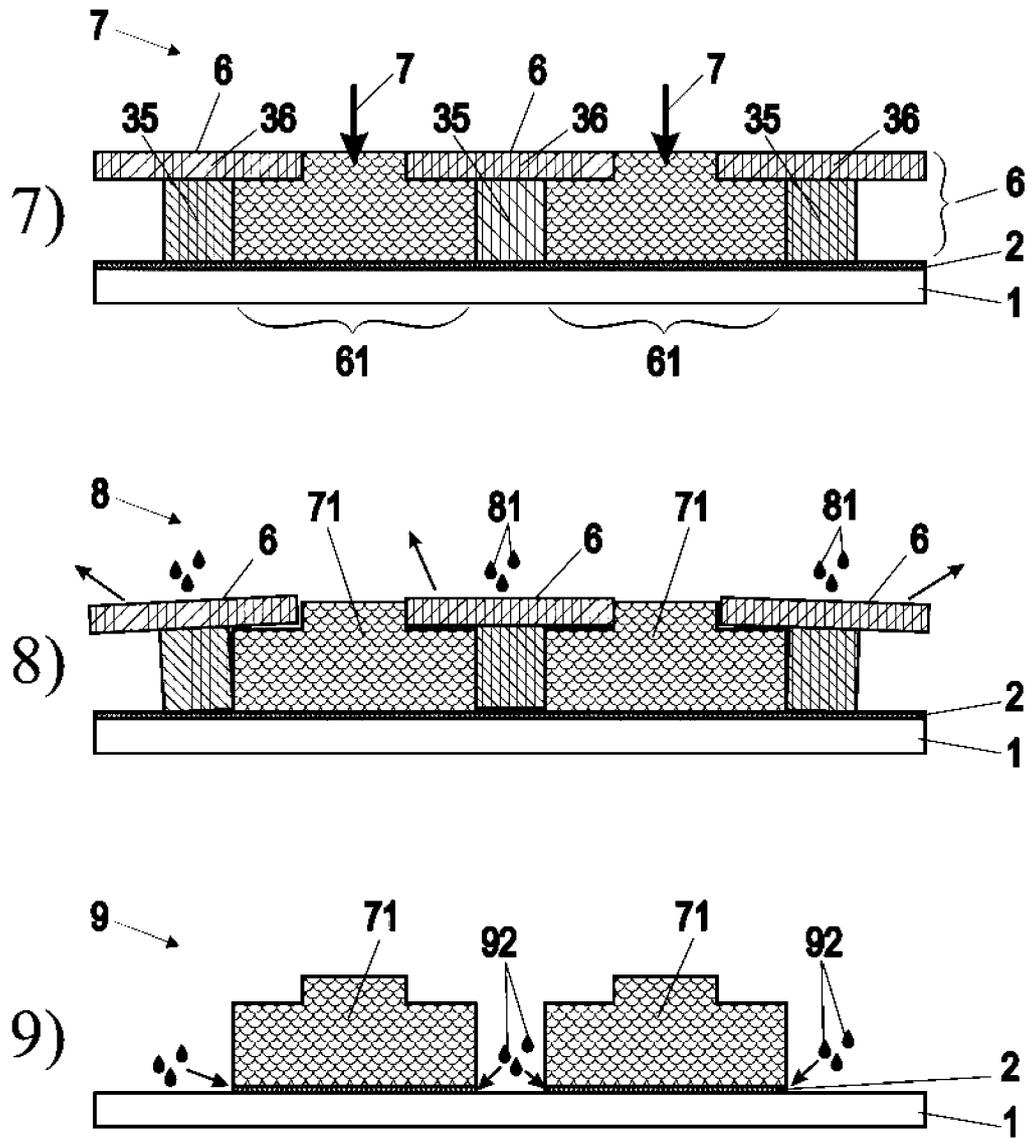


Fig. 7

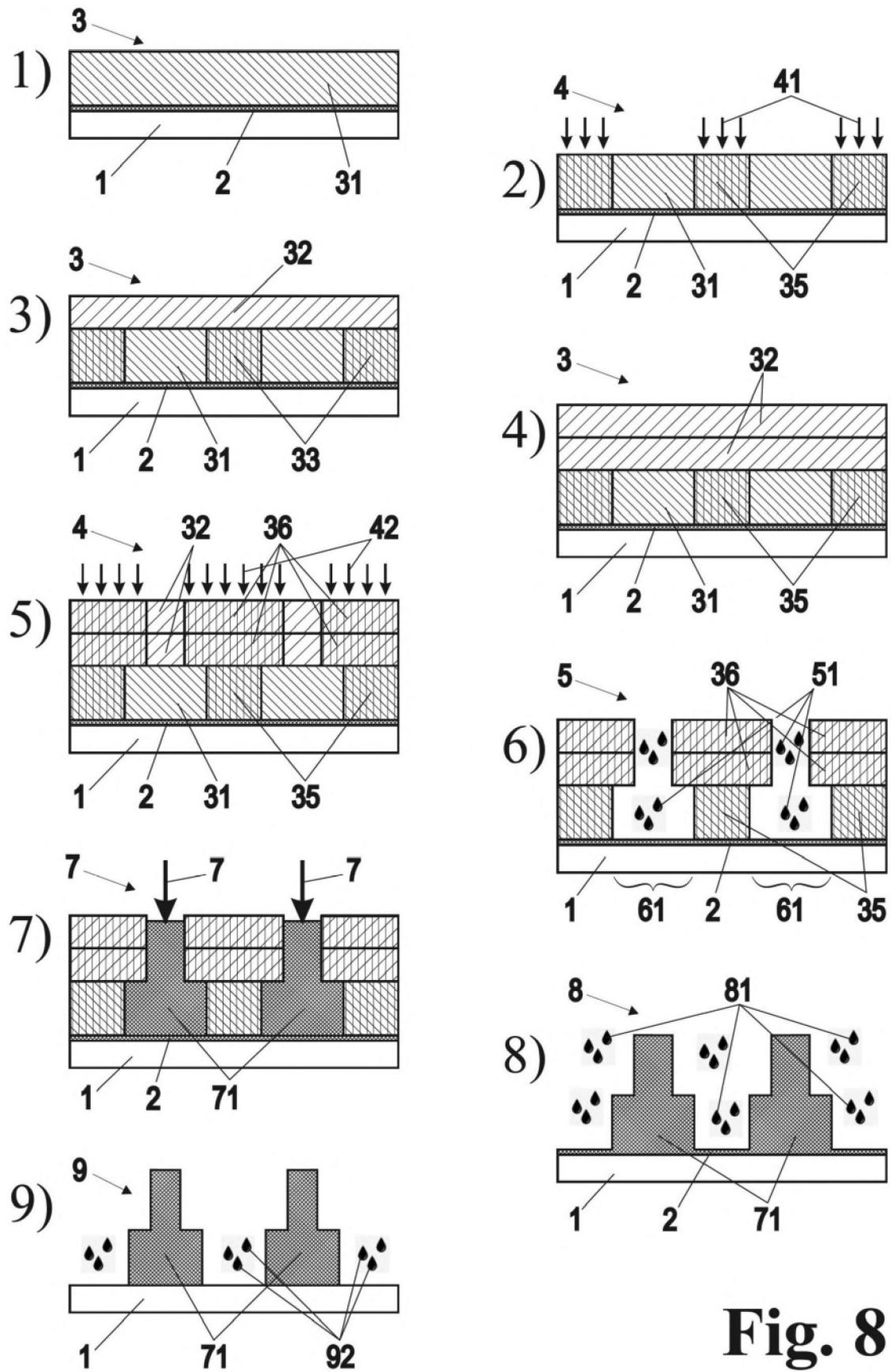


Fig. 8

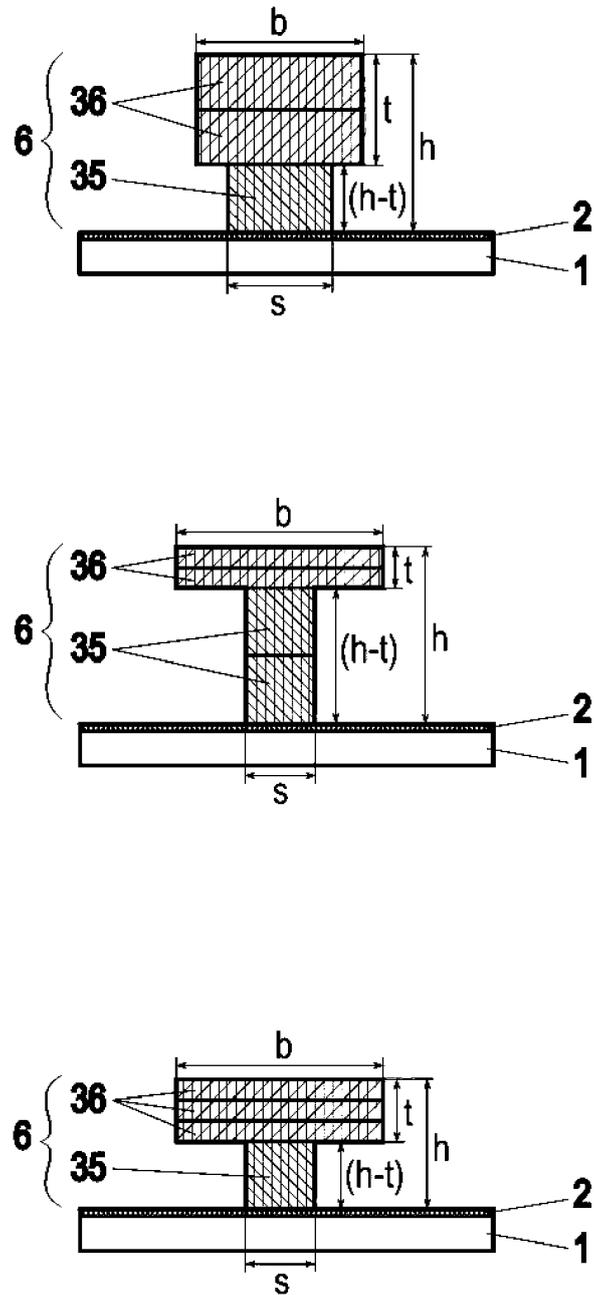


Fig. 9