



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 030 267 B4** 2009.04.16

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 030 267.2**

(22) Anmeldetag: **30.06.2006**

(43) Offenlegungstag: **03.01.2008**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **16.04.2009**

(51) Int Cl.⁸: **H01L 21/283** (2006.01)

H01L 21/768 (2006.01)

B81C 1/00 (2006.01)

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

(73) Patentinhaber:

**Advanced Micro Devices, Inc., Sunnyvale, Calif.,
US**

(74) Vertreter:

**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &
Schwanhäusser, 80802 München**

(72) Erfinder:

**Seidel, Robert, 01127 Dresden, DE; Peters,
Carsten, 01099 Dresden, DE; Feustel, Frank, 01187
Dresden, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

GB 22 33 494 A

US2005/02 50 052 A1

US 51 73 442 A

WO 2005/0 31 855 A1

WO 03/0 30 252 A2

WO 01/50 825 A1

WO 01/03 178 A1

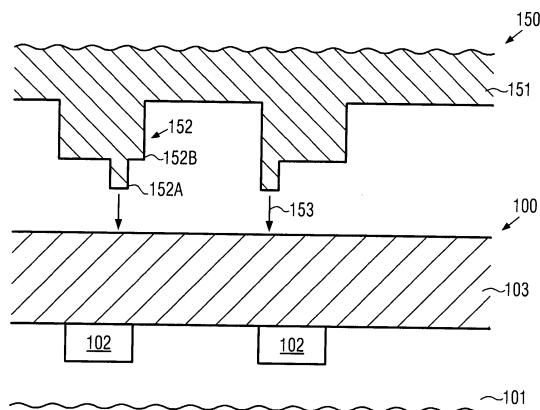
US2002/01 27 780 A1

(54) Bezeichnung: **Nano-Einprägetechnik mit erhöhter Flexibilität in Bezug auf die Justierung und die Formung von Strukturelementen**

(57) Hauptanspruch: Verfahren mit:
gemeinsames Einprägen einer Kontaktlochoffnung und eines Grabens in eine verformbare Materialschicht, die über einem Substrat ausgebildet ist, wobei die Kontaktlochoffnung und der Graben Strukturelementen einer Metallisierungsstruktur eines Mikrostrukturbauelements entsprechen;

Bilden einer Kontaktdurchführung und einer Leitung auf der Grundlage der Kontaktlochoffnung und des Grabens, wobei die Kontaktlochoffnung und der Graben mit einem leitenden Material gefüllt wird; und

Entfernen zumindest eines Bereichs der verformbaren Materialschicht nach dem Füllen der Kontaktlochoffnung und des Grabens mit einem leitenden Material.



Beschreibung

Gebiet der vorliegenden Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft das Gebiet der Herstellung von Mikrostrukturen und betrifft insbesondere ein Verfahren zum Definieren von Mikrostrukturelementen auf der Grundlage von Nano-Einprägetechniken.

Beschreibung des Stands der Technik

[0002] Die Herstellung von Mikrostrukturen, etwa integrierter Schaltungen, erfordert, dass kleine Gebiete mit genau gesteuerter Größe in einer Materialschicht eines geeigneten Substrats, etwa eines Siliziumsubstrats hergestellt werden. Diese kleinen Gebiete mit präzise gesteuerter Größe werden durch Strukturieren der Materialschicht durch beispielsweise Photolithographie und Ätzprozesse hergestellt. Zu diesem Zweck wird in konventionellen Halbleiterverfahren eine Maskenschicht über der betrachteten Materialschicht gebildet, um diese kleinen Gebiete zunächst in der Maskenschicht zu definieren. Im Allgemeinen besteht eine Maskenschicht aus einer Schicht aus Photolack oder wird daraus hergestellt, die mittels eines lithographischen Prozesses, etwa eines photolithographischen Prozesses, strukturiert wird. Während eines typischen photolithographischen Prozesses wird Lack auf die Scheibenoberfläche aufgeschleudert und wird dann mit ultravioletter Strahlung belichtet. Nach dem Entwickeln des Photolacks, abhängig von der Art des Lackes, d. h. Positivlack oder Negativlack, werden die belichteten Bereiche oder die nicht belichteten Bereiche entfernt, um das erforderliche Muster in der Schicht aus Photolack zu bilden. Da die Abmessungen der Muster in modernen integrierten Schaltung ständig kleiner werden, muss die für das Strukturieren der Strukturelemente verwendete Anlage äußerst strenge Anforderungen im Hinblick auf die Auflösung und die Überlagerungsgenauigkeit der beteiligten Herstellungsprozesse erfüllen. In dieser Hinsicht ist die Auflösung als ein Maß zu sehen, das die konsistente Fähigkeit angibt, Abbildungen mit minimaler Größe unter vordefinierten Fertigungstoleranzen zu erzeugen. Ein wichtiger Faktor bei der Verbesserung der Auflösung ist der photolithographische Prozess selbst, in welchem Muster, die in einer Photomaske oder einem Retikal enthalten sind, über ein optisches Abbildungssystem optisch auf ein Substrat übertragen werden. Daher werden große Anstrengungen unternommen, um die optischen Eigenschaften des Lithographiesystems ständig zu verbessern, etwa die numerische Apertur, die Brennweite und die Wellenlänge der verwendeten Lichtquelle.

[0003] Die Qualität der lithographischen Abbildung ist äußerst wichtig beim Erzeugen sehr kleiner Strukturgrößen. Von mindestens vergleichbarer Wichtig-

keit ist jedoch die Genauigkeit, mit der eine Abbildung auf der Oberfläche des Substrats positioniert werden kann. Viele Arten von Mikrostrukturen, etwa integrierte Schaltungen, werden durch aufeinanderfolgendes Strukturieren von Materialschichten hergestellt, wobei Strukturelemente aufeinanderfolgende Materialschichten eine genau definierte räumliche Beziehung zueinander aufweisen. Jedes in einer nachfolgenden Materialschicht gebildete Muster muss zu einem entsprechenden Muster ausgerichtet werden, das in der zuvor strukturierten Materialschicht gebildet ist, wobei spezielle Justiertoleranzen einzuhalten sind. Diese Justiertoleranzen werden beispielsweise durch eine Schwankung eines Photolackbildes auf dem Substrat auf Grund von Ungleichförmigkeiten in Prozessparametern, etwa der Lackdicke, der Ausbacktemperatur, der Belichtung und der Entwicklung hervorgerufen. Ferner können auch Ungleichförmigkeiten der Ätzprozesse ebenso zu Schwankungen in den geätzten Strukturelementen führen. Ferner besteht eine gewisse Unsicherheit bei der Überlagerung des Bildes des Musters für die aktuelle Materialschicht mit der geätzten Struktur der zuvor gebildeten Materialschicht, wenn das Bild lithographisch auf das Substrat übertragen wird. Es tragen diverse Faktoren zur Fähigkeit des Abbildungssystems bei, um in genauer Weise zwei Schichten zu überlagern, etwa Ungenauigkeiten innerhalb eines Maskensatzes, Temperaturdifferenzen zu unterschiedlichen Zeiten der Belichtung und eine begrenzte Justierfähigkeit des Justiersystems. Als Folge davon sind die wesentlichen Kriterien, die die minimale Strukturgröße bestimmen, die schließlich erreicht wird, die Auflösung für das Erzeugen von Strukturelementen in einzelnen Substratschichten und der Gesamtüberlagerungsfehler, zu welchem die zuvor erläuterten Faktoren und insbesondere der lithographische Prozess beitragen.

[0004] Die ständige Reduzierung der Mikrostrukturen erfordert das entsprechende Anpassen photolithographischer Systeme im Hinblick auf die Belichtungswellenlänge, die Strahl-optik, die Justiereinrichtungen und dergleichen, um damit für die erforderliche Auflösung zu sorgen, wodurch jedoch den Anlagenherstellern im Hinblick auf Entwicklungsarbeiten ein hoher Aufwand entsteht, während die Hersteller von Mikrostrukturen mit zunehmenden Anlageninvestitionen und deutlichen Betriebskosten konfrontiert sind. Daher wurden neue Verfahren vorgeschlagen, um Mikrostrukturelemente in entsprechende Materialschichten zu definieren, wobei einige der Probleme vermieden oder reduziert werden, die mit konventionellen photolithographischen Verfahren verknüpft sind. Ein vielversprechender Ansatz ist die Nano-Einprägetechnik, die ein Verfahren zum mechanischen Übertragen eines Musters ist, das in einer Gießform oder einem Prägestempel definiert ist, und in eine geeignete Maskenschicht übertragen wird, die dann zum Strukturieren der betrachteten

Materialschicht verwendet wird. Beispielsweise wird während der Herstellung von Metallisierungsschichten moderner Halbleiterbauelemente, die Metallstrukturen mit reduzierten Strukturgrößen, einer geringen parasitären Kapazität und einer hohen Widerstandsfähigkeit gegen Elektromigration erfordern, für gewöhnlich die sogenannte Einlege- oder Damaszener-Technik angewendet. In dieser Technologie zur Herstellung von Verdrahtungsschichten, die die komplexe Schaltungskonfiguration integrierter Schaltungen bereitstellen, wird ein geeignetes dielektrisches Material strukturiert, so dass dieses Gräben und Kontaktlöcher aufweist, die nachfolgend mit einem gut leitenden Material, etwa Kupfer, Kupferlegierungen, Silber oder anderen geeigneten Metallen gefüllt werden. Somit müssen die Kontaktlöcher, die die elektrische Verbindung zwischen Metallgebieten unterschiedlicher Metallisierungsschichten im Stapel herstellen, in präziser Weise in Bezug auf die Metallgebiete, etwa Metallleitungen, ausgerichtet werden, wobei die lateralen Abmessungen der Metallleitungen Kontaktdurchführungen zumindest in tieferliegenden Metallisierungsschichten vergleichbar sind mit minimalen kritischen Abmessungen, wodurch äußerst anspruchsvolle Lithographieverfahren erforderlich sind. Des Weiteren ist die Oberflächentopographie in höheren Bauteilschichten für optische Strukturierungsverfahren gewissenhaft einzustellen, was äußerst anspruchsvolle Einebnungstechniken auf Grund der Verwendung von dielektrischen Materialien mit kleinem ϵ erfordern kann, die eine geringere mechanische Stabilität im Vergleich zu „konventionellen“ dielektrischen Materialien, etwa Siliziumdioxid, Siliziumnitrid, und dergleichen aufweisen können. Durch Vermeiden eines optischen Strukturierungsvorganges können entsprechende Gräben oder Kontaktlöcher auf der Grundlage von Nano-Einprägeverfahren hergestellt werden, wobei ein Lackmaterial oder ein anderes Maskenmaterial durch einen entsprechenden Prägestempel mit einem Relief in Kontakt gebracht werden, das entsprechende Leitungen und Abstände zur Herstellung von Gräben beinhaltet, wenn die Gräben für Metallleitungen herzustellen sind. In einem nächsten Prozessschritt wird die Maskenschicht verwendet, um das Muster von der Maskenschicht in die Materialschicht zu übertragen, etwa das dielektrische Material der Metallisierungsschicht. Obwohl viele Probleme, die mit der Photolithographie verknüpft sind, durch Verwenden der Nano-Einprägetechnik vermieden werden können, müssen die Gräben, die durch den Einprägeprozess definiert werden, in präziser Weise zu den zuvor gebildeten Kontaktlöchern justiert werden, wodurch ebenso sehr strikte Anforderungen an den Einprägeprozess gestellt werden. In anderen Situationen weist die Nano-Einprägetechnik eine geringere Flexibilität im Hinblick auf die Formung von Öffnungen auf, wenn diese direkt in einem Zwischenschichtdielektrikumsmaterial hergestellt werden, da dann die Einstellung von Belichtungs- und/oder Ätzparametern

zum Erhalten beispielsweise einer schräg verlaufenden Form, wie dies in einem effizienten Steuermechanismus in konventionellen Photolithographieverfahren möglich ist, nicht mehr verfügbar ist.

[0005] Die Patentschrift US 5 173 442 A offenbart die Herstellung von Kanälen und Kontaktlöchern durch Einprägen einer Einprägeform in eine nicht vollständig ausgehärtete Polyimidschicht. Nach dem Entfernen der Einprägeform wird ein Plasmaätzprozess ausgeführt, um in den Kontaktlöchern verbliebene Polyimidreste zu entfernen. Anschließend wird in den gebildeten Öffnungen eine Saatschicht gebildet und elektrolytisch Kupfer abgeschieden. Das Einprägeverfahren wird insbesondere für Kontaktlöcher und Kanäle mit großer Ausdehnung als vorteilhaft angesehen. Alternativ werden herkömmliche Strukturierungsprozesse mit Masken angewendet.

[0006] Die Patentanmeldung WO 03/030252 A2 offenbart ein Verfahren zum Bilden von Leitungsstrukturen in dreidimensionalen Halbleiterbauteilen mittels Einprägetechniken. Die Leitungsstrukturen können nicht-senkrechte Seitenwände aufweisen. Die Leitungsstrukturen werden direkt in das dielektrische Material eingeprägt. Die Einprägeformen werden mittels Photolithographie- und Ätztechniken hergestellt. Dabei kann die Abmessung der Strukturen bis zu 10 nm betragen und es können Aspektverhältnisse von bis zu 100:1 realisiert werden. Die Leitungsstrukturen weisen typischerweise eine 50 nm starke Titanschicht und eine 150 nm starke Goldschicht auf. Die Dicke der dielektrischen Schicht liegt im Bereich von 1 μm bis 2 mm und kann zum Beispiel aus Polyimid gebildet sein, wobei die dielektrische Schicht vorzugsweise bei 90°C gebacken wird, um eine weiche, prägbare Schicht zu erhalten. Die dielektrische Schicht kann auch separat von dem Halbleiterbauteil strukturiert werden und nach dem Strukturieren auf das Halbleiterbauteil gebondet werden.

[0007] Die Patentanmeldung WO 01/03178 A1 offenbart ein Verfahren zum Herstellen von dreidimensionalen nanostrukturierten Elektroden mittels Einprägetechniken. Die Einprägeform wird in ein Substrat, das eine leitende Beschichtung aufweist, eingedrückt, wobei die leitende Schicht definiert unterbrochen wird, um die Elektroden zu bilden. In einer Ausführungsform wird ein Master hergestellt, von dem durch Vervielfältigung eine größere Anzahl von Prägestempeln geformt wird.

[0008] Die Patentanmeldung WO 01/50825 A1 bezieht sich auf Leiterplatten, die Strukturen mit Abmessungen von mindestens 10 μm aufweisen. Die Leiterplatten können durch einseitige bzw. beidseitige Einprägetechniken realisiert werden.

[0009] Die Patentanmeldung US 2002/0127780 A1 offenbart Aufbau- und Verbindungstechniken zum

Anschließen von Halbleiterbauteilen, die mehrlagige Metallisierungszwischenschichten eingesetzt werden, die lagenweise oder stapelweise aufgebracht werden können.

[0010] Angesichts der zuvor erwähnten Probleme besteht dennoch ein Bedarf für eine Technik, die die Definition von Strukturelementen mittels Nano-Einprägeverfahren mit erhöhter Flexibilität ermöglicht, während eines oder mehrere der zuvor erkannten Probleme vermieden oder zumindest in ihren Auswirkungen verringert werden.

Überblick über die Erfindung

[0011] Im Allgemeinen richtet sich die vorliegende Erfindung an eine Technik zur Herstellung von Strukturelementen von Mikrostrukturen, etwa von Halbleiterbauelementen, unter Anwendung von Techniken, in denen eine mechanische Wechselwirkung ausgenutzt wird, um ein entsprechendes Strukturelement, etwa eine Leitung, eine Kontaktdurchführung und dergleichen, innerhalb einer spezifizierten Materialschicht bereitzustellen. Zu diesem Zweck wird ein erhöhtes Maß an Flexibilität in einigen Aspekten bereitgestellt, indem die Anzahl der Prozessschritte deutlich reduziert wird, die zur Herstellung von beispielsweise Metallisierungsschichten von Halbleiterbauelementen erforderlich sind, indem die Kontaktlochöffnungen und die Gräben in einem gemeinsamen Einprägeprozess gebildet werden. In anderen Aspekten kann die Seitenwandkonfiguration von Gräben, Kontaktlöchern, und dergleichen in effizienter Weise auf der Grundlage entsprechend gestalteter Prägeformen oder Stempel eingestellt werden, um damit nicht-senkrechte Seitenwandbereiche zu schaffen, wie dies vorteilhaft sein kann für eine Vielzahl von speziellen Bauteilstrukturen, etwa von Gräben und Öffnungen für Strukturelemente in Metallisierungsschichten und dergleichen. Durch Reduzieren der Prozesskomplexität von Einprägeverfahren und/oder durch Bereitstellen einer verbesserten Flexibilität bei der Formung entsprechender Strukturelemente kann somit das Gesamtleistungsvermögen der entsprechenden Mikrostrukturbauelemente bei reduzierter Prozesskomplexität verbessert werden, da beispielsweise kritische Justiervorgänge reduziert und/oder das Prozessverhalten gewisser Schaltungselemente verbessert werden kann, indem beispielsweise ein verbessertes Füllverhalten erreicht wird, wenn Metallisierungsstrukturen moderner Halbleiterbauelementen betrachtet werden.

[0012] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung wird durch die Verfahren gemäß den Ansprüchen 1, 13 und 20 gelöst.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0013] Weitere Ausführungsformen der vorliegen-

den Erfindung sind in den angefügten Patentansprüchen in der folgenden Beschreibung definiert und gehen deutlicher aus dem Studium der folgenden detaillierten Beschreibung unter Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen hervor, in denen:

[0014] [Fig. 1a](#) bis [Fig. 1e](#) schematisch Querschnittsansichten einer Mikrostruktur während der Herstellung einer Kontaktloch/Leitungs-Metallisierungsstruktur in einem gemeinsamen Einprägeprozess zum direkten Bilden der entsprechenden Öffnungen in einem Zwischenschichtdielektrikumsmaterial gemäß anschaulicher Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigen;

[0015] [Fig. 2a](#) bis [Fig. 2d](#) schematisch Querschnittsansichten eines Mikrostrukturbauelements während der Herstellung einer Kontaktloch/Leitungs-Metallisierungsstruktur auf der Grundlage eines gemeinsamen Einprägeprozesses mit einem nachfolgenden Ätzprozess gemäß weiterer anschaulicher Ausführungsformen zeigen;

[0016] [Fig. 3a](#) bis [Fig. 3e](#) schematisch Querschnittsansichten während diverser Fertigungsphasen zur Herstellung einer Kontaktloch/Leitungsstruktur auf der Grundlage eines gemeinsamen Einprägeprozesses mit einem nachfolgenden Entfernen von dielektrischen Material gemäß weiterer anschaulicher Ausführungsformen zeigen;

[0017] [Fig. 4a](#) bis [Fig. 4c](#) schematisch einen Prozessablauf zur Herstellung einer Einprägeform oder Stempels zeigen, d. h. einer Negativform einer Kontaktloch/Leitungsstruktur gemäß noch weiterer anschaulicher Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung;

[0018] [Fig. 5](#) schematisch ein mechanisches Übertragen einer oder mehrerer Metallisierungsstrukturen auf ein Substrat zeigt, das mehrere Schaltungselemente aufweist, gemäß weiterer anschaulicher Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung;

[0019] [Fig. 6a](#) bis [Fig. 6c](#) schematisch Querschnittsansichten mehrerer Einprägeformen bzw. Stempel mit einer nicht-senkrechten Seitenwandkonfiguration entsprechender Negativformen von Metallisierungsstrukturen für Halbleiterbauelemente gemäß anschaulicher Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zeigen;

[0020] [Fig. 7a](#) und [Fig. 7b](#) schematisch Querschnittsansichten eines Halbleiterbauelements während der Herstellung von Isolationsgräben auf der Grundlage von sich verjüngenden Einprägestempeln oder Formen gemäß noch weiterer anschaulicher Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zeigen; und

[0021] [Fig. 8a](#) bis [Fig. 8d](#) schematisch Querschnittsansichten eines Halbleiterbauelements während diverser Fertigungsphasen zur Herstellung einer Leitung, etwa einer Gateelektrode, mit einer modifizierten Seitenwandkonfiguration zeigen, die durch Einprägeverfahren gemäß weiterer anschaulicher Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung erhalten wird.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0022] Obwohl die vorliegende Erfindung mit Bezug zu den Ausführungsformen beschrieben ist, wie sie in der folgenden detaillierten Beschreibung sowie in den Zeichnungen dargestellt sind, sollte es selbstverständlich sein, dass die folgende detaillierte Beschreibung sowie die Zeichnungen nicht beabsichtigen, die vorliegende Erfindung auf die speziellen anschaulichen offenbarten Ausführungsformen einzuschränken, sondern die beschriebenen anschaulichen Ausführungsformen stellen lediglich beispielhaft die diversen Aspekte der vorliegenden Erfindung dar, deren Schutzbereich durch die angefügten Patentansprüche definiert ist.

[0023] Im Allgemeinen betrifft die vorliegende Erfindung eine Technik zur Herstellung von Strukturelementen von Mikrostrukturen, etwa von Halbleiterbauelemente, und dergleichen, in denen zumindest einige der Photolithographieschritte durch eine Einprägetechnik ersetzt werden, in der ein Strukturelement oder zumindest eine Maskenschicht zur Herstellung eines Strukturelements durch einen direkten mechanischen Kontakt zwischen einem Gießmaterial bzw. verformbaren Material und einer entsprechenden Einprägeform oder einem Nano-Stempel oder Prägestempel hergestellt wird, wobei in einigen Aspekten der vorliegenden Erfindung zwei unterschiedliche Arten an Strukturelementen in einem gemeinsamen Einprägeprozess hergestellt werden können, um damit die Anzahl der erforderlichen Justierprozesse und damit auch die Anzahl der einzelnen Prozessschritte, etwa der Abscheideschritte, Einebnungsschritte und dergleichen zu verringern. In einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird die Form entsprechender Strukturelemente durch geeignetes Gestalten entsprechender Einprägeformeln erreicht, um damit das Leistungsverhalten der entsprechenden Strukturelemente und/oder die Effizienz des entsprechenden Strukturierungsprozesses zu verbessern. Beispielsweise werden in einigen anschaulichen Ausführungsformen sich verjüngende bzw. schräg zulaufende Kontaktlöcher oder Gräben auf der Grundlage entsprechend gestalteter Einprägestempel oder Formeln hergestellt, um damit das Füllverhalten in einem entsprechenden Abscheideprozess zum zuverlässigen Auffüllen mit einem leitenden Material, etwa Metallen, Metalllegierungen, und dergleichen, zu verbessern. Somit können die Gesamtprozesseffizienz und damit die Herstellungskosten redu-

ziert werden, da in vielen Fertigungsphasen äußerst kostenintensive und komplexe Photolithographieschritte vermieden werden können, oder entsprechende Photolithographieprozesse zur Herstellung geeigneter Einprägeformen angewendet werden können, wodurch die Effizienz des entsprechenden Photolithographieprozesses deutlich „vervielfacht“ wird, da ein einzelner Photolithographieprozess eine entsprechende Einprägeform oder einen Stempel ergibt, der wiederum zur Bearbeitung einer Vielzahl von Substraten eingesetzt werden kann.

[0024] Mit Bezug zu den begleitenden Zeichnungen werden nunmehr weitere anschauliche Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung detaillierter beschrieben.

[0025] [Fig. 1a](#) zeigt schematisch ein Mikrostrukturbauelement **100**, das in einigen anschaulichen Ausführungsformen ein Halbleiterbauelement repräsentiert, das eine Metallisierungsstruktur erhält, um damit entsprechende Schaltungselemente, etwa Transistoren, Kondensatoren, Widerstände, und dergleichen, die darin ausgebildet sind, miteinander elektrisch zu verbinden. In anderen Fällen repräsentiert das Mikrostrukturbauelement **100** ein Bauelement mit darin ausgebildeten optoelektronischen Komponenten und/oder mechanischen Komponenten, und dergleichen. Das Mikrostrukturbauelement **100** umfasst ein Substrat **101**, das ein beliebiges geeignetes Substrat repräsentieren kann, etwa ein siliziumbasiertes Halbleitersubstrat, das eine vergrabene Isolierschicht (nicht gezeigt) enthalten kann, wenn eine SOI-(Silizium-auf-Isolator-)Architektur betrachtet wird, wobei eine geeignete Halbleiterschicht auf einer entsprechenden Isolierschicht ausgebildet ist. In anderen Fällen repräsentiert das Substrat **101** ein beliebiges geeignetes Trägermaterial mit einer darauf ausgebildeten geeigneten Materialschicht, die die Herstellung entsprechender Komponenten ermöglicht, wovon zumindest einige eine entsprechende Metallisierungsstruktur erfordern, um damit die elektrische Verbindung zwischen den entsprechenden Schaltungselementen zu ermöglichen. In noch weiteren Fällen repräsentiert das Substrat **101** ein geeignetes Trägermaterial, über welchem eine Metallisierungsstruktur herzustellen ist, die auf ein entsprechendes Halbleiterbauelement in einer späteren Phase zu übertragen ist, wie dies nachfolgend detaillierter beschrieben ist. In einigen anschaulichen Ausführungsformen weist das Substrat **101** darin ausgebildet mehrere Strukturelemente einschließlich entsprechender Kontaktgebiete **102** auf, die in Form von gut leitenden Halbleitergebieten, Metallgebieten oder dergleichen vorgesehen sein können. Ferner ist eine Schicht aus einem verformbaren bzw. gießbaren Material **103** über dem Substrat **101** ausgebildet, wobei in der in [Fig. 1a](#) dargestellten Ausführungsform die Schicht **103** ein geeignetes dielektrisches Material darstellt, um darin Strukturelemente einer Metallisie-

rungsstruktur herzustellen.

[0026] Beispielsweise ist in einigen anschaulichen Ausführungsformen das verformbare Material der Schicht **103** aus einem Dielektrikum mit einer relativen Permittivität von 3,0 und deutlich kleiner ausgebildet, das typischerweise als Dielektrikum mit kleinem ϵ oder als Dielektrikum mit ultrakleinem ϵ bezeichnet wird. Es sollte beachtet werden, dass in diesem Zusammenhang der Begriff „gießbar oder verformbar“ Materialeigenschaften bezeichnet, die einen mechanischen Kontakt mit einer Einprägeform oder einem Stempel, d. h. einer Negativform einer Öffnung, die in der Materialschicht **103** zu bilden ist, ermöglicht, um damit das verformbare Material zu deformieren und nachfolgend den entsprechenden Einprägestempel zu entfernen, wobei dann das verformbare Material **103** im Wesentlichen die deformierte Form nach dem Entfernen der Einprägeform beibehält. Beispielsweise sind eine große Klasse thermoplastischer Materialien verfügbar, die in einen Zustand geringer Viskosität beim Ausüben von Wärme gebracht werden können, so dass in dem Zustand mit geringer Viskosität eine entsprechende Deformierung des Materials **103** erreicht wird, wobei nach dem Abkühlen des thermoplastischen Materials die entsprechende deformierte Form beibehalten wird, selbst wenn der deformierende Einprägestempel entfernt wird. In anderen Fällen können entsprechende Materialien, etwa Polymermaterialien, Lackmaterialien, und dergleichen in einem Zustand geringer Viskosität bereitgestellt werden, und nach dem Kontakt mit einer entsprechenden Einprägeform ausgehärtet werden, beispielsweise auf der Grundlage von UV-Strahlung, einer Wärmebehandlung, und dergleichen, um damit den deformierten Zustand beizubehalten. In der in [Fig. 1a](#) gezeigten Ausführungsform wird das Mikrostrukturbauelement **100** vor dem Kontakt mit einer entsprechenden Einprägeform oder einem Stempel **150** gezeigt, der ein Substrat **151** aufweist, das aus einem geeigneten Material hergestellt ist, etwa Silizium, Siliziumdioxid, Metallen, Metalllegierungen, gewissen Kunststoffmaterialien, und dergleichen. Des Weiteren umfasst die Einprägeform **150** mehrere Negativformen **152** entsprechender komplexer Öffnungen, die in der Materialschicht **103** zu bilden sind. In der gezeigten Ausführungsform weisen die Negativformen **152** einen Kontaktlochbereich **152a** und einen Grabenbereich **152b** auf, die entsprechenden Kontaktlöchern und Metallleitungen einer Metallisierungsstruktur entsprechen, die in der dielektrischen Schicht **103** herzustellen ist. Beispielsweise müssen in modernen Mikrostrukturbauelementen, etwa dem Bauelement **100** entsprechende Metallleitungen oder andere Leitungen mit einer Breite von ungefähr 100 nm bis einige Mikrometer hergestellt werden, abhängig von der betrachteten Ebene der Metallisierungsstruktur und der minimalen kritischen Abmessungen von Schaltungselementen des Bauelements **100**. Wie zuvor erläutert ist, werden

entsprechende Strukturelemente von Metallisierungsstrukturen typischerweise auf der Grundlage von Photolithographie und entsprechenden Ätzprozessen hergestellt, wobei äußerst komplexe Lithographieanlagen mit entsprechend komplexen Justiereinheiten erforderlich sind. Während einer entsprechenden Fertigungssequenz zur Herstellung eines Kontaktlochs und einer damit verbundenen Metallleitung müssen unabhängig von der betrachteten Prozessstrategie der Graben und das Kontaktloch miteinander justiert werden, was schließlich zu einem gewissen Justierfehler führen kann, der durch die entsprechenden Entwurfsregeln zu berücksichtigen ist. Durch Verwenden der Einprägeform **150**, die die entsprechenden Negativformen **152a** entsprechender Kontaktlochöffnungen und die Negativformen **152b** entsprechender Gräben aufweist, sind die Kontaktdurchführungen und Metallleitungen automatisch zueinander mit hoher Genauigkeit justiert, wodurch die Prozesskomplexität reduziert und das Bauteilungsverhalten erhöht sowie eine Verringerung der Prozessstoleranzgrenzen ermöglicht wird, die für gewöhnlich vorzusehen sind, um damit ein gewisses Maß an Fehljustierung zwischen Kontaktlochöffnungen und Gräben zu berücksichtigen.

[0027] Ein typischer Prozessablauf zur Herstellung des Mikrostrukturbauelements **100** kann den folgenden Prozess umfassen. Nach der Herstellung von Mikrostrukturelementen, falls diese vorgesehen sind, etwa die leitenden Gebiete **102**, oder andere Schaltungselemente auf der Grundlage gut etablierter Techniken, die Photolithographieprozesse oder andere Einprägeprozesse beinhalten können, wie dies nachfolgend beschrieben wird, oder Implantationsprozesse, Ätzverfahren, Einebnungsprozesse, und dergleichen aufweisen können, wird das verformbare Material der Schicht **103** auf der Grundlage einer geeigneten Abscheidetechnik hergestellt. Beispielsweise kann die Schicht **103** in einem Zustand geringer Viskosität durch Aufschleuderverfahren aufgebracht und in diesem Zustand geringer Viskosität beibehalten werden, wenn es ein aushärtbares Material ist, etwa ein spezielles Polymermaterial, ein verformbares Lackmaterial, und dergleichen. In anderen anschaulichen Ausführungsformen wird die Schicht **103** durch eine beliebige geeignete Abscheidetechnik aufgebracht und wird entsprechend behandelt, um damit in einen gut verformbaren Zustand überzugehen, beispielsweise durch Wärmebehandeln der Schicht **103**, wenn ein thermoplastisches Material verwendet wird. Anschließend wird die Einprägeform **150** positioniert und relativ zu der Mikrostruktur **100** auf der Grundlage gut etablierbarer Justieranlagen ausgerichtet, wobei beispielsweise entsprechende mechanische Justiermarken (nicht gezeigt), optische Justiermarken und dergleichen eingesetzt werden. Nach dem geeigneten Positionieren der Einprägeform **150** und der Mikrostruktur **100** relativ zueinander, werden die Einprägeform **150** und/oder die Mi-

krostruktur **100** relativ zueinander bewegt, wie dies durch die Pfeile **153** angedeutet ist, während deren laterale Positionierung im Wesentlichen beibehalten wird.

[0028] **Fig. 1b** zeigt schematisch das Mikrostrukturelement **100**, wenn es mit der Einprägeform **150** in Kontakt ist, wobei die entsprechenden Negativformen **152** die verformbare Materialschicht **103** verformen, um damit die Kontaktlochöffnung und einen Graben darin zu definieren. Danach kann die Schicht **103** beispielsweise durch Reduzieren der Temperatur, Aushärten der Schicht **103** mittels einer geeigneten Behandlung, etwa mit UV-(ultraviolett)Strahlung, und dergleichen behandelt werden, um das Material der Schicht **103** in einen im Wesentlichen nicht deformierbaren Zustand überzuführen, d. h. in einen Zustand, in welchem die Materialschicht **103** im Wesentlichen ihre Form nach dem Entfernen der Einprägeform **150** mit einem gewünschten hohen Maß an Formtreue beibehält.

[0029] **Fig. 1c** zeigt schematisch das Mikrostrukturbauelement **100**, wenn die Einprägeform **150** entfernt wird, wie dies durch die Pfeile **154** angedeutet ist, wodurch auf Grund des im Wesentlichen nicht deformierbaren Zustands des Materials **103**, eine entsprechende eingeprägte Struktur **104** mit einer Kontaktlochöffnung **104a** und einem Graben **104b** zurückbleibt, die im Wesentlichen in der Größe und Form den entsprechenden Negativformen **152a**, **152b** der Einprägeform **150** entsprechen. Es sollte beachtet werden, dass die Einprägeform **150** eine geringe Haftung zu dem Material der Schicht **103** in ihrem im Wesentlichen nicht deformierbaren Zustand aufweist, was auf der Grundlage entsprechender Oberflächenbehandlungen oder Materialzusammensetzung unter Anwendung gut bekannter Techniken für Nano-Einprägeprozesse erreicht werden kann. Während des gemeinsamen Einprägens der Kontaktlochöffnung **104a** und des Grabens **104b** in die Schicht **103** kann sich der Höhenpegel, des Materials in der Schicht **103** auf Grund des zusätzlichen Volumens der entsprechenden Negativformen **152** ändern, wobei ein entsprechender Anstieg des Höhenpegels lokal variieren kann, abhängig von der Strukturdichte der entsprechenden Negativformen **152** über das Substrat **101** hinweg. Wenn eine Fluidverbindung zwischen entsprechenden Bereichen der Schicht **103** über das Substrat **101** hinweg nicht vorgesehen ist – beispielsweise auf Grund der Musterkonfiguration der Negativformen **152b**, die im Wesentlichen eine Fluidverbindung in einer abschließenden Phase der Positionierung der Einprägeform **150** in dem Material **103** verhindert – kann die Form **150** entsprechende Fluidkanäle (nicht gezeigt) aufweisen, die eine effiziente Kommunikation zwischen unterschiedlichen Bauteilbereichen ermöglicht oder die es ermöglichen Überschussmaterial der Schicht **103** zu entfernen. Folglich kann beim Entfernen der Einprägeform **150** von

der Schicht **103** in ihren im Wesentlichen nicht deformierbaren Zustand eine im Wesentlichen ebene Oberflächenkonfiguration erreicht werden, wobei, abhängig davon, ob Überschussmaterial der Schicht **103** entfernt wurde, bevor das Material der Schicht **103** in seinen nicht deformierbaren Zustand überführt wurde, die Dicke der Schicht **103** unterschiedlich sein kann von einer Dicke der Schicht **103**, wie sie ursprünglich abgeschieden wurde. Des Weiteren können entsprechende Materialreste **104c** dennoch an einer Unterseite der entsprechenden Kontaktlochöffnungen **104a** auf Grund geringer Ungleichformigkeiten im Hinblick auf die Oberflächentopographie der Mikrostruktur **100** und/oder der Einprägeform **150** vorhanden sein, woraus sich ein nicht idealer mechanischer Kontakt mit der darunter liegenden Struktur, etwa den leitenden Gebieten **102**, ergeben kann.

[0030] **Fig. 1d** zeigt schematisch das Mikrostrukturbauelement **100** in einer weiter fortgeschrittenen Fertigungsphase, in der die Struktur **100** einer Ätzumgebung **105** zum Entfernen der Materialreste **104c** ausgesetzt ist. Während des Ätzprozesses **105** können gut etablierte Rezepte angewendet werden, um in effizienter Weise die Reste **104c** zu entfernen, wobei in einigen anschaulichen Ausführungsformen ein gewisses Maß an Selektivität der Ätzchemie des Prozesses **105** in Bezug auf das Material der leitenden Gebiete **102** vorgesehen ist. Auf diese Weise kann die Prozesszeit des Ätzprozesses **105** gesteuert werden, um in zuverlässiger Weise die Reste **104c** über das gesamte Substrat **101** hinweg zu entfernen, ohne im Wesentlichen einen unerwünschten Schaden in den darunter liegenden Gebieten **102** hervorzurufen. Auf Grund des Ätzprozesses **105** kann Material der Schicht **103** außerhalb der Kontaktlochöffnungen **104a** entfernt werden, wobei jedoch die entsprechenden Tiefen der Graben **104b** im Wesentlichen auf Grund des gleichzeitigen Materialabtrags innerhalb der Gräben **104b** und den horizontalen Oberflächenbereichen **103s** der Schicht **103** gleich bleibt, während die Gesamtdicke der Schicht **103** abhängig von dem Maß an Überätzung während des Prozesses **105** reduziert wird. Danach wird das Mikrostrukturbauelement **100** für das Füllen der entsprechenden Struktur **104** mittels eines leitenden Materials, etwa einem Metall, Metalllegierung, und dergleichen vorbereitet, um damit eine entsprechende Kontaktdurchführung und Metallleitung bereitzustellen, um eine entsprechende Metallisierungsstruktur der Mikrostruktur **100** zu bilden.

[0031] **Fig. 1e** zeigt schematisch das Mikrostrukturbauelement **100** in einem weiter fortgeschrittenen Herstellungsstadium, wobei entsprechende Kontaktdurchführungen **106a** in den zuvor gebildeten Kontaktlochöffnungen **104a** ausgebildet sind, so dass diese einen Kontakt zu den darunter liegenden leitenden Gebieten **102** herstellen. Ferner sind Leitungen **106b** in den zuvor definierten Gräben **104b** gebildet.

Folglich bildet die Materialschicht **103**, die ein beliebiges geeignetes dielektrisches Material repräsentieren kann, in Verbindung mit den Leitungen **106b** und den Kontaktdurchführungen **106a** eine entsprechende Metallisierungsschicht **107**, wobei die entsprechenden Leitungen **106b** die elektrische Verbindung innerhalb der Ebene herstellen, während die Kontaktdurchführung **106a** den elektrischen Kontakt zu den leitenden Gebieten **102** herstellen, die Kontaktpfropfen, Kontaktgebiete von Schaltungselementen, Metallgebiete tieferliegender Metallisierungsschichten, und dergleichen repräsentieren können. Es sollte beachtet werden, dass abhängig von dem Technologiestandard der betrachtete Mikrostruktur **100** laterale Abmessungen, d. h. in [Fig. 1e](#) die horizontalen Abmessungen der Kontaktdurchführungen **106a** und der Leitung **106b** 100 nm oder sogar deutlich weniger für äußerst moderne Halbleiterbauelemente betragen können, wobei die entsprechenden Abmessungen von der Bauteilebene und den entsprechenden Stromdichten abhängen können, die während des Betriebs des Mikrostrukturbauelements **100** auftreten. Des Weiteren sollte beachtet werden, dass die spezielle Form der entsprechenden Kontaktdurchführungen und/oder Leitungen **106b** entsprechend den Entwurfserfordernissen variieren kann. Beispielsweise kann die Breite und/oder die Tiefe der entsprechenden Leitungen **106b** innerhalb der gleichen Bauteilebene variiert werden, wodurch ein hohes Maß an Flexibilität bei der Anpassung der entsprechenden Metallisierungsstrukturen an Betriebsbedingungen, Prozessbedingungen der Abscheidungsverfahren, und dergleichen ermöglicht wird. Das gleiche gilt für die Kontaktdurchführungen **106a**. Des Weiteren können die Kontaktdurchführungen **106a** und die Leitungen **106b** auf der Grundlage eines beliebigen geeigneten leitenden Materials hergestellt werden, wobei in anspruchsvollen Anwendungen gut leitende Metalle, etwa Kupfer, Kupferlegierungen, Silber, Silberlegierungen, und dergleichen eingesetzt werden, um eine hohe Effizienz der Metallstrukturen zu erreichen. Abhängig von den Eigenschaften des leitenden Materials, das in die entsprechenden Kontaktlochöffnungen **104a** und die Gräben **104b** einzufüllen ist, kann das leitende Material auch ein leitendes Barrierenmaterial beinhalten, um damit in effizienter Weise eine Diffusion von Metall in das umgebende dielektrische Material der Schicht **103** und schließlich in empfindliche Bauteilbereiche zu verhindern und um ferner eine unerwünschte Wechselwirkung zwischen dielektrischem Material oder reaktiven Komponenten, die darin enthalten sind, etwa Sauerstoff, Fluor, und dergleichen, mit den entsprechenden leitenden Materialien, etwa Kupfer, Kupferlegierungen, und dergleichen zu unterdrücken.

[0032] Die Mikrostruktur **100**, wie sie in [Fig. 1e](#) gezeigt ist, kann auf der Grundlage der folgenden Prozesse hergestellt werden. Nach dem Ätzprozess **105** (siehe [Fig. 1d](#)) wird in einigen anschaulichen Ausführungs-

formen ein entsprechendes leitendes Barrierenmaterial (nicht gezeigt) auf der Grundlage einer geeigneten Abscheidetechnik, etwa Sputter-Abscheidung, chemische Dampfabcheidung (CVD), stromlosen Plattieren, Atomlagenbeschichtung (ALD), und dergleichen aufgebracht. Beispielsweise kann ein geeignetes Material, etwa Tantal, Tantalnitrid, Titan, Titanitrid, Wolfram, Wolframnitrid, und dergleichen durch Sputter-Abscheidung aufgebracht werden, wobei ein vorhergehender Sputter-Ätzschritt, der als der Ätzprozess **105** oder ein zusätzlicher Ätzschritt ausgeführt werden kann, zu einem zuverlässigen Freilegen der darunterliegenden leitenden Gebiete **102** führt. Danach kann ein geeignetes Saatmaterial, etwa Kupfer und dergleichen, beispielsweise durch Sputter-Abscheidung, stromlose Abscheidung und dergleichen aufgebracht werden, woran sich das Abscheiden des Volumenmetalls, etwa Kupfer, Kupferlegierung, Silber, Silberlegierung, und dergleichen anschließt. Anschließend wird überschüssiges Material, etwa Barrierenmaterial, Saatmaterial und das eigentliche Volumenmetall auf der Grundlage einer geeigneten Technik entfernt, die elektrochemisches Ätzen, CMP (chemisch-mechanisches Polieren) und dergleichen beinhalten kann. In einigen anschaulichen Ausführungsformen wird während des entsprechenden Entfernens von überschüssigem Material ein CMP-Prozess ausgeführt, wobei gleichzeitig die Oberflächentopographie des Mikrostrukturbauelements **100** eingeebnet wird, wodurch auch unerwünschte Unterschiede im Höhenpegel verringert werden, die möglicherweise während des gemeinsamen Einprägeprozesses zur Herstellung der Kontaktlochöffnungen **104a** und der Gräben **104b** (siehe [Fig. 1c](#)) hervorgerufen wurden.

[0033] Somit kann die Metallisierungsschicht **107** mit den Kontaktdurchführungen **106a** und den Gräben **106b**, die eine beliebige geeignete Größe und Form besitzen können, effizient in einer äußerst effektiven Prozesssequenz mit einem reduzierten Maß an Prozesskomplexität hergestellt, da die Kontaktdurchführungen **106a** und die Metallleitungen **106b** auf der Grundlage eines gemeinsamen Lithographieprozesses hergestellt werden, ohne dass ein individueller Justierprozess für jede Komponente erforderlich ist. Ferner können die spezielle Größe und Form der Kontaktdurchführungen und Leitungen **106a**, **106b** und insbesondere ein Zwischenbereich davon entsprechend den Bauteilerfordernissen gestaltet werden, ohne dass dies durch Photolithographie und Ätzverfahren beschränkt ist, wie dies der Fall ist in vielen konventionellen Strukturierungsprozessen. Beispielsweise können die Seitenwände der Kontaktdurchführungen **106a** und/oder der Gräben **106b** in effizienter Weise an Prozess- und Bauteilerfordernisse angepasst werden, wie dies später detailliert beschrieben ist, ohne dass im Wesentlichen eine Einschränkung auf spezielle Prozessparameter von Prozessverfahren auftritt, etwa von Photolithographie-

und Ätzprozessen. Ferner können in der mit Bezug zu den [Fig. 1a](#) bis [Fig. 1e](#) gezeigten Ausführungsform die Kontaktdurchführungen **106a** und die Leitungen **106b** direkt in dem dielektrischen Material der Metallisierungsschicht **107** hergestellt werden, d. h. in der verformbaren Materialschicht **103**, wodurch ebenso die Prozesskomplexität verringert wird.

[0034] Mit Bezug zu den [Fig. 2a](#) bis [Fig. 2d](#) werden nunmehr weitere anschauliche Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung detaillierter beschrieben, in denen ein hohes Maß an Flexibilität in Bezug auf das dielektrische Material einer Metallisierungsschicht erreicht wird, so dass nicht-verformbare Materialien effektiv eingesetzt werden können, wobei dennoch Kontaktlöcher und Graben in einem gemeinsamen Einprägeverfahren hergestellt werden können.

[0035] [Fig. 2a](#) zeigt schematisch ein Mikrostrukturbauelement **200** mit einem Substrat **201**, das darauf ausgebildet leitende Gebiete **202** aufweisen kann, zu denen eine elektrische Verbindung mittels einer oder mehrerer Metallisierungsschichten herzustellen ist, die über dem Substrat **201** auszubilden sind. In Bezug auf die Komponenten **201** und **202** gelten die gleichen Kriterien, wie sie zuvor mit Bezug zu dem Mikrostrukturbauelement **100** erläutert sind. Ferner ist in dieser Fertigungsphase eine dielektrische Schicht **207** über dem Substrat **201** vorgesehen, wobei das Material der dielektrischen Schicht **207** in Bezug auf seine Eigenschaften als ein Zwischenschichtdielektrikumsmaterial für eine Metallisierungsschicht ausgewählt ist. Beispielsweise weist in anspruchsvollen Anwendungen die dielektrische Schicht **207** ein dielektrisches Material mit kleinem ϵ auf. Ferner ist eine Maskenschicht **203** über der dielektrischen Schicht **207** gebildet, die aus einem verformbaren Material aufgebaut ist, d. h. einem Material, das einen äußerst deformierbaren Zustand aufweist, wenn es mechanisch mit einer Einprägeform **250** in Kontakt gebracht wird und das in einem äußerst nicht deformierbaren Zustand überführt werden kann, um ein entsprechendes Maß an Deformation beizubehalten, die durch den Kontakt mit der Einprägeform **250** hervorgerufen wird. Beispielsweise weist die Maskenschicht **203** ein verformbares Lackmaterial, ein thermoplastisches Material, und dergleichen auf. Die Einprägeform oder der Einprägestempel **250** weist ein entsprechendes Substrat **251** auf, in welchem entsprechende Negativformen **252** mit einer Negativform **252** für eine entsprechende Kontaktlochöffnung und eine entsprechende Negativform **252b** entsprechend einem Graben ausgebildet sind. In Bezug auf die Einprägeform **250** gelten die gleichen Kriterien, wie sie zuvor mit Bezug zu der Form **150** erläutert sind.

[0036] Während der Fertigungsphase, die in [Fig. 2a](#) gezeigt ist, ist die Einprägeform **250** in Bezug auf das

Mikrostrukturbauelement **200** ausgerichtet, ähnlich wie dies zuvor mit Bezug zu dem Bauelement **100** und der Form **150** beschrieben ist, und die Form **250** wird mit der Maskenschicht **203** in Kontakt gebracht, wie dies durch die Pfeile **253** angedeutet ist, wobei sich die Maskenschicht **203** in einem Zustand mit geringer Viskosität oder einem gut deformierbaren Zustand befindet.

[0037] [Fig. 2b](#) zeigt schematisch die Situation, wenn die Einprägeform **250** mit der Maskenschicht **203** in Kontakt ist, wobei eine entsprechende Behandlung, etwa eine Wärmebehandlung und/oder eine UV-Bestrahlung ausgeführt wird, um das Material der Maskenschicht **203** in einen äußerst nicht-deformierbaren Zustand überzuführen.

[0038] [Fig. 2c](#) zeigt schematisch das Entfernen der Einprägeform **250**, wie dies durch die Pfeile **254** angezeigt ist, wodurch entsprechende Kontaktlochöffnungen **204a** und **204b** auf Grund des im Wesentlichen nicht deformierbaren Zustandsschicht **203** erzeugt werden. In Bezug auf die Eigenschaften der Einprägeform **250** im Hinblick auf die Oberflächenhaftung und dergleichen gelten die gleichen Kriterien, wie sie zuvor mit Bezug zu der Einprägeform **150** dargestellt sind. Somit kann nach dem Entfernen der Einprägeform **250** die strukturierte Maskenschicht **203** als eine Abbildung oder Maske während eines nachfolgenden anisotropen Ätzprozesses verwendet werden, um die Kontaktlochöffnung **204a** und den Graben **204b** in die darunter liegende dielektrische Schicht **207** übertragen.

[0039] [Fig. 2d](#) zeigt schematisch das Mikrostrukturbauelement **200** während eines anisotropen Ätzprozesses **205**, in welchem eine Ätzchemie verwendet wird, die zu einer vergleichbaren Ätzrate für das Material der Schicht **203** und den darunter liegenden dielektrischen Material der Schicht **201** führt. Folglich kann ein äußerst anisotropes Ätzverhalten eingerichtet werden, da eine ausgeprägte Ätzselektivität zwischen den Materialien der Schichten **203** und **207** nicht erforderlich ist. Somit wird während des Ätzprozesses **205** Material der Maskenschicht **203** zunehmend zusammen mit dem Material der freiliegenden Bereiche der dielektrischen Schicht **207** abgetragen. Auf diese Weise werden die Kontaktlochöffnungen **204a** und die Graben **204b** der Maskenschicht **203** zunehmend in die dielektrische Schicht **207** „getrieben“, um schließlich entsprechende Kontaktlochöffnungen **207a** und Graben **207b** in der dielektrischen Schicht **207** zu erhalten, wobei ein hohes Maß an Ätzformtreue auf Grund des äußerst anisotropen Verhaltens des Ätzprozesses **205** erreicht werden kann. Schließlich ist in einer abschließenden Phase des Ätzprozesses **205** die dielektrische Schicht **207** von dem Rest der Maskenschicht **203**, der nunmehr als **203r** bezeichnet ist, bedeckt, während der Ätzprozess **205** fortgesetzt werden kann, um in zuverlässiger

ger Weise die entsprechenden leitenden Gebiete **202** an der Unterseite der Kontaktlochöffnungen **207a** freizulegen, während der Rest **203r** von dem Ätzprozess **205** verbraucht wird. In einigen anschaulichen Ausführungsformen wird der Rest **203r** während der abschließenden Phase des Ätzprozesses **205** beibehalten und nachfolgend durch einen zusätzlichen Ätzprozess entfernt, beispielsweise einem nasschemischen Prozess, oder einen trockenchemischen Prozess mit einer hohen Selektivität zwischen dem Material des Rests **203r** und der dielektrischen Schicht **207**, um den Rest **203r** zu entfernen, wodurch die verbesserte Prozessflexibilität bereitgestellt wird, da die anfängliche Dicke der Maskenschicht **203** weniger kritisch ist. Nach dem Entfernen des Rest **203r** durch den Ätzprozess **205** oder durch einen nachfolgenden zusätzlichen Ätzschritt wird die weitere Bearbeitung der Mikrostruktur **200** in ähnlicher Weise fortgesetzt, wie dies zuvor mit Bezug zu [Fig. 1e](#) für das Bauelement **100** beschrieben ist. D. h., es kann eine beliebige geeignete Prozesssequenz ausgeführt werden, um ein geeignetes leitendes Material, etwa ein Barrierenmaterial und ein gut leitendes Metall einzufüllen, um damit die entsprechenden Kontaktdurchführungen und Leitungen bereitzustellen, um damit gemeinsam mit der dielektrischen Schicht **207** eine entsprechende Metallisierungsschicht zu bilden. Folglich kann die entsprechende Metallisierungsstruktur auf der Grundlage eines äußerst effizienten Einprägeprozesses hergestellt werden, wobei entsprechende Kontaktlochöffnungen und Gräben in einem gemeinsamen Prozessschritt gebildet werden, wobei zusätzlich ein hohes Maß an Flexibilität bei der Auswahl geeigneter dielektrischer Materialien für eine Metallisierungsschicht gegeben ist.

[0040] Mit Bezug zu den [Fig. 3a](#) und [Fig. 3d](#) werden weitere anschauliche Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung nunmehr beschrieben, in denen eine Metallisierungsstruktur auf der Grundlage einer effizienten Einprägetechnik hergestellt wird, wobei eine Opferschicht zum Definieren entsprechender Kontaktlochöffnungen und Gräben und zur Herstellung der Metallisierungsstruktur verwendet wird.

[0041] [Fig. 3a](#) zeigt schematisch eine Querschnittsansicht eines Mikrostrukturbauelements **300** mit einem Substrat **301** und einer Schicht aus verformbarem Material **303**, die über dem Substrat ausgebildet. Ferner ist eine Einprägeform **350** mit einer Negativform für Kontaktlochöffnungen **352a** und für Gräben **352b** während des Entfernens aus der Schicht **303** gezeigt, die sich in einem äußerst nicht deformierbaren Zustand befindet, um damit entsprechende Kontaktlochöffnungen **304a** und **304b** darin zu bilden. Im Hinblick auf die Eigenschaften der Einprägeform **350** sei auf die entsprechenden Komponenten **150** und **250** verwiesen, die zuvor beschrieben sind. Des wei-

teren kann die Mikrostruktur **300** ein Mikrostrukturbauelement repräsentieren, wie es zuvor mit Bezug zu den Bauelementen **100** und **200** beschrieben ist oder diese kann eine Basiskomponente repräsentieren, um darin eine oder mehrere Metallisierungsstrukturen herzustellen. Somit kann das Substrat **301** ein beliebiges geeignetes Trägermaterial repräsentieren, um darauf die verformbare Materialschicht **303** zu bilden, und besitzt in einigen anschaulichen Ausführungsformen darin ausgebildete entsprechende Schaltungselemente und leitenden Gebiete (nicht gezeigt), während in anderen Ausführungsformen im Wesentlichen keine weiteren funktionalen Komponenten in dem Substrat **301** vorgesehen sind. Die verformbare Materialschicht **303** kann in Form eines geeigneten Materials bereitgestellt werden, dessen dielektrische Eigenschaften unwesentlich sind, da die Schicht **303** als eine Opferschicht verwendet wird, die nach dem Herstellen von entsprechenden Kontaktdurchführungen und Metalleitungen darin entfernt wird.

[0042] [Fig. 3b](#) zeigt schematisch das Mikrostrukturbauelement **300** in einer weiter fortgeschrittenen Fertigungsphase. Entsprechende Kontaktdurchführungen **306a** und Leitungen **306b** sind in der Opferschicht **303** ausgebildet, wobei ein geeignetes leitendes Material zur Herstellung der Kontaktdurchführungen **306a** und der Leitungen **306b** verwendet ist. In einer anschaulichen Ausführungsform wird ein geeignetes gut leitendes Metall, etwa Kupfer, Kupferlegierungen, Silber, Silberlegierungen, und dergleichen in die entsprechenden Kontaktlochöffnungen **304a** und Gräben **304b** (siehe [Fig. 3a](#)) eingefüllt, wobei ein vorhergehender Schritt zur Herstellung eines entsprechenden Barrierenmaterials unter Umständen nicht notwendig ist, da die entsprechenden Barriereneigenschaften in einer späteren Phase bereitgestellt werden können. In einigen anschaulichen Ausführungsformen kann ein Oberflächenbereich des Substrats **301** ein geeignetes Katalysatormaterial, etwa Palladium, Platin, Kupfer, und dergleichen aufweisen, das während der Herstellung der Kontaktlochöffnungen **304** und der Gräben **304b** freigelegt wird. Somit können hocheffiziente stromlose Plattierungsverfahren eingesetzt werden, beispielsweise auf der Grundlage von Kupfer und Kupferlegierungen, im damit deutlich Anforderungen im Hinblick auf das Füllverhalten zu vereinfachen, wie sie typischerweise in konventionellen Elektroplattierungsabläufen angetroffen werden, um in zuverlässiger Weise Öffnungen mit hohem Aspektverhältnis von unten nach oben zu füllen. Somit kann in Verbindung mit einer sehr effizienten Definition der entsprechenden Kontaktlochöffnungen **304a** und der Gräben **304b** in einem gemeinsamen Einprägeprozess eine zusätzliche Reduzierung der Prozesskomplexität und eine verbesserte Effizienz des Prozesses in Bezug auf das Füllverhalten und das Abscheiden von Barrierenmaterial erreicht werden.

[0043] [Fig. 3c](#) zeigt schematisch das Mikrostrukturbauelement **300** während eines selektiven isotropen Ätzprozesses **308** zum Entfernen der Opferschicht **303** selektiv zu der Metallisierungsstruktur **306**. Zu diesem Zweck werden äußerst selektive Ätzrezepte eingesetzt, wobei ein hohes Maß an Flexibilität bei der Auswahl geeigneter Materialien gegeben ist, da die Schicht **303** lediglich in Bezug auf die gewünschten Eigenschaften während des gemeinsamen Einprägeprozesses vorgesehen wird, währenddessen dielektrische Eigenschaften nicht relevant sind.

[0044] [Fig. 3d](#) zeigt schematisch das Mikrostrukturbauelement **300** in einer weiter fortgeschrittenen Herstellungsphase. Hier unterliegt das Bauelement **300** einer Behandlung **309** zum Bilden einer entsprechenden Barrierenschicht **310** auf freiliegenden Oberflächenbereichen der Metallisierungsstrukturen **306**. Wie zuvor erläutert ist, ist für viele gut leitende Metalle, etwa Kupfer, Kupferlegierungen, und dergleichen ein zuverlässiger Einschluss des Metalls erforderlich, um eine Wechselwirkung mit dem umgebenden dielektrischen Material zu unterdrücken. Auf Grund der moderat hohen Stromdichten, die typischerweise in modernsten integrierten Schaltungen anzutreffen sind, spielen Elektromigrationseffekte eine wesentliche Rolle im Hinblick auf die Gesamtzuverlässigkeit und damit Lebensdauer entsprechender Metallisierungsstrukturen. Da Elektromigrationseffekte mit der Existenz von Diffusionswegen stark korreliert sind, sind insbesondere Grenzflächengebiete äußerst kritisch in Bezug auf die Elektromigration, und somit kann das gesamte Elektromigrationsverhalten deutlich von der Qualität entsprechender Grenzflächen mit dem Bamerenmaterial abhängen. Daher können auf Grund des Vorsehens der Barrierenschicht **310** ohne das Vorhandensein eines umgebenden dielektrischen Materials äußerst effiziente Fertigungsverfahren, etwa stromloses Plattieren, eingesetzt werden, um einen zuverlässigen und gleichförmigen Einschluss der Metallisierungsstrukturen **306** zu ermöglichen, wobei zusätzlich äußerst effiziente Barrierematerialien, etwa Kobalt/Wolfram/Bor, Kobalt/Wolfram/Phosphor, und dergleichen, eingesetzt werden können, von denen man weiß, dass sie eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber Elektromigrationseffekten in Verbindung mit Kupfermaterial zeigen. Folglich können durch entsprechendes Freilegen der Oberflächenbereiche der Metallisierungsstruktur **306** die entsprechenden Materialien in einer selbstjustierten Weise abgeschieden werden, wodurch die Barrierenschicht **310** in äußerst gleichförmiger Weise gebildet wird. Somit kann das Gesamtleistungsverhalten der entsprechenden Metallisierungsstruktur **306** deutlich verbessert werden, wobei dennoch eine reduzierte Prozesskomplexität und eine erhöhte Genauigkeit auf Grund des gemeinsamen Strukturierens der entsprechenden Kontaktlochöffnungen **304a** und der Gräben **304b** erreicht wird.

[0045] [Fig. 3e](#) zeigt schematisch das Mikrostrukturbauelement **300** während eines Abscheideprozesses **311** zur Herstellung einer geeigneten dielektrischen Schicht **307**, um damit in Verbindung mit dem Metallisierungsstrukturen **306** eine entsprechende Metallisierungsschicht zu bilden. Der Abscheideprozess **311** kann eine beliebige geeignete Abscheidetechnik, etwa Aufschleuderverfahren, CVD-Verfahren, und dergleichen repräsentieren, um damit in zuverlässiger Weise die Metallisierungsstrukturen **306** mit einem geeigneten dielektrischen Material zu umgeben, das eine geringe relative Permittivität aufweisen kann, wie dies in anspruchsvollen integrierten Schaltungen erforderlich ist. Abhängig von den Eigenschaften des Abscheideprozesses **311** kann überschüssiges Material der dielektrischen Schicht **307** beispielsweise durch CMP entfernt werden, um eine im Wesentlichen ebene Oberflächentopographie bereitzustellen, wobei der Prozess zuverlässig beim Freilegen oberer Bereiche der Barrierenschicht **310** beendet werden kann, während in anderen anschaulichen Ausführungsformen das CMP mit einem selektiven Ätzprozess kombiniert werden kann, der ebenso auf der Grundlage des Freilegens der Barrierenschicht **310** gesteuert werden kann.

[0046] Mit Bezug zu den [Fig. 4a](#) bis [Fig. 4c](#) werden nunmehr weitere anschauliche Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beschrieben, in denen eine geeignete Einprägeform oder ein Stempel so gebildet ist, dass eine negative Form für eine Kontaktlochöffnung in Verbindung mit einem Graben gebildet wird.

[0047] [Fig. 4a](#) zeigt schematisch eine Querschnittsansicht einer Einprägeform oder eines Stempels **450** in einem fortgeschrittenen Herstellungsstadium. Der Stempel **450** weist ein geeignetes Substrat **451** auf, das ein geeignetes Trägermaterial repräsentiert, auf dem ein Oberflächenbereich ausgebildet ist, der eine geeignete Strukturierung gemäß entsprechender Prozessverfahren ermöglicht. Beispielsweise repräsentiert das Substrat **451** ein Siliziumsubstrat mit einer darauf ausgebildeten Siliziumschicht, einer Siliziumdioxidschicht oder einem anderen geeigneten Material, das die erforderliche mechanische Stabilität und entsprechenden Ätzeigenschaften während der nachfolgenden Bearbeitung zur Herstellung eines entsprechenden Negativbildes oder einer Negativform von Kontaktlochöffnungen und Gräben bereitstellt. Entsprechende Negativformen von Gräben **452b** sind in dem oberen Bereich des Substrats **451** oder einer anderen geeigneten Materialschicht, die auf dem Substrat **451** vorgesehen ist, ausgebildet, wobei die Negativformen **452b** aus einem geeigneten Material, etwa Siliziumdioxid, Siliziumnitrid, und dergleichen, aufgebaut sind, das eine hohe Ätzselektivität in Bezug auf das umgebende Material des Substrats **451** aufweist. Ferner ist eine Ätzstoppschicht **455** über dem Substrat **451** gebildet, woran sich eine

zusätzliche Materialschicht **456** anschließt, in der entsprechende Negativformen von Kontaktöffnungen **452a** ausgebildet sind. Die Negativformen **452a** können im Wesentlichen aus dem gleichen Material wie die Negativformen **452b** aufgebaut sein, oder können ein anderes Material aufweisen, abhängig von den Prozess- und Bauteilerfordernissen. In der in [Fig. 4a](#) gezeigten anschaulichen Ausführungsform weisen das Material die Schicht **456** und das Material der Negativformen **452a** ein hohes Maß an Ätzselektivität in Bezug auf ein spezifiziertes Ätzrezept auf. Beispielsweise ist die Schicht **456** aus Polysilizium und dergleichen aufgebaut, während die Negativformen **452a** aus Siliziumdioxid, Siliziumnitrid oder dergleichen hergestellt sind.

[0048] Ein typischer Prozessablauf zur Herstellung der Einprägeform **450**, wie sie in [Fig. 4a](#) gezeigt ist, kann die folgenden Prozesse umfassen. Zunächst wird dies Substrat **451** strukturiert, um entsprechende Gräben zu erhalten, was auf der Grundlage von Photolithographie und entsprechenden Ätzverfahren bewerkstelligt werden kann, um damit eine entsprechende Lackmaske bereitzustellen, wobei das Substrat **451** auf der Grundlage der Lackmaske sodann strukturiert wird. In anderen anschaulichen Ausführungsformen kann eine entsprechende Maskenschicht mit einem verformbaren Material auf der Grundlage einer entsprechenden Einprägeform strukturiert und nachfolgend wird die sich ergebende strukturierte Maskenschicht als eine Ätzmaske für das Übertragen der entsprechenden Gräben in das Substrat **451** verwendet. Beispielsweise sind entsprechende Ätzverfahren für Silizium oder andere geeignete Materialien im Stand der Technik gut etabliert. Danach werden Gräben in dem Substrat **451** mit einem geeigneten Material, etwa Siliziumdioxid oder dergleichen auf der Grundlage gut etablierter Abscheideverfahren gefüllt, etwa CVD mit hochdichtem Plasma, subatmosphärisches CVD, und dergleichen. Danach wird die Oberflächentopographie durch CMP eingeebnet und die Ätzstoppschicht **455**, die beispielsweise aus Siliziumnitrid aufgebaut ist, wird auf der Grundlage etablierter Prozessverfahren abgeschieden. Die Schicht **456** kann beispielsweise mit CVD bei geringem Druck abgeschieden werden, wenn diese in Form eines Polysiliziummaterials vorgesehen ist. Nachfolgend wird die Schicht **456** so strukturiert, dass diese entsprechende Öffnungen erhält, die den Negativformen **452** entsprechen, was auf der Grundlage von Photolithographie und anisotropen Ätzprozessen oder auf der Grundlage eines Einprägeprozesses bewerkstelligt werden kann, in welchem eine entsprechende verformbare Materialschicht über der Schicht **456** gebildet wird, die dann mittels entsprechender Einprägeverfahren strukturiert wird, wie dies zuvor auch beschrieben ist. Danach wird auf der Grundlage einer entsprechenden Lackmaske oder einer anderen Ätzmaske die Schicht **456** strukturiert und die entsprechenden Öffnungen

werden mit einem geeigneten Material, etwa Siliziumdioxid, oder dergleichen aufgefüllt. Somit kann die Form **450**, wie sie in [Fig. 4a](#) gezeigt ist, auf der Grundlage gut etablierter Photolithographieverfahren oder auf der Grundlage von Einprägetechniken hergestellt werden, in denen die Negativformen **452b** und **452a** in nachfolgenden Prozessschritten hergestellt werden.

[0049] [Fig. 4b](#) zeigt schematisch den Einprägestempel **450** in einem weiter fortgeschrittenen Herstellungsstadium. In einer anschaulichen Ausführungsform wird ein selektiver Ätzprozess **457** ausgeführt, um das Material der Schicht **456** selektiv zu entfernen, während das Material der Negativformen **452a** im Wesentlichen beibehalten wird. Beispielsweise sind äußerst selektive nasschemische Ätzprozesse im Stand der Technik für das selektive Abtragen von Polysilizium in Bezug auf Siliziumdioxid bekannt. In anderen Ausführungsformen werden äußerst selektive Trockenätzprozesse eingesetzt. In anderen anschaulichen Ausführungsformen repräsentiert der Ätzprozess **457** einen äußerst anisotropen Ätzprozess auf der Grundlage einer Ätzmaske (nicht gezeigt), die im Wesentlichen die negativen Formen **452** abdeckt, die direkt aus der Schicht **456** gebildet sind. Zu diesem Zweck wird die Einprägeform **450** so gebildet, dass die Negativformen **452b** in ähnlicher Weise erhalten werden, wie dies zuvor mit Bezug zu [Fig. 4a](#) beschrieben ist, und nachfolgend werden die Ätzstoppschicht **455** und die Schicht **456** in der zuvor beschriebenen Weise abgeschieden. Danach wird eine entsprechende Ätzmaske beispielsweise in Form einer Lackmaske durch Photolithographie gebildet, oder es wird eine andere Maske, die beispielsweise durch ein Einprägeverfahren hergestellt ist, verwendet, um die Bereiche **452** abzudecken, die dann während des Ätzprozesses **457** aus dem Material der Schicht **456** gebildet werden. Folglich werden unabhängig von der gewählten Strategie die Negativformen **452a** nach Ende des Ätzprozesses **457** bereitgestellt.

[0050] [Fig. 4c](#) zeigt schematisch den Einprägestempel **450** während eines weiteren selektiven Ätzprozesses **458**, um Selektivmaterial des Substrats **451** in Bezug auf die Materialien der Negativformen **452a**, **452b** abzutragen. Beispielsweise sind äußerst selektive Ätzrezepte zum Entfernen von Silizium in Bezug auf Siliziumdioxid gut bekannt. Um den Ätzprozess **458** in zuverlässiger Weise zu steuern, kann eine entsprechende Ätzstoppschicht (nicht gezeigt), die im Wesentlichen aus dem gleichen Material wie die Negativformen **452a**, **452b** aufgebaut ist, zu diesem Zweck vorgesehen werden. Somit werden nach dem Ende des Ätzprozesses **458** die entsprechenden Negativformen **452a**, **452b** freigelegt und repräsentieren im Wesentlichen entsprechende Kontaktlochöffnungen und Gräben für eine Metallisierungsstruktur, die in anderen Substraten auf der Grundlage

eines gemeinsamen Einprägeprozesses herzustellen ist. Es sollte beachtet werden, dass der Stempel **450** in einer beliebigen geeigneten Weise für nachfolgende Einprägeprozesse präpariert werden kann, indem beispielsweise Oberflächenmodifizierungsprozesse durchgeführt werden, um in geeigneter Weise die Oberflächenrauigkeit oder Haftung in Bezug auf geeignete verformbare Materialien zu reduzieren. Beispielsweise können entsprechende dünne Oberflächenschichten auf der Grundlage geeigneter Abscheidungsverfahren, etwa CVD, ALD, und dergleichen gebildet werden. In anderen anschaulichen Ausführungsformen werden entsprechende Oberflächenbehandlungen, beispielsweise eine Nitrierung und dergleichen, ausgeführt, um die gewünschten Oberflächeneigenschaften bereitzustellen. Es sollte auch beachtet werden, dass abhängig von den Prozessverfahren die spezielle Konfiguration, d. h. die Größe und Form der entsprechenden Negativformen, auf der Grundlage der vorhergehenden Prozessverfahren eingestellt werden kann. Wenn beispielsweise eine unterschiedliche Höhe für entsprechende Negativformen **452b** erforderlich ist, können entsprechende Bereiche des Stempels **450** abgedeckt werden und es wird ein entsprechender anisotroper Ätzprozess ausgeführt, um in selektiver Weise Material von den nicht abgedeckten Negativformen **452b** abzutragen. In anderen Fällen, wenn die entsprechenden Ätzmasken durch Einprägeverfahren definiert werden, können unterschiedliche Größen und Formen der entsprechenden Negativformen **452a**, **452b** auf der Grundlage der entsprechenden Einprägeformen erhalten werden. Somit kann der Stempel **450** in effizienter Weise in Prozessverfahren eingesetzt werden, wie sie zuvor mit Bezug zu den Mikrostrukturbauelementen **100**, **200** und **300** beschrieben sind, und kann auch in Verbindung mit anderen anschaulichen Ausführungsformen eingesetzt werden, die noch zu beschreiben sind. In noch weiteren anschaulichen Ausführungsformen wird die Einprägeform **450** selbst als eine Metallisierungsstruktur hergestellt, die dann auf ein entsprechendes Mikrostrukturbauelement „aufgedruckt“ werden kann, etwa die Bauelemente **100**, **200** und **300**, wie sie zuvor beschrieben sind.

[0051] [Fig. 5](#) zeigt schematisch eine Metallisierungsstruktur **550**, die in einigen anschaulichen Ausführungsformen als eine „Einprägeform“ oder ein „Stempel“ betrachtet werden kann, der in eine entsprechende Mikrostruktur **500** eingeprägt wird, d. h. mit dieser mechanisch verbunden wird, wobei das Bauelement **500** ein Halbleiterbauelement repräsentieren kann, das mehrere Schaltungselemente **510** enthält, die mit einer entsprechenden Anzahl an Kontaktbereichen **511** verbunden sind. Die Metallisierungsstruktur **550** weist wiederum eine oder mehrere Metallisierungsschichten auf, die auf der Grundlage der Prozessverfahren hergestellt sein können, wie sie zuvor mit Bezug zu den entsprechenden Metall-

sierungsschichten **107**, **207** und **307** beschrieben sind, oder die gemäß einem Prozessablauf hergestellt sind, wie er mit Bezug zu dem Einprägestempel **450** beschrieben ist, wobei die entsprechenden Negativformen auf der Grundlage eines geeigneten Metallmaterials hergestellt werden. In einer anschaulichen Ausführungsform wird die Metallisierungsstruktur **550** auf der Grundlage entsprechender Einprägeprozesse zum gemeinsamen Strukturieren von entsprechenden Metalleitungen **552b** in Verbindung mit entsprechenden Kontaktdurchführungen **552a** gebildet, wie dies zuvor beschrieben ist, wobei mehrere entsprechende Prozesssequenzen wiederholt werden können, um damit mehrere Metallisierungsschichten bei Bedarf bereitzustellen. Die Metallisierungsstruktur **550** wird dann in Bezug auf das Bauelement **500** auf der Grundlage von Justierverfahren justiert, wie sie zuvor beschrieben sind. Ferner wird in einigen anschaulichen Ausführungsformen eine „verformbare“ Schicht **503** vorgesehen, beispielsweise in Form einer dünnen Schicht aus einer geeigneten Elektrolytlösung, aus der bei Kontakt der Metallisierungsstruktur **550** mit der Schicht **503** eine selektive Materialabscheidung initiiert wird, um einen elektrischen und mechanischen Kontakt mit den Kontaktbereichen **511** herzustellen. Danach wird überschüssiges Material der Schicht **503** entfernt und durch ein geeignetes dielektrisches Material ersetzt, das in einem hohen viskosen Zustand aufgebracht wird.

[0052] Folglich kann die Metallisierungsstruktur **550** auf der Grundlage äußerst effizienter Einprägeverfahren hergestellt werden, wie sie zuvor beschrieben sind, wobei ein hohes Maß an Entkopplung des Prozesses zur Herstellung der Metallisierungsstruktur entsprechender Halbleiterbauelement und der Fertigungssequenz zur Herstellung von Schaltungselementen erreicht wird. Auf diese Weise kann die Gesamtfertigungszeit ein vollständiges Bauelement, das die Metallisierungsstruktur **550** und das Halbleiterbauelement **500** enthält, deutlich reduziert werden, wobei zusätzlich Prozessflexibilität und Ausbeute verbessert werden können, da Fehler in der Metallisierungsstruktur oder auf der Bauteilebene nicht zu einem Verlust der gesamten Mikrostruktur führen.

[0053] Mit Bezug zu den [Fig. 6a](#) bis [Fig. 6c](#) werden weitere anschauliche Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beschrieben, wobei geeignet gestaltete Einprägeformen oder Stempel vorgesehen werden, um damit geeignete Formen insbesondere von Seitenwandbereichen entsprechender Schaltungsstrukturelemente bereitzustellen.

[0054] [Fig. 6a](#) zeigt schematisch eine Einprägeform **650** mit einem Substrat **651** und mehreren Negativformen **652** entsprechender Schaltungsstrukturelemente, die in einer anschaulichen Ausführungsform Negativformen **652a** für Kontaktlochoffnungen und Negativformen **652b** für Gräben für Leitungen von

Metallisierungsstrukturen repräsentieren. In anderen anschaulichen Ausführungsformen repräsentieren die entsprechenden Negativformen **652** andere Schaltungselemente, etwa Isolationsgräben, Gateelektroden, und dergleichen, wie dies nachfolgend detaillierter beschrieben ist. Im Hinblick auf die Materialzusammensetzung des Substrats **651** und der Negativformen **652** gelten die gleichen Kriterien, wie sie zuvor mit Bezug zu den Einprägeformen **150**, **250**, **350** und **450** beschrieben sind. In der gezeigten Ausführungsform weisen zumindest obere Bereiche entsprechender Seitenwände **652s** der Negativformen **652a**, **652b** eine nicht senkrechte Orientierung in Bezug auf einen Unterseitenbereich **652d** auf, wobei in einer anschaulichen Ausführungsform die entsprechenden Seitenwandbereiche **652s** eine sich verjüngende oder schräg zulaufende Form definieren, die eine größere Breite oder einen größeren Durchmesser an einem entsprechenden oberen Bereich von Kontaktlochöffnungen und Gräben bereitstellen, wodurch in effizienter Weise das Füllverhalten während entsprechender Abscheideverfahren verbessert wird.

[0055] [Fig. 6b](#) zeigt schematisch die Einprägeform **650**, die darauf ausgebildet die Negativformen **652a** für entsprechende Kontaktlochöffnungen aufweist, was vorteilhaft sein kann, wenn ein Strukturierungsprozess in separater Weise für Kontaktlochöffnungen und Gräben ausgeführt wird. Es sollte beachtet werden, dass die Seitenwände **652s** der Negativform **652a** nicht notwendigerweise eine kontinuierliche Linie entlang der gesamten Tiefe aufweisen müssen, sondern dass unterschiedliche Seitenwandwinkel vorgesehen sein können, abhängig von den Bauteil- und Prozesserfordernissen. Beispielsweise kann eine deutliche Abschrägung des Seitenwandbereichs **652s** lediglich an den oberen Bereich vorgesehen sein, während ein unterer Bereich eine im Wesentlichen senkrechte Orientierung in Bezug auf die Unterseite **652d** aufweist. Jedoch kann auch eine andere Seitenwandkonfiguration vorgesehen werden, abhängig von den Bauteilerfordernissen.

[0056] [Fig. 6c](#) zeigt schematisch die Einprägeform **650** mit der Negativform **652b** für entsprechende Gräben, wobei eine geeignete Größe in dem vorliegenden Beispiel, eine entsprechende Verjüngung der Seitenwandbereiche **652s** gemäß den Bauteilerfordernissen vorgesehen ist.

[0057] Folglich kann durch Verwenden der Einprägeformen **650** zur Herstellung entsprechender Öffnungen das Füllverhalten in der nachfolgenden Abscheidung eines Barrierenmaterials und/oder des Volumenmaterials deutlich verbessert werden, wodurch die Zuverlässigkeit der entsprechenden Metallisierungsstrukturen erhöht wird, da beispielsweise eine zuverlässigere Abscheidung des Barrierenmaterials deutlich zu einem erhöhten Widerstand gegen Elektromigration beitragen kann und ferner verbesserte

elektrische und mechanische Eigenschaften liefern kann. Beispielsweise kann die Einprägeform **650**, wie sie in [Fig. 6a](#) gezeigt ist, vorteilhafterweise in Verbindung mit den zuvor beschriebenen Prozessverfahren eingesetzt werden, in denen entsprechende Kontaktlochöffnungen und Gräben in einem gemeinsamen Einprägeprozess gebildet werden. Andererseits können die Einprägeformen **650**, wie sie in [Fig. 6b](#) und [Fig. 6c](#) gezeigt sind, vorteilhafterweise in entsprechenden Prozesssequenzen eingesetzt werden, in denen die entsprechenden Kontaktlochöffnungen und Gräben in separaten Prozessschritten strukturiert werden.

[0058] Mit Bezug zu den [Fig. 7a](#) bis [Fig. 7b](#) und [Fig. 8a](#) bis [Fig. 8d](#) werden nunmehr weitere anschauliche Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beschrieben, in denen entsprechende Einprägeformen mit nicht senkrechten Seitenwandbereichen zur Strukturierung von Schaltungselementen, die keine Metallisierungsstrukturen sind, für moderne integrierte Schaltungen eingesetzt werden.

[0059] [Fig. 7a](#) zeigt schematisch eine Querschnittsansicht eines Halbleiterbauelements **700** mit einem Substrat **701**, das ein beliebiges geeignetes Substrat mit einer darauf ausgebildeten Materialschicht zur Herstellung von Halbleiterbauelementen darin, etwa Transistoren, Kondensatoren, und dergleichen repräsentieren kann. Beispielsweise repräsentiert das Substrat **701** ein Trägermaterial mit einer darauf ausgebildeten siliziumbasierten Halbleiterschicht zur Herstellung von Schaltungselementen darin. In dieser Hinsicht ist eine siliziumbasierte Halbleiterschicht als eine im Wesentlichen kristalline Halbleiterschicht zu verstehen, die einen wesentlichen Anteil an Silizium aufweist, beispielsweise ungefähr 50 Atomprozent Silizium oder mehr. Ferner ist eine Maskenschicht **703** über dem Substrat **701** gebildet und hat darin ausgebildet entsprechende Öffnungen **704b** mit Seitenwänden **704s**, die zumindest teilweise eine nicht senkrechte Orientierung in Bezug auf eine Unterseite **704d** der Öffnungen **704b** aufweisen. In einer anschaulichen Ausführungsform repräsentieren die Öffnungen **704b** Gräben, die zur Ausbildung entsprechender Gräben in dem Substrat **701** verwendet werden, die dann als Isolationsgräben für moderne Halbleiterbauelemente dienen, um damit entsprechende aktive Gebiete in dem Substrat **701** zu definieren.

[0060] Ein typischer Prozessablauf zur Herstellung des Bauelements **700**, wie es in [Fig. 7a](#) gezeigt ist, kann die folgenden Prozesse umfassen. Nach dem Bereitstellen des Substrats **701** wird die Schicht **703** durch eine geeignete Abscheidetechnik gebildet, wobei das Material der Schicht **703** ein verformbares Material ist, d. h. die Schicht **703** kann in einem Zustand geringer Viskosität oder kann gut deformierbar sein, wenn es mit einer entsprechenden Einprägeform (nicht gezeigt) in Kontakt gebracht wird, die eine

geeignete Form aufweist, wie dies beispielsweise mit Bezug zu der [Fig. 6c](#) erläutert ist. Somit kann die entsprechende Einprägeform mit entsprechend gestalteten Seitenwandbereichen zur Ausbildung der entsprechenden Öffnungen **704b** führen, die eine erforderliche nicht senkrechte Form aufweisen, beispielsweise eine sich verjüngende Konfiguration, wie dies in [Fig. 7a](#) gezeigt ist. Danach wird die Einprägeform entfernt, wie dies zuvor beschrieben ist, während das Material der Schicht **703** in einem nicht deformierbaren Zustand ist. Danach wird das Bauelement **700** einem entsprechenden Ätzprozess **705** unterzogen, während welchem Material der Schicht **703** und Material freigelegter Bereiche des Substrats **701** entfernt werden, wodurch zunehmend die Öffnung **704b** in das Substrat **701** übertragen wird.

[0061] [Fig. 7b](#) zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **700** nach dem Ende des Ätzprozesses **705**, wobei entsprechende Öffnungen **706b** in dem Substrat **701** gebildet sind, wobei eine gewünschte Verjüngung, d. h. eine nicht senkrechte Konfiguration des entsprechenden Seitenwandbereichs **706s**, auf der Grundlage entsprechend geformter Öffnungen **704b** erreicht wird. Somit kann durch Bereitstellen der entsprechenden Einprägeformen mit einer gewünschten Form und Größe die entsprechende Konfiguration der Öffnungen **706b** mit hoher Flexibilität gestaltet werden, ohne dass speziell angepasste Ätzverfahren und dergleichen erforderlich sind.

[0062] [Fig. 8a](#) zeigt schematisch ein Halbleiterbauelement **800** mit einem Substrat **801**, das darauf ausgebildet eine Materialschicht **807** aufweist, die in einer anschaulichen Ausführungsform ein geeignetes Material aufweist, etwa Siliziumdioxid und dergleichen, das mit den nachfolgenden Prozessschritten kompatibel ist. Ferner ist eine Maskenschicht **803** über der Schicht **807** ausgebildet und besitzt darin ausgebildet eine entsprechende Öffnung **804b** mit einer spezifizierten Form einschließlich eines nicht senkrechten Seitenwandbereichs **804s** in Bezug auf eine Unterseite **804d** der Öffnung **804b**. In der in [Fig. 8a](#) gezeigten Ausführungsform besitzt die Öffnung **804b** einen erhöhten Durchmesser an einem oberen Bereich, während eine im Wesentlichen konstante Breite an einem unteren Bereich vorhanden ist. Beispielsweise kann die Öffnung **804b** eine Gateelektrode repräsentieren, die über dem Substrat **801** herzustellen ist.

[0063] Ein typischer Prozessablauf zur Herstellung des Halbleiterbauelements **800**, wie es in [Fig. 8a](#) gezeigt ist, kann ähnliche Prozesse umfassen, wie sie zuvor beschrieben sind, wobei nach der Herstellung von Isolationsstrukturen, die auf der Grundlage von Isolationsgräben gebildet werden können, wie sie in den [Fig. 7a](#) und [Fig. 7b](#) gezeigt sind, die Materialschicht **807** auf der Grundlage gut etablierter Abscheideverfahren hergestellt wird. Danach wird die

Schicht **803** aus verformbarem Material auf der Grundlage geeigneter Verfahren gebildet und anschließend wird die Öffnung **804b** auf der Grundlage einer geeignet gestalteten Einprägeform eingestellt, um damit die gewünschte Konfiguration der Form der Öffnung **804b** zu erhalten. In dem vorliegenden Beispiel wird ein im Wesentlichen konstanter unterer Bereich mit im Wesentlichen konstanter Breite vorgesehen, um damit eine gut definierte Gatelänge zu erhalten, während der obere Bereich für eine erhöhte Leitfähigkeit der entsprechenden Gateelektrode sorgt. Nach der Herstellung der Öffnung **804b** durch entsprechendes Aushärten der Schicht **803** und Entfernen der entsprechenden Einprägeform wird das Bauelement **800** einem entsprechenden anisotropen Ätzprozess **805** unterzogen, um gemeinsam Material der Schicht **803** und freiliegender Bereiche der Schicht **807** zu entfernen, wodurch zunehmend die Öffnung **804b** in die Schicht **807** übertragen wird.

[0064] [Fig. 8b](#) zeigt schematisch das Bauelement **800** nach dem Ende des Ätzprozesses **805**, woraus sich eine entsprechende Öffnung **807b** ergibt.

[0065] [Fig. 8c](#) zeigt schematisch das Bauelement **800** in einem weiter fortgeschrittenen Herstellungsstadium. Hier ist eine Gateisolationsschicht **812** an der Unterseite der Öffnung **807b** gebildet, wobei die Gateisolationsschicht **812** eine beliebige geeignete Konfiguration im Hinblick auf Materialzusammensetzung und Dicke aufweist, wie dies für entsprechende Transistorelemente erforderlich ist, die noch herzustellen sind. Ferner ist eine Schicht aus Gateelektrodenmaterial **813**, beispielsweise Polysilizium oder dergleichen, so gebildet, dass dieses zuverlässig die Öffnung **807b** füllt. Zu diesem Zweck können geeignete Abscheideverfahren, etwa CVD bei geringem Druck, oder dergleichen, eingesetzt werden. Danach wird überschüssiges Material der Schicht **813** durch CMP entfernt.

[0066] [Fig. 8d](#) zeigt schematisch das Bauelement **800** in einem weiter fortgeschrittenen Herstellungsstadium. Hier ist die Schicht **807** so entfernt, dass eine Gateelektrode **813a** mit einem oberen Bereich mit einer Breite **813u** und mit einem unteren Bereich mit einer Breite **813l** erhalten wird, wodurch eine erhöhte Leitfähigkeit der Gateelektrode **813a** erreicht wird, während eine erforderliche Gatelänge beibehalten wird, die im Wesentlichen durch die Breite **813l** definiert ist. Die Gateelektrode **813a** kann auf der Grundlage äußerst selektiver Ätzprozesse hergestellt werden, wobei gut etablierte isotrope Ätzverfahren eingesetzt werden können. Wenn beispielsweise die Gateisolationsschicht **812** aus Siliziumnitrid aufgebaut ist, können gut etablierte isotrope Ätzrezepte eingesetzt werden, um das Material der Schicht **813** zu entfernen, wenn dieses in Form von Siliziumdioxid vorgesehen ist, wobei dies selektiv zu der Gateelektrode **813a** und der Gateisolationsschicht **812** erfolgt.

In anderen Fällen, wenn die Gateisolationsschicht **812** auf der Grundlage von Siliziumdioxid gebildet ist, kann ein geeignetes Material für die Schicht **807**, beispielsweise Siliziumnitrid, oder ein anderes geeignetes Material, etwa Polymermaterialien, und dergleichen ausgewählt werden, die lediglich die Fähigkeit aufweisen müssen, eine zuverlässige Abscheidung des Gateelektrodenmaterials **813** zu ermöglichen.

[0067] Es gilt also: Die vorliegende Erfindung stellt eine verbesserte Technik zum Strukturieren von Strukturelementen von Mikrostrukturen und in einigen anschaulichen Ausführungsformen von Metallisierungsstrukturen, etwa Kontaktdurchführungen und Metallleitungen, auf der Grundlage von Einprägeverfahren bereit, wobei die Prozesskomplexität deutlich reduziert werden kann, indem zumindest einige komplexe Justierprozeduren durch gemeinsames Einprägen von Kontaktlochoffnungen und Gräben vermieden werden. Zu diesem Zweck werden geeignet ausgebildete Einprägeformen mit einer Kontaktloch- und Leitungsstruktur verbessert. In anderen Aspekten ist die Form und insbesondere die Seitenwandkonfiguration entsprechender Schaltungselemente auf der Grundlage entsprechend gestalteter Einprägeformen angepasst, wodurch ein hohes Maß an Flexibilität bei der Herstellung von Schaltungselementen, etwa von Kontaktdurchführungen, Metallleitungen, Isolationsgräben, Gateelektroden, und dergleichen ermöglicht wird, wobei zusätzlich die Gesamtgröße der Seitenwandkonfiguration so angepasst werden kann dass ein nicht senkrechter Bereich der Verbesserung des Fertigungsprozesses und/oder des endgültigen Leistungsverhaltens des entsprechenden Schaltungselements dient. Somit kann zusätzlich zu einer reduzierten Prozesskomplexität ein verbessertes Bauteil erhalten werden, da beispielsweise im Hinblick auf Metallisierungsstrukturen eine erhöhte Zuverlässigkeit und ein besseres Leistungsverhalten im Hinblick auf Elektromigration erreicht werden. Des weiteren kann die „mechanische“ Strukturierung zumindest wesentlicher Anteile einer Metallisierungsstruktur für eine erhöhte Flexibilität bei der Herstellung entsprechender Strukturen sorgen, wobei in einigen anschaulichen Ausführungsformen die Herstellung von Metallisierungsstrukturen vollständig von der Herstellung von Schaltungselementen auf Bauteilebene entkoppelt werden kann, wodurch die Gesamtfertigungszeit reduziert und die Produktionsausbeute verbessert werden kann.

[0068] Weitere Modifizierungen und Variationen der vorliegenden Erfindung werden für den Fachmann angesichts dieser Beschreibung offenkundig. Daher ist diese Beschreibung als lediglich anschaulich und für die Zwecke gedacht, dem Fachmann die allgemeine Art und Weise des Ausführens der vorliegenden Erfindung zu vermitteln. Selbstverständlich sind die hierin gezeigten und beschriebenen Formen der

Erfindung als die gegenwärtig bevorzugten Ausführungsformen zu betrachten.

Patentansprüche

1. Verfahren mit:
gemeinsames Einprägen einer Kontaktlochoffnung und eines Grabens in eine verformbare Materialschicht, die über einem Substrat ausgebildet ist, wobei die Kontaktlochoffnung und der Graben Strukturelementen einer Metallisierungsstruktur eines Mikrostrukturbauelements entsprechen;
Bilden einer Kontaktdurchführung und einer Leitung auf der Grundlage der Kontaktlochoffnung und des Grabens, wobei die Kontaktlochoffnung und der Graben mit einem leitenden Material gefüllt wird; und
Entfernen zumindest eines Bereichs der verformbaren Materialschicht nach dem Füllen der Kontaktlochoffnung und des Grabens mit einem leitenden Material.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das leitende Material Barrierenmaterial und Kupfer umfasst.
3. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner umfasst: Strukturieren einer Materialschicht, die zwischen dem Substrat und der verformbaren Materialschicht angeordnet ist, unter Anwendung der verformbaren Materialschicht, die darin ausgebildet die Kontaktlochoffnung und den Graben als Maske aufweist.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei Strukturieren der Materialschicht umfasst:
Ätzen der verformbaren Materialschicht und der Materialschicht in einem gemeinsamen anisotropen Ätzprozess.
5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die verformbare Materialschicht ein dielektrisches Material mit einer relativen Permittivität von ungefähr 3,0 oder weniger aufweist.
6. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die verformbare Materialschicht ein dielektrisches Material mit einer relativen Permittivität von ungefähr 3,0 oder weniger aufweist.
7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die verformbare Materialschicht vor dem Trennen von der Einprägeform mittels UV-Strahlung ausgehärtet wird.
8. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner umfasst: Bilden einer leitenden Barrierenschicht auf freiliegenden Oberflächenbereichen der Kontaktdurchführung und der Leitung.
9. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner umfasst: Entfernen von Resten der verformbaren Materialschicht von einer Unterseite der Kontaktlochoff-

nung vor dem Bilden der Kontaktdurchführung und der Leitung.

10. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner umfasst: Bilden einer Einprägeform, die ein Negativbild der Kontaktdurchführung und der Leitung repräsentiert, und gemeinsames Einprägen der Kontaktlochöffnung und des Grabens in mehrere verformbare Materialschichten, die auf mehreren Substraten bereitgestellt sind.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei Bilden der Einprägeform umfasst: Ausführen eines Lithographieprozesses und eines Ätzprozesses zum Strukturieren eines Einprägeformsubstrats, um das Negativbild der Kontaktlochöffnung und des Grabens zu erhalten.

12. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die Einprägeform durch einen Einprägeprozess hergestellt wird.

13. Verfahren mit:

Einprägen einer Öffnung in eine verformbare Materialschicht, die über einem Substrat ausgebildet ist, wobei die Öffnung einem Strukturelement eines Mikrostrukturbaulements entspricht und einen Seitenwandbereich mit einer nicht senkrechten Orientierung in Bezug auf eine Unterseite der Öffnung aufweist, wobei eine Einprägeform verwendet wird, die eine Negativform der Öffnung repräsentiert, wobei die Negativform einen nicht senkrechten Seitenwandbereich in Bezug auf eine Unterseite der Negativform aufweist, der eine schräg zulaufende Form aufweist;

Strukturieren einer Materialschicht, die unter der verformbaren Materialschicht gebildet ist, mittels eines anisotropen Ätzprozesses unter Verwendung der verformbaren Materialschicht als eine Maske; und Bilden des Strukturelements auf der Grundlage der Öffnung, wobei das Strukturelement einen nicht senkrechten Seitenwandbereich in Bezug auf eine Unterseite des Strukturelements aufweist.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die Öffnung einen oberen Seitenwandbereich mit einer Abschrägung und einen unteren Seitenwandbereich, der eine im Wesentlichen senkrechte Orientierung in Bezug auf die Unterseite der Öffnung aufweist, aufweist.

15. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die Öffnung eine Kontaktlochöffnung und/oder einen Graben zur Herstellung von metallenthaltenden Gebieten einer Metallisierungsschicht des Mikrostrukturbaulements repräsentiert.

16. Verfahren nach Anspruch 13, das ferner Füllen der Öffnung mit einem leitenden Material, um das Strukturelement zu bilden, umfasst.

17. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die verformbare Materialschicht vor dem Trennen von der Einprägeform mittels UV-Strahlung ausgehärtet wird.

18. Verfahren nach Anspruch 13, wobei das Strukturelement einen Isolationsgraben oder eine Gateelektrode eines Halbleiterbauelements repräsentiert.

19. Verfahren nach Anspruch 13, wobei das Strukturelement eine Kontaktlochöffnung und/oder einen Graben für eine Metallisierungsschicht eines Halbleiterbauelements repräsentiert.

20. Verfahren mit:

Bilden einer Metallisierungsstruktur für ein Halbleiterbauelement auf der Grundlage von Einprägeprozessen, wobei die Metallisierungsstruktur mehrere Metallisierungsschichten umfasst, die jeweils Metallleitungen aufweisen, wobei zumindest eine Metallleitung eine Abmessung von 100 nm oder weniger aufweist; und mechanisches Übertragen der Metallisierungsstruktur auf ein Substrat, das darauf ausgebildet mehrere Schaltungselemente aufweist.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

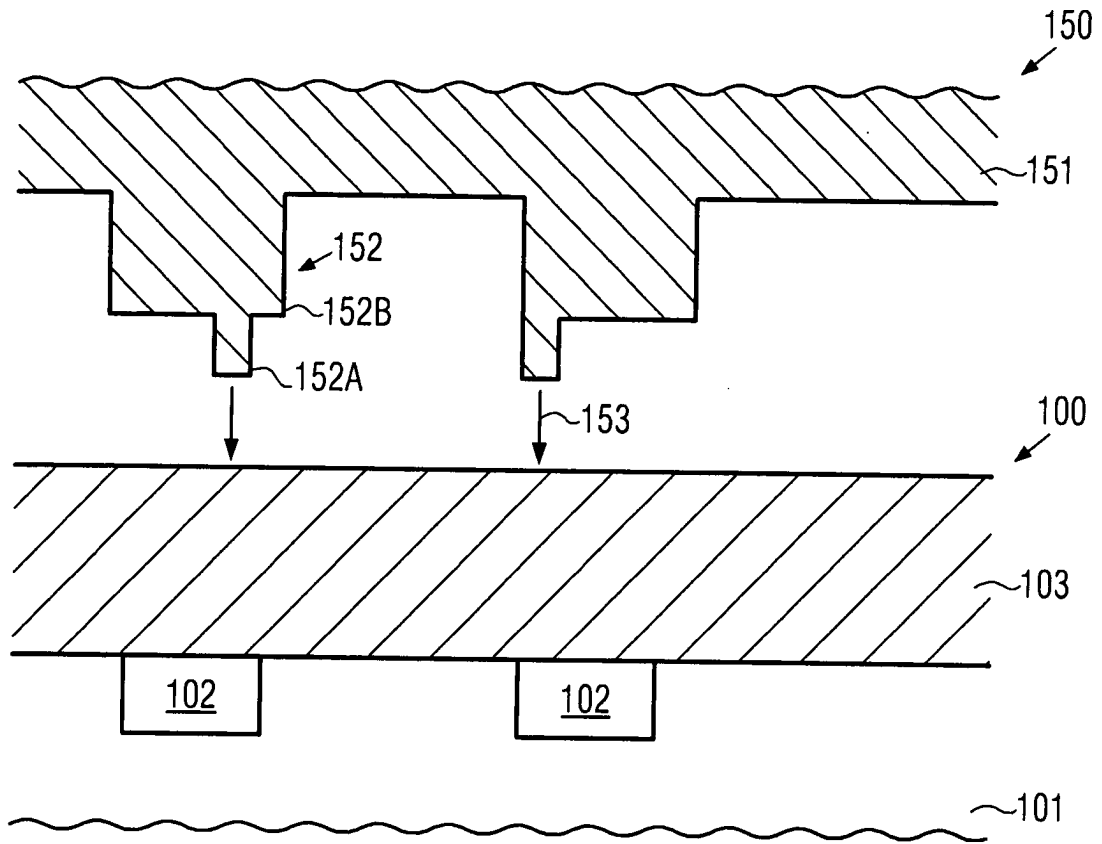


FIG. 1a

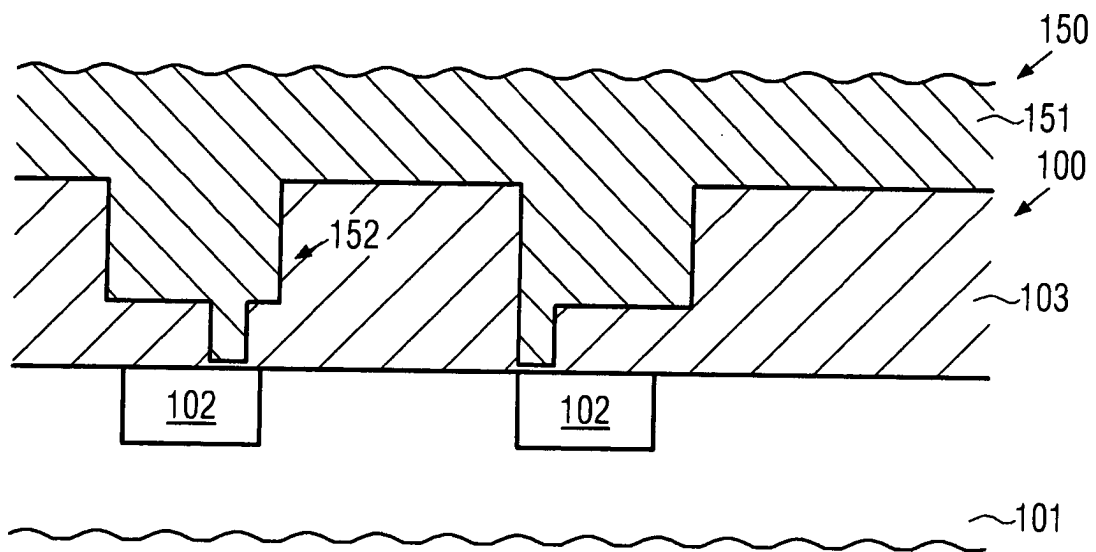


FIG. 1b

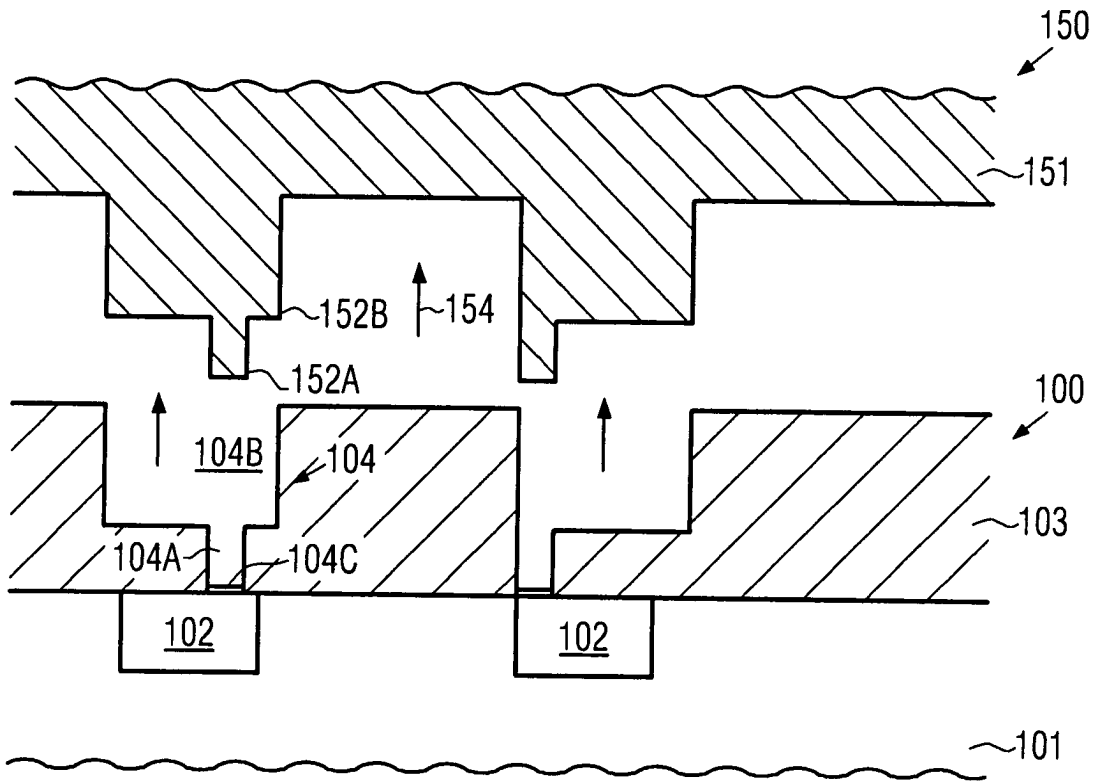


FIG. 1c

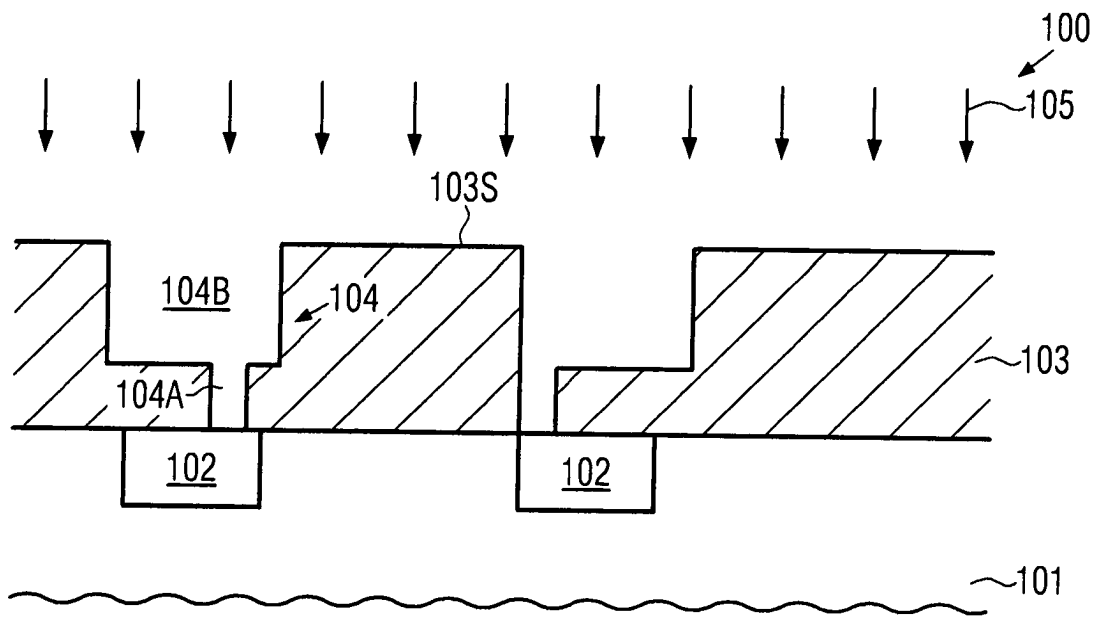


FIG. 1d

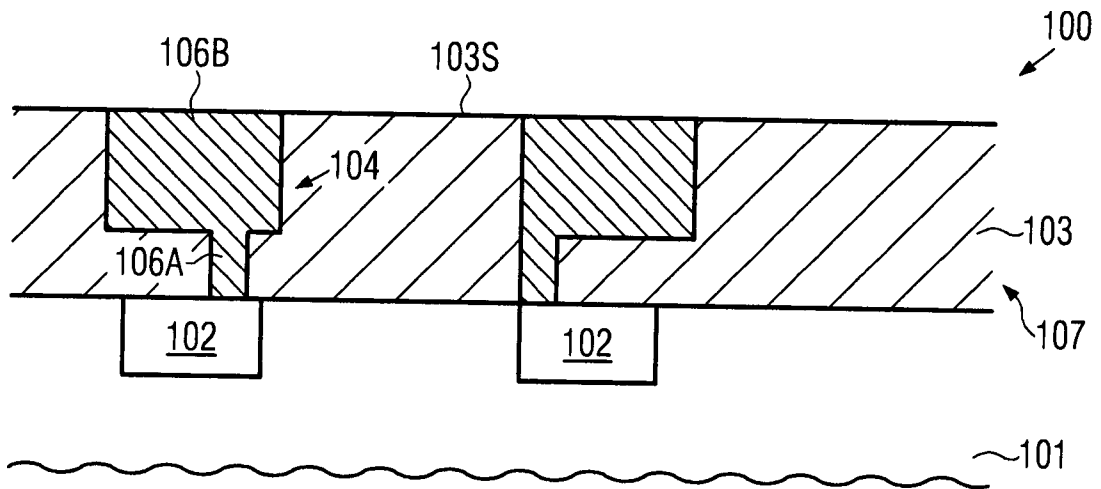


FIG. 1e

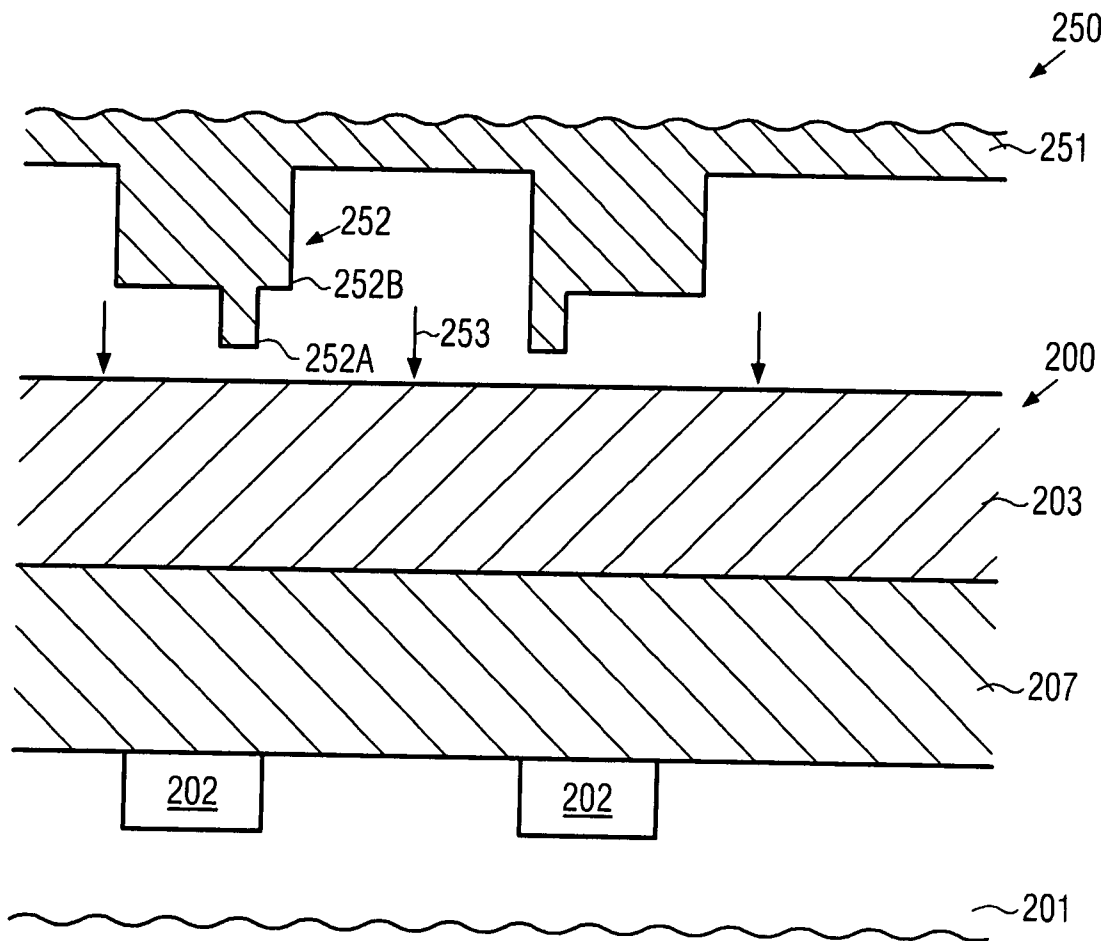


FIG. 2a

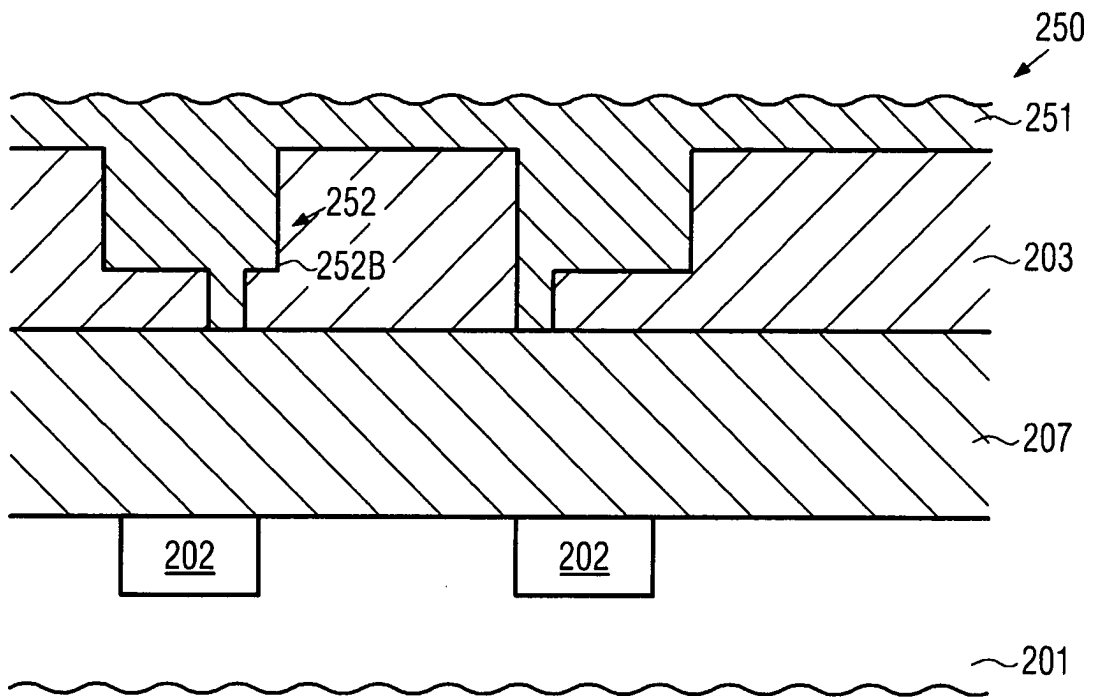


FIG. 2b

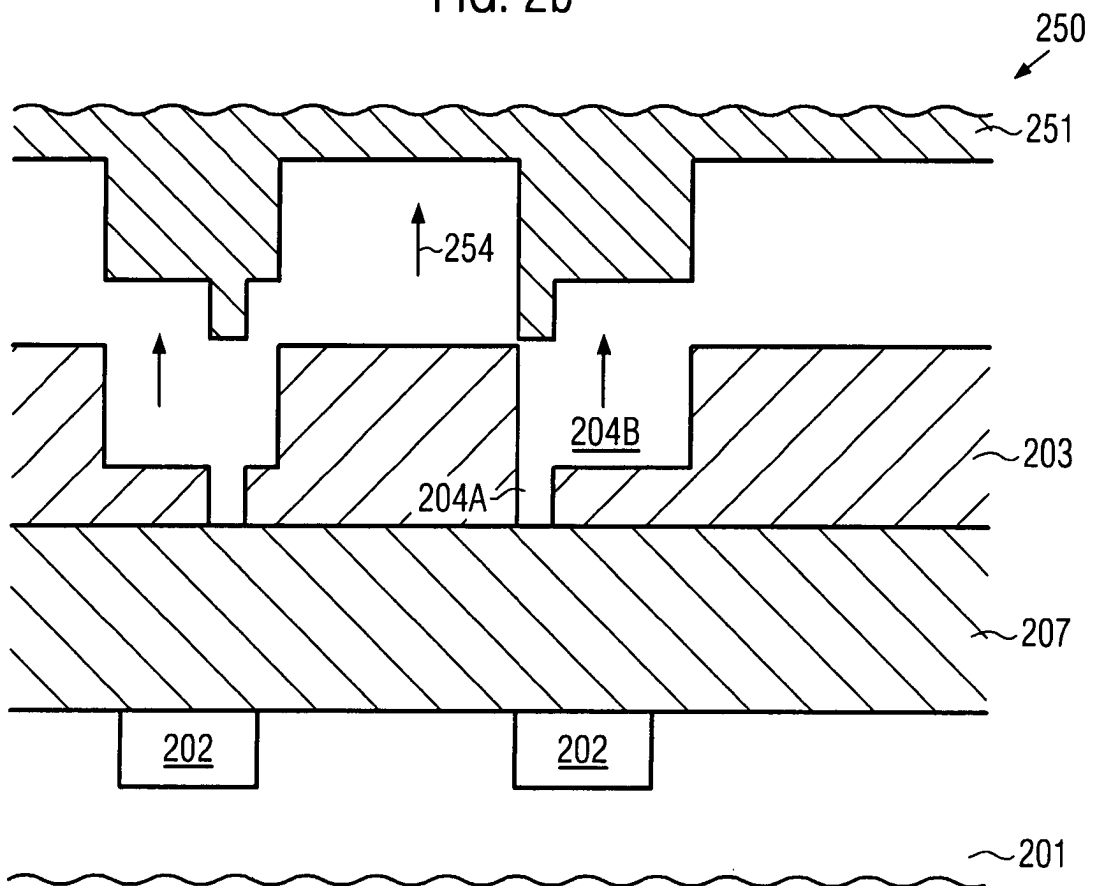


FIG. 2c

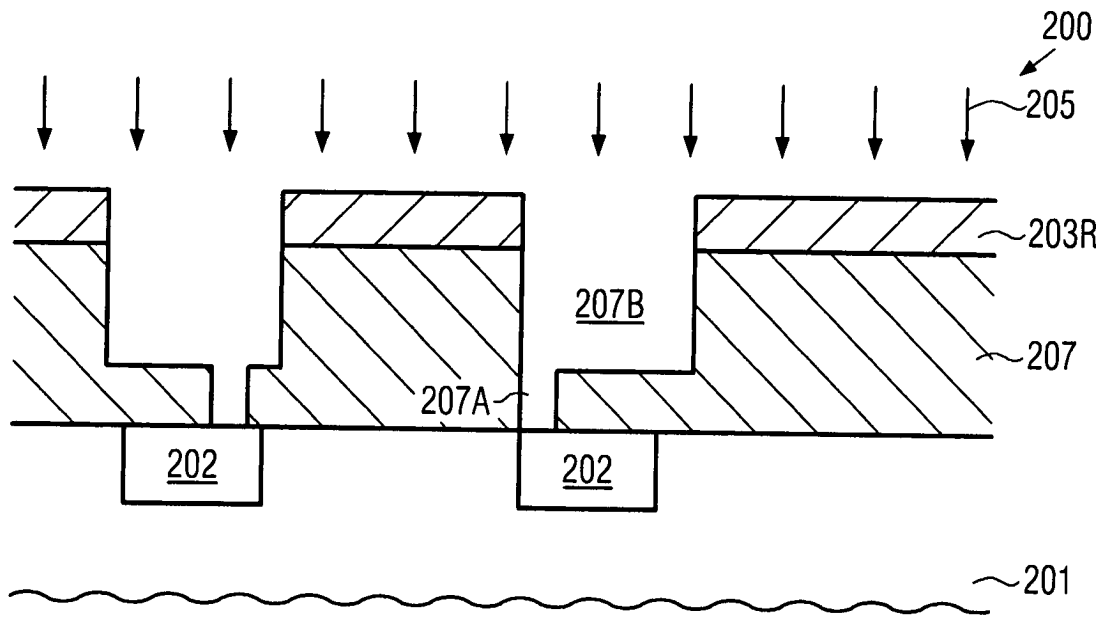


FIG. 2d

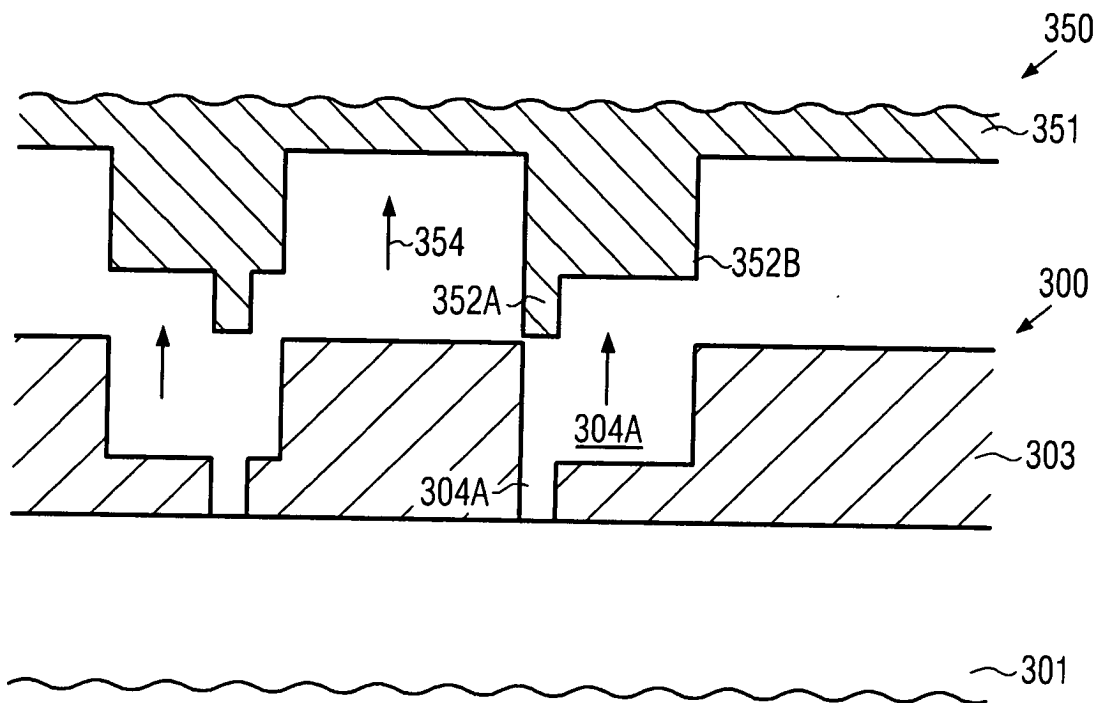


FIG. 3a

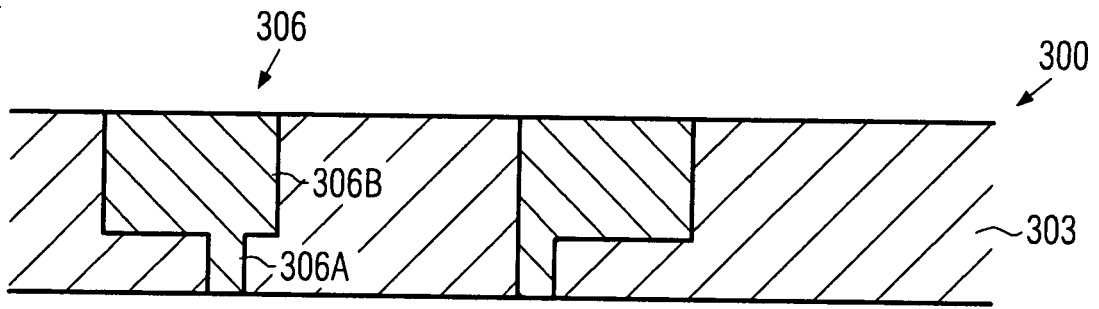


FIG. 3b

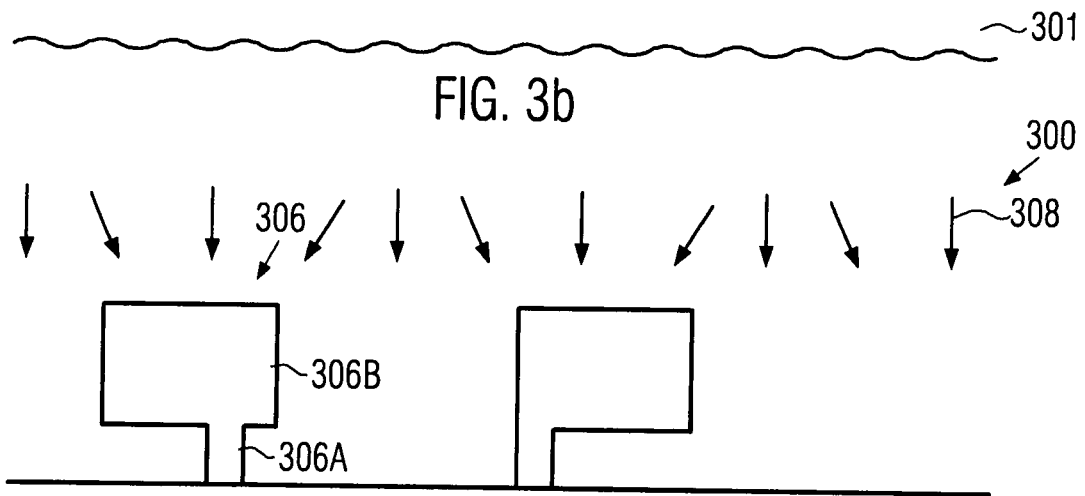


FIG. 3c

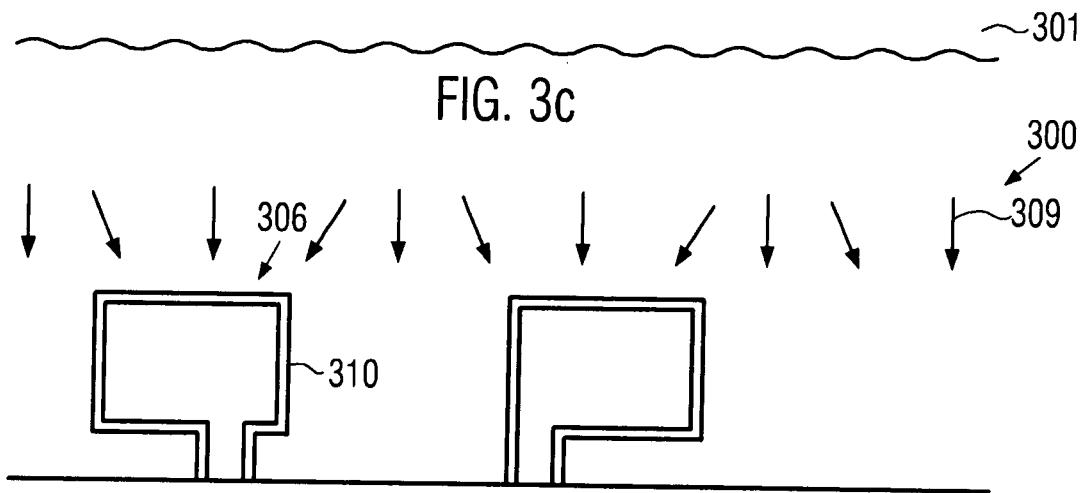


FIG. 3d

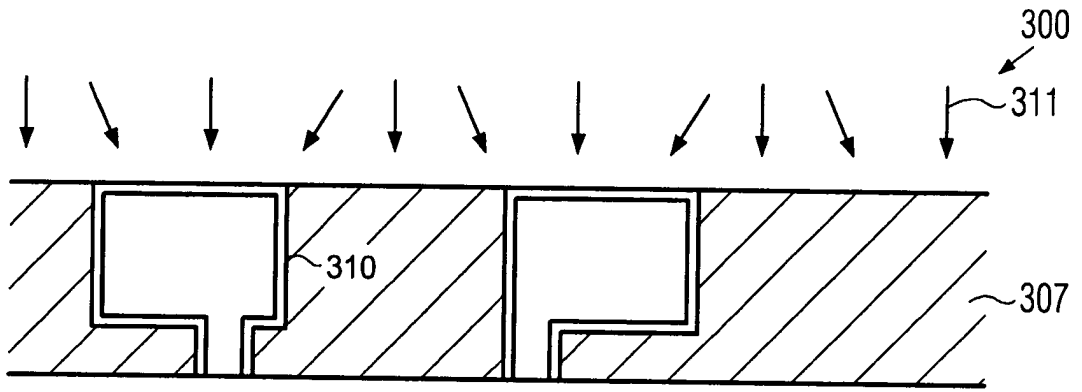


Fig. 3e

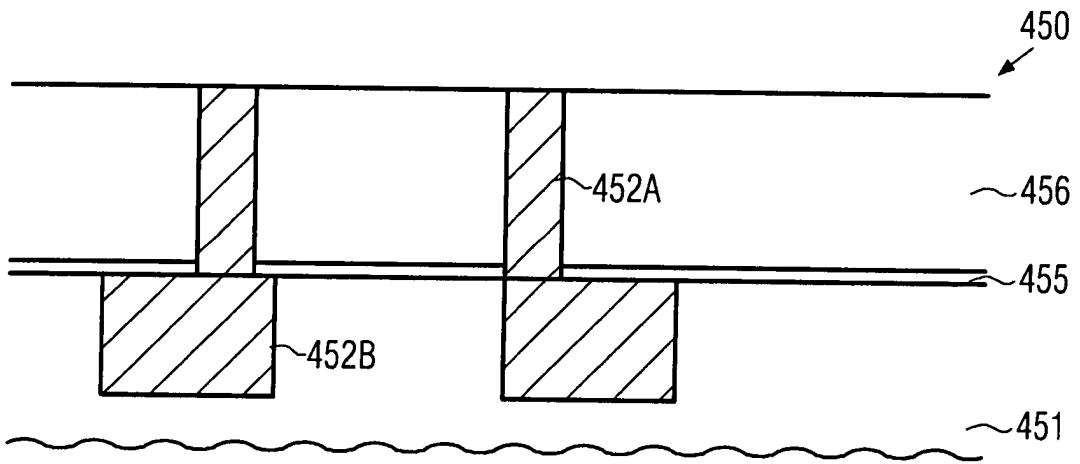


FIG. 4a

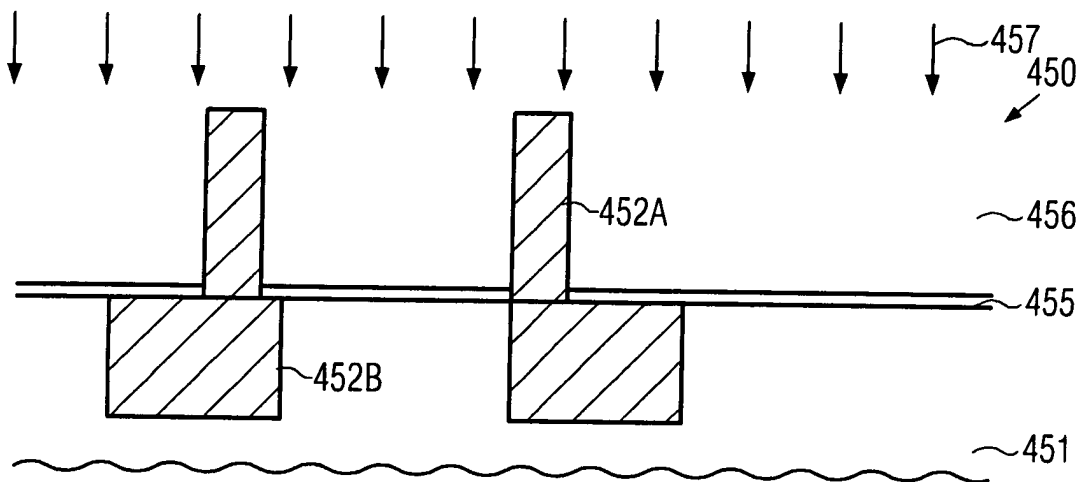


FIG. 4b

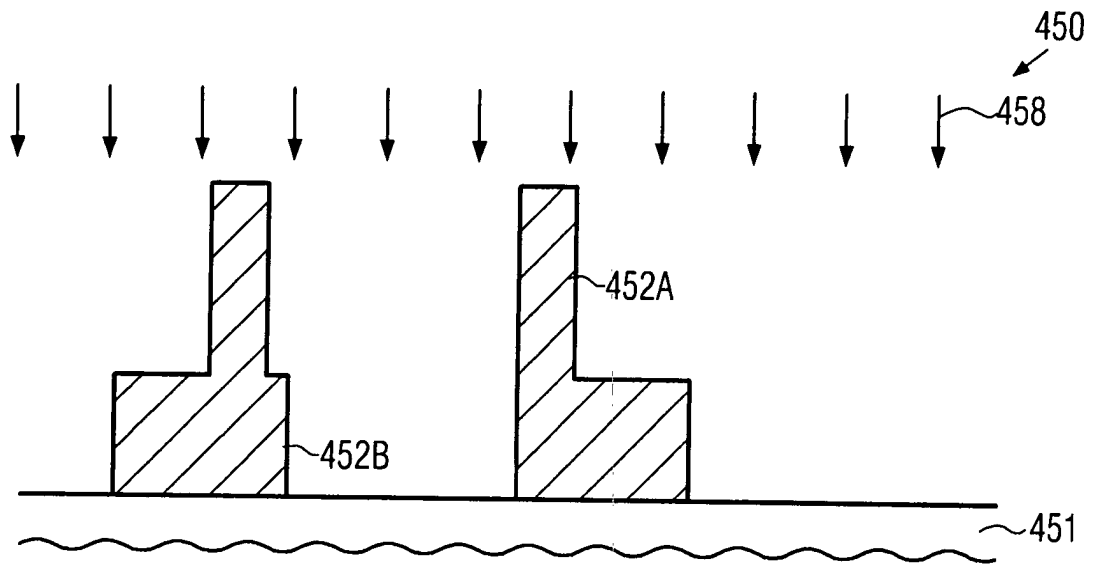


FIG. 4c

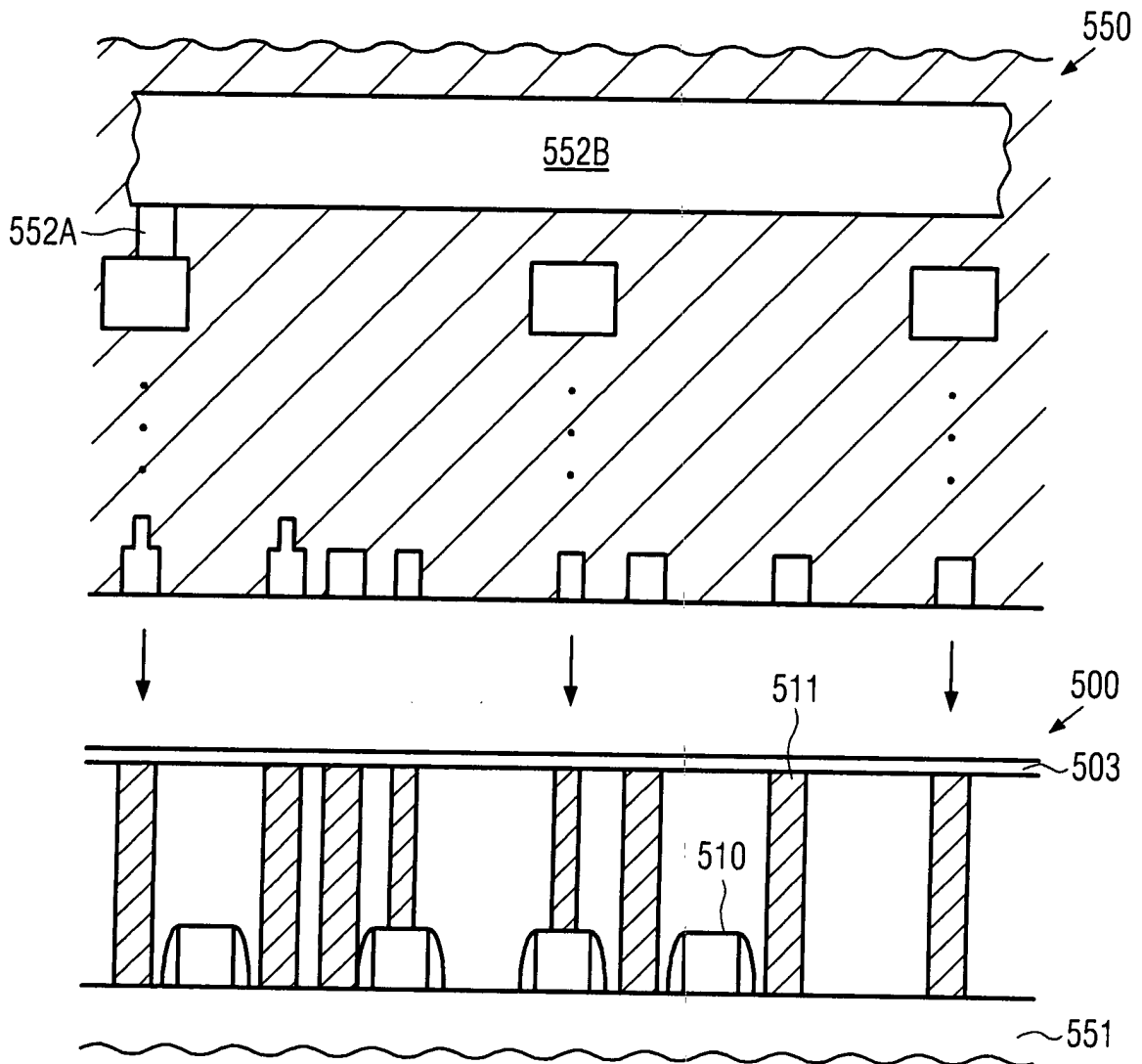


FIG. 5

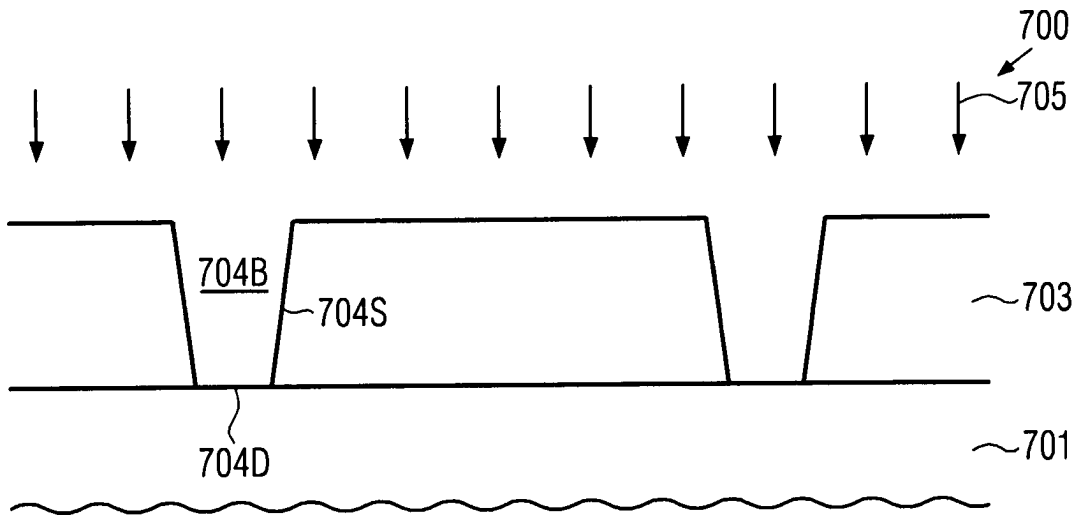


FIG. 7a

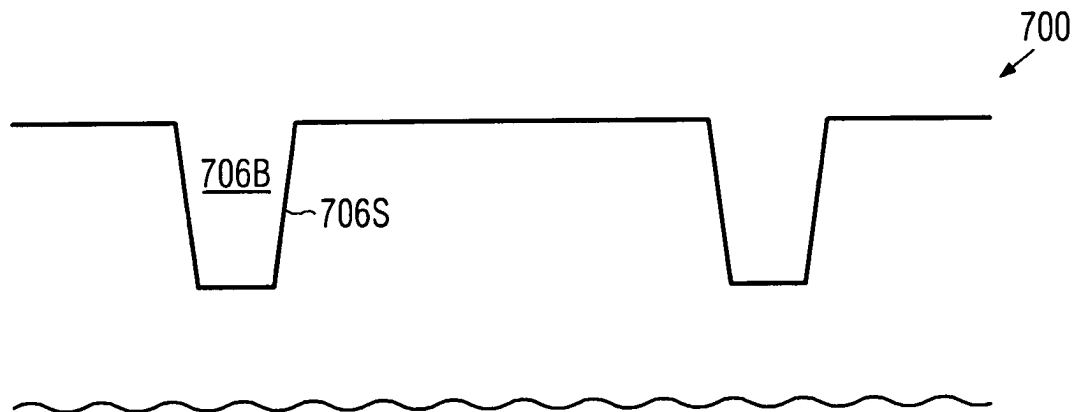


FIG. 7b

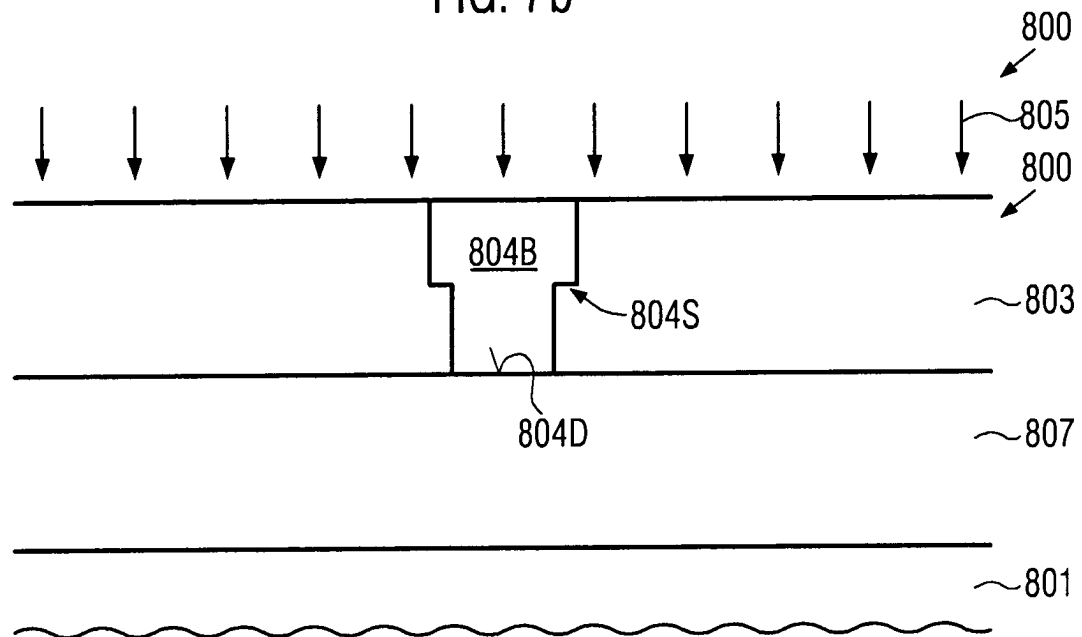


FIG. 8a

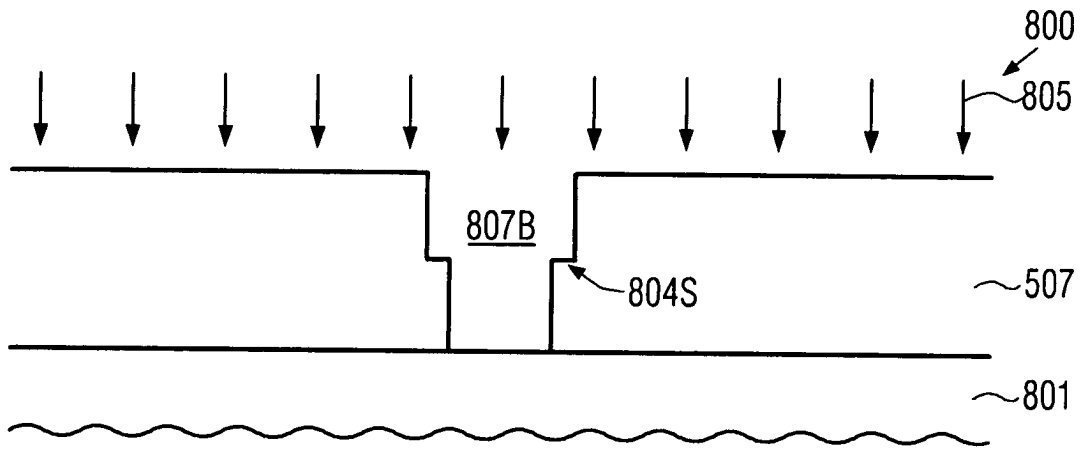


FIG. 8b

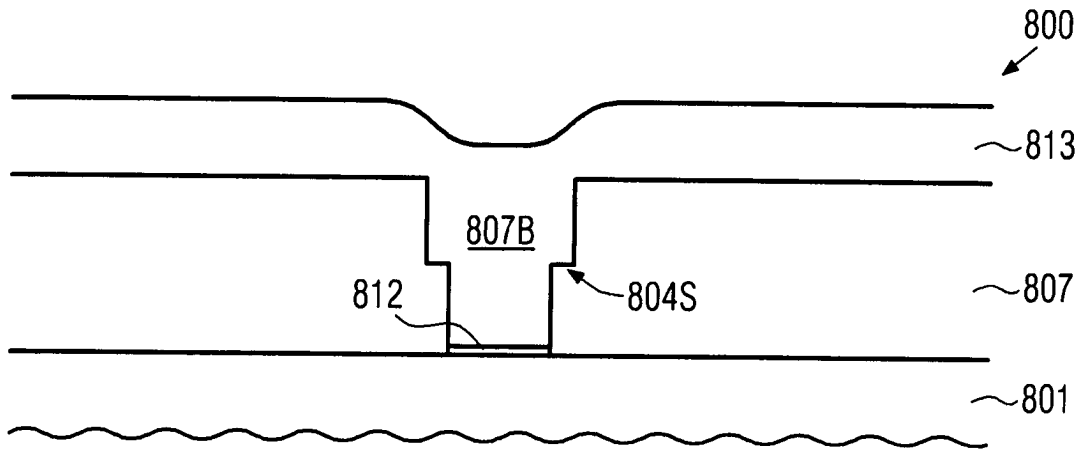


FIG. 8c

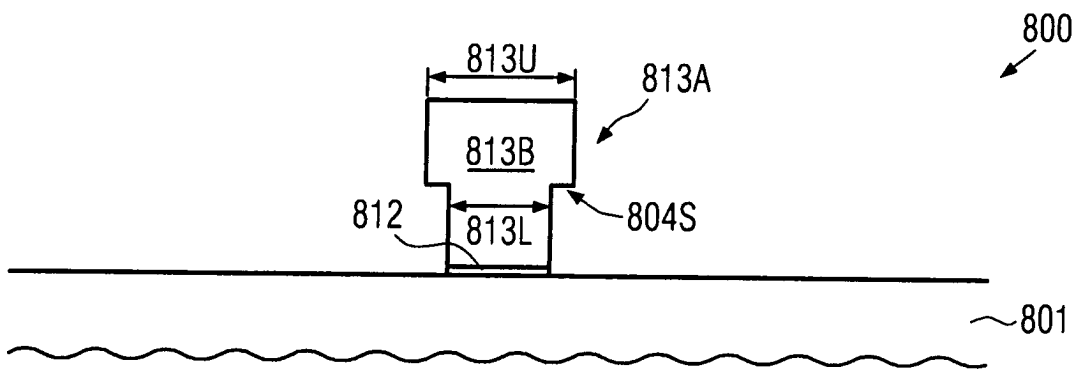


FIG. 8d