



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 101 94 958 B4 2006.08.17**

(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **101 94 958.8**
 (86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US01/01634**
 (87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2001/054192**
 (86) PCT-Anmeldetag: **18.01.2001**
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: **26.07.2001**
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
 in deutscher Übersetzung: **05.12.2002**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **17.08.2006**

(51) Int Cl.⁸: **H01L 21/768 (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. 2 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
09/484,002 18.01.2000 US

(73) Patentinhaber:
Micron Technology, Inc., Boise, Id., US

(74) Vertreter:
Maiwald Patentanwalts GmbH, 80335 München

(72) Erfinder:
Farrar, Paul A., Okatie, S.C., US

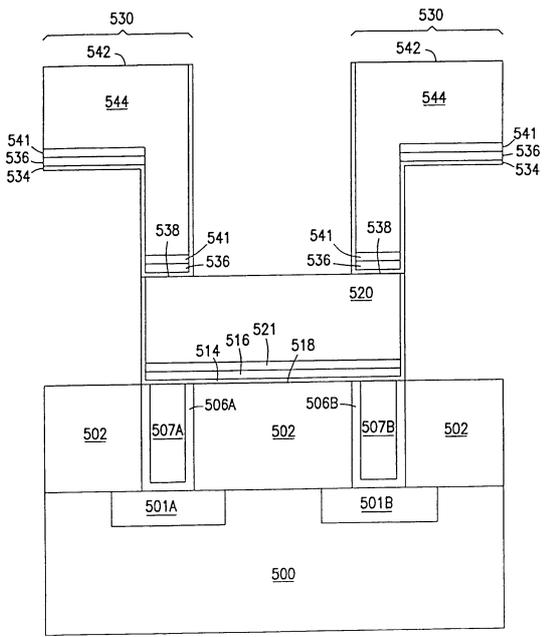
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
US 58 24 599 A
US 56 70 420 A
US 62 88 442 B1
US 62 84 656 B1
US 62 11 073 B1
US 61 97 688 B1
=JP 11-2 88 940 A
Holloway, K., et al., "Tatalum as a diffusion barrier between copper and silicon", Appl. Phys. Lett. 57(17), pp. 1736-1738, (Oct.1990).;
Bhansali, S. et al. "Selective electroless copper plating on silicon seeded by copper ion implantation", Thin Solid Films, 253, pp. 391-394, (1994);

Len, V., et al., "An investigation into the performance of diffusion barrier materials against copper diffusion using metal-oxide-semiconductor (MOS) capacitor structures", Solid-State Electronics, 43, pp 1045-1049, (1999);
Laursen T., et al., "Encapsulation of Copper by Nitridation of Cu-Ti Alloy/Bilayer Structures", International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, Abstracts No. H1.03, San Diego, CA, p. 309, (Apr. 1997);
Godbey, D.J., et al., "Copper Diffusion in Organic Polymer Resists and Inter-level Dielectrics", Thin Solid Films, 308-309, pp. 470-474, (1997);
Shacham-Diamond, Y., et al., "Copper electroless deposition technology for ultra-large-scale-integration (ULSI) matallization", Microelectronic Engineering, 33, pp. 47-58, (1997);
Bhansali, S. et al. "Selective seeding of copper films on polyimide-patterned silicon substrate, using ion implantation", In: Sensors and Actuators A52, 1996, S. 126-131;\$

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung einer Sperr-/ Haftschrift und einer Kristallkeimschicht in einer integrierten Schaltkreisanordnung und zugehörige integrierte Schaltkreisanordnung**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung einer Sperr-/Haftschrift (114) und einer Kristallkeimschicht (116) in einer integrierten Schaltkreisanordnung, umfassend: Strukturieren einer Isolatorschicht (108) auf einer planarisierten Oberfläche (109), um eine Reihe von Gräben (110) in der Isolatorschicht zu definieren, welche auf eine Reihe von Erstebenen-Durchkontakten (107A, 107B) in der planarisierten Oberfläche öffnen;
 Deponieren der Sperr-/Haftschrift (114) in der Reihe von Gräben (110) unter Verwendung von 100- bis 800-Elektro-

nvolt niedrigerenergetischer Ionenimplantation; und Deponieren der Kristallkeimschicht (116) auf der Sperr-/Haftschrift (114) in der Reihe von Gräben (110) unter Verwendung einer 100- bis 800-Elektronenvolt niedrigerenergetischen Ionenimplantation.



Beschreibung

Verwandte Anmeldungen

[0001] Diese Anmeldung ist mit dem folgenden Patent des selben Anmelders verwandt: US 6,429,120 B1, „Methods and apparatus for making integrated-circuit wiring from copper, silver, gold and other metals“ sowie US 6,284,656 B1 mit dem Titel „Copper Metallurgy in Integrated circuits“

Fachgebiet der Erfindung

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein integrierte Schaltkreise. Insbesondere bezieht sie sich auf Strukturen und Verfahren zur Bereitstellung von Kristallkeimschichten für die integrierte Schaltkreis-Metallurgie.

Erfindungshintergrund

[0003] Eines der Hauptprobleme für die Halbleiter verarbeitende Industrie im ULSI-Zeitalter ist das des kapazitiven Widerstandsverlustes auf den Verdrahtungsebenen. Dies hat zu großen Anstrengungen geführt den Widerstand auf den Verdrahtungsebenen zu verringern und die kapazitive Belastung auf diesen zu erniedrigen. Von Anfang an hat die Industrie dabei auf Aluminium und Aluminiumlegierungen für die Verdrahtung gesetzt. Auf ähnliche Weise hat die Industrie hauptsächlich auf SiO₂ als Isolator der Wahl gesetzt, obwohl für eine Anzahl von Jahren auch Polyimid in einer Reihe von Produkten eines Lieferanten (IBM) verwendet wurde. Das Problem des kapazitiven Widerstandes wächst mit jeder nachfolgenden Technologiegeneration. Mit abnehmenden Dimensionen verringert sich die minimale Leitungsabstandskombination, wodurch sowohl die Kapazität als auch der Widerstand erhöht wird, wenn der Designer einen Vorteil aus den verbesserten Entwurfsmaßen ziehen will.

Stand der Technik

[0004] Um die Leitfähigkeit zu verbessern wurde von zahlreichen Entwicklern vorgeschlagen, dass die derzeit verwendete Aluminiummetallurgie durch Kupfer- oder vielleicht Silber- oder Goldmetallurgie ersetzt werden kann. Bei der Entwicklung dieser vorgeschlagenen Metallurgien stieß man auf mehrere potentielle Probleme. Eines der hauptsächlichsten ist die schnelle Diffusion von Kupfer sowohl durch Silizium als auch durch SiO₂. Dies zusammen mit den bekannten Verbindungsstellen vergiftenden Effekten von Kupfer und Gold führten zu Vorschlägen, einen Liner zu verwenden, um diese Metallurgien von dem SiO₂-Isolator zu separieren. Beispielsweise schlägt ein Artikel von den Autoren Karen Holloway und Peter M. Fryer mit dem Titel "Tantalum as a diffusion barrier between copper and silicon", Appl. Phys. Let-

ter, Band 57, Nr. 17, 22. Oktober 1990, Seiten 1736–1738, die Verwendung eines Tantalmetall-Liners vor. Ein anderer Artikel von den Autoren T. Laurson und J. W. Mayer mit dem Titel "Encapsulation of copper by Nitridation of Cu-Ti Alloy/Bilayer Structures", International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, San Diego, CA, 21.–25. April 1997, Abstract Nr. H1.03, Seite 309, schlägt die Verwendung einer Verbindung wie CuTi als Liner vor. Ein weiterer Artikel, veröffentlicht von Vee S. C. Len, R. E. Hurley, N. McCusker, D. W. McNeill, B. M. Armstrong und H. S. Gamble, mit dem Titel "An investigation into the performance of diffusion barrier materials against copper diffusion using metal-oxide-semiconductor (MOS) capacitor structures", Solid-State Electronics 43 (1999), Seiten 1045–1049 schlägt die Verwendung einer Verbindung wie TaN als Liner vor.

[0005] Diese Ansätze lösen das oben bezeichnete Problem der Verringerung des minimalen Leitungsabstandes jedoch nicht vollständig. Demnach steigert die schrumpfende Leitungsgröße in der Kombination von Metalleitung und Liner wiederum die Kapazität und den Widerstand.

[0006] Zur gleichen Zeit haben andere Entwickler im Hinblick auf den kapazitiven Belastungseffekt verschiedene Polymere wie etwa fluorierte Polyimide als mögliche Ersatzstoffe für SiO₂-Isolatoren studiert. In US 6,197,688 B1 z. B., das sich im allgemeinen um Verbindungsstrukturen in einem Halbleiter und Verfahren zu deren Bildung kümmert, wird ebenfalls auf Polyimide als mögliches Dielektrikum verwiesen. Mehrere dieser Materialien haben dielektrische Konstanten, die beträchtlich niedriger sind als bei SiO₂. Wie im Falle des SiO₂ wurde jedoch wieder ein Inkompatibilitätsproblem mit der Kupfermetallurgie gefunden. Beispielsweise wurde in einer Präsentation von D. J. Godbey, L. J. Buckley, A. P. Purdy und A. W. Snow mit dem Titel "Copper Diffusion in Organic Polymer Resists and Inter-level Dielectrics" bei der International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, San Diego, CA, 21.–25. April 1997, Abstract H2.04 Seite 313, gezeigt, dass Polyimid und viele andere Polymere während des Aushärtungsprozesses mit Kupfer reagieren und ein leitfähiges Oxid, CuO₂, bilden, das sich in dem Polymer verteilt. Dies hebt dann die effektive dielektrische Konstante des Polymers an, und in vielen Fällen wird die Leitfähigkeit des Polymers erhöht. Zusätzlich wurde herausgefunden, dass reaktives Ionenätzen (RIE) aller drei Metalle, Kupfer, Silber oder Gold, bestenfalls schwierig ist.

[0007] In anderen Ansätze von Entwicklern wurde weiterhin versucht, nach Wegen zur Fortsetzung der Verwendung von Aluminiumverdrahtung mit einem Isolator mit niedriger dielektrischer Konstante zu suchen. Dies würde die kapazitive Belastung bei gegebenem Abstand zwischen den Leitungen verringern,

aber breitere oder dickere Leitungen verlangen. Die Verwendung dickerer Leitungen würden die kapazitive Belastung direkt proportional zur Erhöhung der Dicke ansteigen lassen. Daher macht dies in gewissem Ausmaß die Ziele der Verringerung der kapazitiven Belastungseffekte zunichte. Deshalb sollte die Verwendung dickerer Leitungen soweit wie möglich vermieden werden. Da der Widerstand der Leitung direkt proportional zu dessen Querschnittsfläche ist, muss diese breiter gemacht werden, wenn sie nicht dicker gemacht werden kann. Wenn jedoch die Leitungen breiter gemacht werden, können weniger Verdrahtungskanäle auf der Metallebene bereit gestellt werden. Um die gleiche Zahl von Verdrahtungskanälen zu erhalten, müssen zusätzliche Metallebenen vorgesehen werden.

[0008] Dies erhöht die Kosten des Chips. Wenn also diesem Ansatz gefolgt werden soll, ist es zwingend erforderlich eine Prozesssequenz mit niedrigen Kosten zu übernehmen.

[0009] Ein vom Erfinder dieser Anmeldung zur Verfügung gestellter Ansatz im Patent US 6,284,656 B1 mit dem Titel "Copper Metallurgy in Integrated circuits", angemeldet am 4. August 1998, US-Anmeldung Nr. 09/128,859, schlägt ein Verfahren zur Lösung vieler der mit der Verwendung von Kupfer in einem polymeren Isolator verknüpften Probleme vor. Dieses Verfahren, das spezifisch darauf abgestellt war mit einer Polymer- oder Schaumisolierung kompatibel zu sein erfordert, dass das unerwünschte Kupfer auf der Oberfläche jeder Schicht mittels chemisch-mechanischem Polieren (CMP) oder einem ähnlichen Planarisierungsprozess entfernt wird. Dieses Verfahren kann jedoch eine sorgfältige Prozesssteuerung erfordern, was zu zusätzlichen Kosten führt. Ein anderer Ansatz wird in einem Patent von Kie Ahn und Leonard Forbes mit dem Titel "Methods for making Copper and other Metal Interconnections in Integrated circuits", angemeldet am 27. Februar 1998, (US 6,211,073 B1), zur Verfügung gestellt, welches ein Verfahren unter Verwendung von ionisiertem Sputtern unter Ausbildung der Grundsicht und anschließendem Ausbilden einer gering benetzenden Schicht unter Verwendung von Dampfdufenabscheidung auf den Flächen, wo kein Kupfer erwünscht ist, vorschlägt. Das Kupfer wird mittels ionisiertem Magnetron-Sputtern gefolgt von Wasserstofftemperung abgeschieden. Das überschüssige Kupfer wird dann mittels CMP wie in der vorgenannten Anmeldung entfernt.

[0010] Ein weiteres Verfahren wird vom Erfinder dieser Anmeldung im Patent „Integrated circuit with Oxidation-Resistant Polymeric layer, (US 6,288,442 B1), beschrieben, welches viele der CMP-Prozesse abschafft und Abhebung verwendet, um die Graben- sowie die Kristallkeimschicht gleichzeitig zu definieren.

[0011] Die Verwendung von CMP hat sich bei der Verringerung lokaler Nicht-Planarität als effektiv erwiesen. Extensives Kumpeln (dishing) bei breiten Leitungen und Abrunden von Ecken des Isolators treten jedoch üblicherweise auf. Es wurde gefunden, dass es durch Aufrechterhaltung einer regelmäßigen Struktur durch Verwendung von Dummy-Strukturen und kleinen Strukturgrößen möglich ist, eine Ebene zu einer nahezu flachen Oberfläche zu planarisieren. Die Verwendung dieser Techniken ist jedoch kostenintensiv und in einigen Fällen mit nachteiligen Dichte- oder Eigenschaftsänderungen verbunden. Es ist jedoch im allgemeinen möglich, eine Struktur mit nur geringfügigem oder keinem Dichtenachteil unter Verwendung dieser Verfahren vor den Metallebenen zu planarisieren. Die Verwendung von stromloser Abscheidung wurde in US 5,824,599 sowie in einem Artikel von Yosi Schacham-Diamand und Valery M. Dubin mit dem Titel "Copper electroless deposition technology for ultralarge scale-integration (ULSI) metallization", *Microelectronic Engineering* 33 (1997), 47–58, vorgeschlagen, ein einfaches Verfahren zum Erhalt sowohl der Barrierschichten wie auch der Kristallkeimschicht wird jedoch benötigt, um die Kosteneffektivität dieser Technik zu verbessern. Eine Technik zum Beimpfen von Polyimid und Siliziumoberflächen unter Verwendung von hochenergetischer Ionenimplantation (10–20 Kiloelektronenvolt (KEV)) wurde in einem Artikel von S. Bhansali, D. K. Sood und R. B. Zmood, mit dem Titel "Selective electroless copper plating on silicon seeded by copper ion implantation", *Thin Solid Films* V253 (1994), Seiten 391–394, beschrieben. Es konnte jedoch nicht gezeigt werden, dass dieser Prozess in eine Produktstruktur, in der eine Sperr- und/oder Haftsicht erforderlich ist, implementierbar ist. Auch in US 5,670,420 wird hochenergetische (50–150 KEV) Ionenimplantation im Zusammenhang eines Verfahrens zur Bildung einer Metallbindungsschicht eines Halbleiterbausteins offenbart.

Aufgabenstellung

[0012] Aus den oben genannten Gründen und weiteren Gründen, die beim Lesen der nachfolgenden Offenbarung offensichtlich werden, besteht ein Bedarf nach Strukturen und Verfahren, welche die mit Durchkontakt- (via) und Metalleitungs-Herstellungsverfahren verknüpften Probleme überwinden. Diese Strukturen und Verfahren zur Durchkontakt- und Metalleitungsfabrikation müssen stromlinienförmig gestaltet und an den Bedarf nach höheren Leistungswerten in integrierten Schaltkreisen angepasst werden, sogar wenn die Entwurfsmaße bei der Herstellung schrumpfen.

Zusammenfassung der Erfindung

[0013] Die oben genannten mit der Größe und den Eigenschaften von integrierten Schaltungen zusam-

menhängenden Probleme, der Durchkontakt und Metallleitungs-Herstellungprozess, und andere durch die vorliegende Erfindung adressierte Probleme, werden durch Lesen und Studieren der folgenden Beschreibung verstanden werden. Die Strukturen und Verfahren der vorliegenden Erfindung umfassen eine Diffusionsbarriere und eine Kristallkeimschicht in einem integrierten Schaltkreis, die beide unter Verwendung von niedrigerenergetischer Ionenimplantation gefolgt von einer selektiven Abscheidung von Metallleitungen für den integrierten Schaltkreis gebildet werden. Nach den Lehren der vorliegenden Erfindung vermeidet die selektive Abscheidung der Metallleitungen die Erforderlichkeit mehrerer chemischmechanischer Planarisierungs (CMP) Schritte. Die niedrigerenergetische Ionenimplantation der vorliegenden Erfindung ermöglicht eine klare Platzierung sowohl der Diffusionsbarriere als auch der Kristallkeimschicht. Ein Restschutzlack kann verwendet werden, um die Diffusionsbarriere und die Kristallkeimschicht von unerwünschten Gebieten auf einer Waferoberfläche zu entfernen.

[0014] Insbesondere eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst ein Verfahren zur Herstellung einer Diffusionsbarriere und einer Kristallkeimschicht in einem integrierten Schaltkreis. Das Verfahren umfasst das Strukturieren eines Isolatormaterials, um eine Reihe von Gräben in der Isolatorschicht zu definieren, welche eine Reihe von Erstenbenen-Durchkontakten in einer planarisierten Oberfläche eröffnet. Eine Sperr-/Haftsicht wird auf der Anzahl von Gräben unter Verwendung von niedrigerenergetischer Ionenimplantation, z. B. einer 100 bis 800 Elektronenvolt (eV) Ionenimplantation abgeschieden. Eine Kristallkeimschicht wird auf der Sperr-/Haftsicht in der Anzahl von Gräben ebenfalls unter Verwendung der niedrigerenergetischen Ionenimplantation abgeschieden. Diese neue Methodik ermöglicht ferner die Bildung von Aluminium-, Kupfer-, Gold- und/oder Silbermetallverbindungen.

Ausführungsbeispiel

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0015] Die folgende detaillierte Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen kann am besten verstanden werden, wenn sie in Zusammenhang mit den folgenden Zeichnungen gelesen wird, welche zeigen: Die [Fig. 1A–Fig. 1K](#) veranschaulichen eine Ausführungsform der vielfältigen Verarbeitungsschritte zur Ausbildung von Durchkontakten und Metallleitungen gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung.

[0016] Die [Fig. 2A–Fig. 2K](#) veranschaulichen eine andere Ausführungsform der verschiedenen Verarbeitungsschritte zur Ausbildung von Durchkontakten und Metallleitungen gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung.

[0017] Die [Fig. 3A–Fig. 3K](#) veranschaulichen eine weitere Ausführungsform der zahlreichen Verarbeitungsschritte zur Ausbildung von Durchkontakten und Metallleitungen gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung.

[0018] Die [Fig. 4A–Fig. 4L](#) veranschaulichen eine weitere Ausführungsform der zahlreichen Verarbeitungsschritte zur Ausbildung von Durchkontakten und Metallleitungen gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung.

[0019] [Fig. 5](#) ist eine Darstellung eines integrierten Schaltkreises, hergestellt gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung.

[0020] [Fig. 6](#) veranschaulicht eine Ausführungsform eines Systems umfassend einen Teil eines integrierten Schaltkreises, der nach einer der in der vorliegenden Anmeldung beschriebenen Ausführungsformen hergestellt ist.

Detaillierte Beschreibung

[0021] In der folgenden detaillierten Beschreibung der Erfindung wird auf die beigefügten Zeichnungen, welche einen Teil der Beschreibung darstellen, Bezug genommen. In diesen sind im Wege der Veranschaulichung spezifische Ausführungsformen gezeigt, in denen die Erfindung ausgeführt werden kann. Diese Ausführungsformen sind in ausreichenden Details beschrieben, um die Fachleute zur Ausführung der Erfindung in die Lage zu versetzen. Es können andere Ausführungsformen verwendet werden und strukturelle logische und elektrische Veränderungen können vorgenommen werden, ohne vom Umfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

[0022] Die in der folgenden Beschreibung verwendeten Begriffe Wafer und Substrat umfassen jede Struktur mit einer exponierten Oberfläche, unter deren Verwendung die integrierte Schaltkreisstruktur (IC) der Erfindung hergestellt wird. Der Begriff Substrat wird so verstanden, dass er Halbleiter-Wafer umfasst. Der Begriff Substrat wird ebenso verwendet, um Halbleiterstrukturen während der Verarbeitung zu bezeichnen und kann andere Schichten einschließen, die darauf aufgebracht wurden. Substrat umfasst dotierte und undotierte Halbleiter, epitaktische Halbleiterschichten, geträgert auf einem Basishalbleiter oder Isolator, wie auch andere Halbleiterstrukturen, die dem Fachmann gut bekannt sind. Der Begriff Isolator ist so definiert, dass er jedes Material umfasst, das weniger elektrisch leitfähig ist als die Materialien, die durch den Fachmann im allgemeinen als Leiter bezeichnet werden. Die folgende detaillierte Beschreibung sollte daher nicht in einem beschränkenden Sinne verstanden werden.

[0023] Vorliegend offenbart ist ein kostengünstiges

Verfahren zur Erzielung von verringertem Kapazitäts- und Widerstandsverlust in Verdrahtungsebenen. Die vorliegende Erfindung erfordert nur eine vollständige CMP-Planarisierung gekoppelt mit der Ausbildung der Erstebenen-Durchkontakte, unabhängig davon, wie viele Metallisierungsebenen verwendet werden. Was wesentliche Aufreinigungs-CMP-Schritte auf jeder Metallebene sind, wird in einer Prozesssequenz verwendet. Dieser Prozess kann mit Aluminium, Kupfer, Silber, Gold oder jedem anderen Material angewendet werden, das nachfolgend stromlos plattiert oder durch selektive CVD oder jeden anderen selektiven Abscheidungsprozess abgeschieden werden kann. Ein Polyimid, ein anderes Polymer oder Schaumpolymer kann als Isolator verwendet werden. Es kann auch mit einem Oxid oder einer anderen anorganischen Isolierstruktur verwendet werden, wenn die isolierende Schichtenfolge mit dem verwendeten Metall kompatibel ist. Es kann auch genauso gut zur Ausbildung von Luftbrückenstrukturen verwendet werden. Der Prozess verwendet niedrigenergetische Ionenimplantation, um sowohl die Haft- und/oder Sperrschicht zusammen mit der Kristallkeimschicht abzuscheiden. Dies ist gekoppelt mit der Verwendung der Schutzlackschicht, welche den Damascene-Graben als blockierende Schicht zur Kennzeichnung von Implantationsflächen definiert. Niedrigenergetische Implantation ermöglicht die Platzierung klarer Schichten sowohl der Sperr-/Haft- als auch der Kristallkeimschichten. Die Verwendung der gleichen Schutzlackschichten zur Abgrenzung sowohl des Grabens als auch der Kristallkeimschichten ermöglicht eine kostengünstige Implementierung des Prozesses.

Ausführungsform eines metallischen Durchkontaktes unter Verwendung von Kupfer und Poly

[0024] Die [Fig. 1A–Fig. 1K](#) veranschaulichen eine neue Methodik bei der Herstellung von metallischen Durchkontakten und/oder einer Verdrahtungsstruktur in einem integrierten Schaltkreis gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung. Die neue Methodik umfasst die neue Bildung einer Sperr-/Haftschicht und einer Kristallkeimschicht in einem integrierten Schaltkreis unter Verwendung von niedrigenergetischer Ionenimplantation. Die neue Methodik schließt auch ein neues Verfahren zur Herstellung von Kupfer-, Silber-, Aluminium- oder Goldverbindungen bei einem integrierten Schaltkreis ein.

[0025] Die [Fig. 1A](#) veranschaulicht einen Teil einer integrierten Schaltkreisstruktur, nämlich einen integrierten Schaltkreis mit einer Reihe von Halbleitervorrichtungen, ausgebildet in einem Substrat. Die [Fig. 1](#) veranschaulicht die Struktur, nachdem die Vorrichtungsstruktur in dem Substrat gebildet wurde und die Kontaktstruktur zu der Vorrichtungsstruktur vorhanden ist. Der Durchschnittsfachmann wird beim Lesen dieser Offenbarung die Art und Weise verstehen, wie

eine Reihe von Halbleiterstrukturen, z. B. Transistoren, in einem Substrat gebildet werden kann. Der Durchschnittsfachmann wird auch beim Lesen der Offenbarung die Art und Weise verstehen, wie eine Kontaktstruktur hergestellt werden kann, welche mit einer gegebenen Halbleitervorrichtung in einem Substrat verbindet. Beispielsweise veranschaulicht die [Fig. 1A](#) die Struktur, nachdem eine Reihe von Vorrichtungsstrukturen, z. B. die Transistoren **101A** und **101B** in dem Substrat **100** gebildet wurden. Eine Isolatorschicht **102** wird auf der Reihe von Halbleitern **101A** und **101B** abgeschieden. Die Abscheidung der Isolatorschicht **102** kann die Abscheidung einer Si_3N_4 -Schicht mit einer Dicke im Bereich von $1 \cdot 10^{-8}\text{m}$ bis $5 \cdot 10^{-8}\text{m}$ (100 bis 500 Angström (Å)) einschließen. Diese Isolatorschicht wird auch als zusätzliche Barriere gegen Verunreinigungen, die aus den nachfolgenden Verarbeitungsschritten stammen, dienen. Kontaktlöcher **105A** und **105B** werden in der Reihe von Vorrichtungsstrukturen **101A** und **101B** unter Verwendung einer Photolithographietechnik geöffnet. Der Durchschnittsfachmann wird beim Lesen dieser Offenbarung die Art und Weise verstehen, wie eine Photolithographietechnik verwendet werden kann, um die Kontaktlöcher **105A** und **105B** zu erzeugen. Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Titansilizid-Liner **106A** und **106B** in den Kontaktlöchern **105A** und **105B** platziert, wie etwa durch einen Prozess, wie z. B. chemische Dampfphasenabscheidung (CVD). Als nächstes können Wolfram-Durchkontakte **107A** und **107B** in den Kontaktlöchern **105A** und **105B** abgeschieden werden. Die Wolfram-Durchkontakte **107A** und **107B** können in den Kontaktlöchern unter Verwendung jeder geeigneten Technik, wie etwa die Verwendung eines CVD-Verfahrens, abgeschieden werden. Das überschüssige Wolfram wird anschließend von der Wafer-Oberfläche durch chemisch-mechanische Planarisierung (CMP) oder andere geeignete Verfahren zur Ausbildung einer planarisierten Oberfläche **109** entfernt.

[0026] Wie in [Fig. 1B](#) gezeigt, wird eine erste Polymerschicht **108** oder einer erste Polyimidschicht **108** auf der Wafer-Oberfläche abgeschieden. Die erste Polymerschicht **108** kann unter Verwendung von beispielsweise dem Prozess und Material, wie im US-Patent 6,284,656 B1 des gleichen Erfinders mit dem Titel "Copper Metallurgy in Integrated circuits", beschrieben, abgeschieden werden. Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Abscheiden einer ersten Polymerschicht **108** das Abscheiden einer geschäumten Polymerschicht **108**. In einer Ausführungsform wird die erste Polyimidschicht **108** abgeschieden und ausgehärtet, wobei eine $5 \cdot 10^{-7}\text{m}$ (5000 Å) dicke Polymerschicht **108** nach dem Aushärten erzeugt wird. Der Durchschnittsfachmann wird beim Lesen dieser Offenbarung verstehen, dass andere geeignete Dicken der ersten Schicht aus Polyimid **108** oder der Isolatorschicht/des Materials **108** auch

abgeschieden werden kann, wie zur Ausbildung einer Ersteinbenen-Metallstruktur erforderlich, die Erfindung ist nicht darauf beschränkt. Die erste Polyimidschicht **108** oder erste Isolatorschicht/Material **108** wird strukturiert, um eine Reihe von Gräben **110** in der ersten Isolatorschicht **108** zu definieren, welche sich auf eine Reihe von Ersteinbenen-Durchkontakten, z. B. Wolfram-Durchkontakten **107A** und **107B**, in der planarisierten Oberfläche **109** öffnen. Mit anderen Worten, es wird eine Ersteinbenen-Metallstruktur **110** in einer Maskenschicht aus Photoresist **112** definiert und anschließend wird die erste Polyimidschicht **108** geätzt, unter Verwendung jedes geeigneten Verfahrens, z. B. reaktives Ionenätzen (RIE), so dass die Ersteinbenen-Metallstruktur **110** in dem Polyimid definiert wird. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung wird eine restliche Photoresistschicht **112** auf der ersten Isolatorschicht **108** in einer Reihe von Bereichen **113** außerhalb der Reihe von Gräben **110** belassen. Die Struktur sieht nun so aus wie in [Fig. 1B](#) gezeigt.

[0027] Wie in [Fig. 1C](#) gezeigt, wird eine erste Sperr-/Haftschicht **114** in der Reihe von Gräben **110** unter Verwendung von niedrigerenergetischer Ionenimplantation abgeschieden. In einer Ausführungsform gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst das Abscheiden der Sperr-/Haftschicht **114** das Abscheiden einer Zirkoniumschicht **114** mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-10}$ m bis $1 \cdot 10^{-8}$ m (5 bis 100 Å). In anderen Ausführungsformen umfasst das Abscheiden der Sperr-/Haftschicht **114** das Abscheiden einer Sperr-/Haftschicht **114** aus Titan und/oder Hafnium. In einer Ausführungsform umfasst das Abscheiden einer Zirkoniumschicht **114** das Abscheiden einer Zirkoniumschicht **114** mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-9}$ m (50 Å). Dies kann durch eine 10^{17} Ionenimplantation von Zirkonium, d. h. 10^{17} Ionen Zirkonium pro Quadratcentimeter (cm^2) erreicht werden. Gemäß den Lehren der Erfindung wird die Zirkoniumschicht **114** bei 100 Elektronenvolt (eV) in die Oberfläche der Gräben **110** in der Polymerschicht **108** implantiert, unter Verwendung einer Implantierung mit variierendem Winkel (α), wie durch die Pfeile **111** gezeigt, wo der Implantierungswinkel von senkrecht zur Waferoberfläche auf 15 Grad Abweichung von senkrecht verändert wird. Der Durchschnittsfachmann wird beim Lesen dieser Offenbarung verstehen, dass bei Veränderung eines Winkels der Implantierung von senkrecht auf die planarisierte Oberfläche **109** auf ungefähr 15 Grad abweichend von senkrecht die Sperr-/Haftschicht **114** auf allen Oberflächen der Reihe von Gräben **110** abgeschieden wird. Die Struktur ist nun so wie sie in [Fig. 1C](#) gezeigt ist.

[0028] In [Fig. 1D](#) wird eine erste Kristallkeimschicht **116** auf der ersten Sperr-/Haftschicht **114** unter Verwendung niedrigerenergetischer Ionenimplantation abgeschieden. Gemäß den allgemeineren Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst das Abscheiden der

Kristallkeimschicht **116** auf der Sperr-/Haftschicht **114** das Abscheiden einer Kristallkeimschicht **116** ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Aluminium, Kupfer, Silber und Gold. Gemäß den Lehren der gegenwärtigen Ausführungsform jedoch umfasst das Abscheiden der Kristallkeimschicht **116** das Abscheiden einer Kupferschicht **116** mit einer Dicke von ungefähr $1 \cdot 10^{-8}$ m (100 Å). Dies kann erreicht werden durch Verwendung einer 8×10^{16} Ionenimplantation von Kupfer. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst die Verwendung niedrigerenergetischer Ionenimplantation das Implantieren einer Kupferschicht **116** mit 100 Elektronenvolt (eV) in die Oberfläche der Gräben **110** in der Polymerschicht. Auch die Kupferschicht **116** wird mit einem Winkel senkrecht zur Waferoberfläche implantiert, wie durch die Pfeile **115** gezeigt. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, führt die Implantierung der Kupferschicht **116** mit senkrechtem Winkel auf die planarisierte Oberfläche zu einer Kristallkeimschicht aus Kupfer **116**, die auf der Bodenfläche **118** in der Reihe von Gräben **110** verbleibt und in wesentlich geringerem Umfang auf den Seitenoberflächen **117** der Reihe von Gräben **110**. In einer Ausführungsform wird eine optionale Aluminiumschicht **121** auf die Kupferkristallkeimschicht **116** abgeschieden, wiederum durch Verwendung von niedrigerenergetischer Ionenimplantation bei 100 Elektronenvolt (eV). Die optionale Aluminiumschicht **121** wird so abgeschieden, dass sie eine Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-9}$ m (50 Å) aufweist. Dies kann durch Verwendung einer 3×10^{16} Ionen Implantierung von Aluminium senkrecht auf die Waferoberfläche erreicht werden. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, wird die Aluminiumschicht **121** verwendet, um die Kupferkristallkeimschicht **116** vor Oxidation vor den nachfolgenden Verarbeitungsschritten zu schützen. Die Struktur ist nun so wie in [Fig. 1D](#) gezeigt.

[0029] [Fig. 1E](#) veranschaulicht die Struktur nach der nächsten Sequenz von Prozessschritten. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, hat die restliche Photolackschicht **112** als Blockierungsschicht gedient, um die Implantierungsflächen für die Sperr-/Haftschicht **114**, die Kristallkeimschicht **116** und die Aluminiumschicht **121** zu definieren. Die restliche Photolackschicht **112** wird nun unter Verwendung eines Nassablöseverfahrens entfernt, was wiederum vom Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstanden werden wird. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst das Entfernen der restlichen Photolackschicht **112** auch das Entfernen der unerwünschten Aluminiumschicht **121**, der unerwünschten Kristallkeimschicht **116** und der unerwünschten Sperr-/Haftschicht **114** von den äußeren Flächen der Waferoberfläche, d. h. von einer Reihe von Bereichen **113** außerhalb der Gräben **110** auf einer oberen Fläche **119** der ersten Isolatorschicht **118**. Die Struk-

tur ist nun wie in [Fig. 1E](#) gezeigt.

[0030] In [Fig. 1F](#) wird ein metallischer Leiter **120**, oder eine Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **120**, über der Kristallkeimschicht **116** in der Reihe von Gräben **110** deponiert. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung sind der metallische Leiter **120** oder die Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **120** aus der Gruppe bestehend aus Aluminium, Kupfer, Silber und Gold ausgewählt, in Abhängigkeit von der Art der Kristallkeimschicht **116** die abgeschieden wurde. Gemäß dieser Ausführungsform sind die metallischen Leiter **120** oder die Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **120** selektiv auf der Kupferkristallkeimschicht **116** aufgebracht, so dass die Reihe von Kupfermetalleitungen **120** oder Erstebenen-Kupfermetalleitungen **120** nicht auf der oberen Flächen **119** der ersten Isolatorschicht **108** gebildet werden. In einer Ausführungsform wird der metallische Leiter **120** oder die Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **120** unter Verwendung eines selektiven CVD-Verfahrens deponiert. In einer anderen Ausführungsform umfasst das Abscheiden eines metallischen Leiters **120** oder eine Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **120** über die Kristallkeimschicht **116** das Deponieren eines metallischen Leiters **120** unter Verwendung von stromlosem Plattieren. Stromloses Kupferplattieren wird verwendet, um ausreichend Kupfer abzuscheiden, um die Reihe von Gräben **110** auf die oberen Flächen **119** der ersten Isolatorschicht **108** aufzufüllen.

[0031] Wie in [Fig. 1G](#) gezeigt, kann die Prozesssequenz fortgesetzt werden, um jede Anzahl von nachfolgenden Metallschichten in einer Multischicht-Verdrahtungsstruktur auszubilden. [Fig. 1G](#) veranschaulicht die Struktur nach der nächsten Sequenz von Prozessschritten. In [Fig. 1G](#) wird ein Dual-Damascene-Prozess verwendet, um eine erste zu einer zweiten Ebene von Durchkontakten sowie eine Zweitebenenmetallurgie zu definieren und aufzufüllen. Um dies zu tun, wird eine zweite Polymerschicht **124** oder zweite Schicht aus Polyimid **124** auf die Waferoberfläche deponiert, z. B. auf den metallischen Leiter **120** oder die Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **120** und die erste Polymerschicht **108**. Die zweite Polymerschicht **124** kann auf ähnliche Weise deponiert werden unter Verwendung beispielsweise des Prozesses und des Materials wie im US-Patent des gleichen Anmelders mit dem Titel "Copper Metallurgy in Integrated circuits" (US 6,284,656 B1) beschrieben.

[0032] In einer Ausführungsform umfasst das Abscheiden einer zweiten Polymerschicht **124** das Abscheiden einer geschäumten zweiten Polymerschicht **124**. In einer Ausführungsform wird die zweite Polymerschicht **124** deponiert und ausgehärtet, wobei eine $1 \cdot 10^{-6}$ m (10.000 Å) dicke zweite Polymerschicht nach dem Aushärten gebildet wird. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung

verstehen wird, können andere geeignete Dicken der zweiten Polymerschicht **124** oder der zweiten Isolatorschicht/des Materials **124** auch deponiert werden, je nach Eignung für das Ausbilden einer ersten zu einer zweiten Ebene von Durchkontakten, d. h. Zweitebenen-Durchkontakten, sowie eine Reihe von Zweitebenen-Metalleitungen, die Erfindung ist nicht darauf beschränkt. Die zweite Polymerschicht **124** oder zweite Isolatorschicht/Material **124** ist strukturiert, um eine zweite Ebene von Durchkontakten und eine Reihe von Zweitebenen-Metalleitungen in dem zweiten Isolatorschicht/Material **124** zu definieren und auf den metallischen Leiter **120** oder die Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **120** zu öffnen. Mit anderen Worten, es wird eine zweite Ebene von Durchkontakten in einer zweiten Maskenschicht aus Photolack **126** definiert und anschließend wird die zweite Polymerschicht **124** unter Verwendung jedes geeigneten Prozesses, z. B. reaktives Ionenätzen (RIE) geätzt, so dass eine zweite Ebene von Durchkontaktöffnungen **128** in dem Polyimid definiert wird. Unter Verwendung des Dual-Damascene-Prozesses wird eine Reihe von Zweitebenen-Metalleitungen auch in einer zweiten Maskenschicht aus Photolack **126** definiert und die zweite Polymerschicht **124** wird wiederum unter Verwendung eines geeigneten Verfahrens, z. B. reaktives Ionenätzen (RIE) geätzt, so dass eine zweite Ebene von Metallleitungsgräben **130** in dem Polyimid definiert wird. Der Durchschnittsfachmann wird beim Lesen dieser Offenbarung die Art und Weise wie eine Photolackschicht **126** unter Verwendung eines Dual-Damascene-Prozesses Maske sein kann, exponiert und entwickelt werden kann, um eine zweite Ebene von Durchkontaktöffnungen **128** und eine zweite Ebene von Metallleitungsgräben **130** in dem zweiten Isolatorschicht/Material **124** zu strukturieren, verstehen.

[0033] Wie vor kurzem beschrieben und gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung, wird eine restliche Photolackschicht **126** vor Ort auf der zweiten Isolatorschicht/Material **124** in einer Reihe von Bereichen **132** außerhalb der zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **130** belassen. Ein geeignetes Plasma- und/oder Nassreinigungsverfahren wird verwendet, um jedwede Verunreinigungen aus den Zweitebenen-Durchkontaktöffnungen **128** und einer zweiten Ebenen von Metallleitungsgräben **130** zu entfernen, was der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung wiederum verstehen wird. Die Struktur ist nun so, wie sie in [Fig. 1G](#) auftritt.

[0034] [Fig. 1H](#) veranschaulicht die Struktur **100** nach der nächsten Sequenz von Verarbeitungsschritten. In [Fig. 1H](#) wird eine zweite Sperr-/Haftschicht **134** auf der zweiten Ebene von Durchkontaktöffnungen **128** und einer zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **130** unter Verwendung von niedrigerenergetischer Ionenimplantation deponiert. Wie oben beschrieben umfasst in einer Ausführungsform gemäß den Leh-

ren der vorliegenden Erfindung das Deponieren der zweiten Sperr-/Haftschicht **134** das Abscheiden einer Zirkoniumschicht **134** mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-10}$ m bis $1 \cdot 10^{-8}$ m (5 bis 100 Å). In anderen Ausführungsformen umfasst das Deponieren der zweiten Sperr-/Haftschicht **134** das Abscheiden einer Sperr-/Haftschicht **134** aus Titan und/oder Hafnium. In einer Ausführungsform umfasst das Deponieren der Zirkoniumschicht **134** eine Schicht aus Zirkonium **134** mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-9}$ m (50 Å). In einer Ausführungsform wird dies durch Verwendung einer 10^{17} Ionenimplantation von Zirkonium erzielt. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung wird die Zirkoniumschicht **134** bei 100 Elektronenvolt (eV) auf die Oberfläche der zweiten Ebene von Durchkontaktöffnungen **128** und einer zweiten Ebene von Metalleitungsgräben **130** in der zweiten Polymerschicht **124** unter Verwendung eines variierenden Winkels, wie durch die Pfeile **125** gezeigt, implantiert, wobei der Implantierungswinkel von senkrecht zur Waferoberfläche bis 15 Grad Abweichung von senkrecht verändert wird. Wie der Fachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, führt die Verwendung einer Implantierung mit variierendem Winkel, bei der der Implantierungswinkel von senkrecht zur Waferoberfläche bis ungefähr 15 Grad Abweichung von senkrecht verändert wird, zu einer Abscheidung der Sperr-/Haftschicht **134** auf allen Oberflächen in der zweiten Ebene von Durchkontaktöffnungen **128** und einer zweiten Ebene von Metalleitungsgräben **130**. Die Struktur ist nun so wie sie in [Fig. 1H](#) erscheint.

[0035] Die [Fig. 1I](#) veranschaulicht die Struktur **100** nach der nächsten Sequenz von Verarbeitungsschritten. In [Fig. 1I](#) wird eine zweite Kristallkeimschicht **136** auf der zweiten Sperr-/Haftschicht **134** unter Verwendung niedrigerenergetischer Ionenimplantation deponiert. Gemäß der allgemeinen Lehre der vorliegenden Erfindung umfasst das Deponieren der zweiten Kristallkeimschicht **136** auf der zweiten Sperr-/Haftschicht **134** das Abscheiden einer zweiten Kristallkeimschicht **136** ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Aluminium, Kupfer, Silber und Gold. Gemäß den Lehren der vorliegenden Ausführungsform umfasst das Abscheiden der zweiten Kristallkeimschicht **136** jedoch das Deponieren einer zweiten Kupferschicht **136** mit einer Dicke von ungefähr $1 \cdot 10^{-8}$ m (100 Å). In einer Ausführungsform wird dies unter Verwendung einer 8×10^{16} Ionenimplantation von Kupfer erreicht. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst die Verwendung einer niedrigerenergetischen Ionenimplantation die Implantierung der Kupferschicht **136** bei 100 Elektronenvolt (eV) in die Oberflächen der zweiten Ebene von Durchkontaktöffnungen **128** und der Polymerschicht. Auch die Kupferschicht **136** wird mit einem Winkel senkrecht zur Waferoberfläche, wie durch die Pfeile **137** gezeigt, implantiert. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen

wird, führt das Implantieren der Kupferschicht **136** mit senkrechtem Winkel auf die planarisierte Oberfläche zu einer zweiten Kristallkeimschicht aus Kupfer **136**, welche auf der Bodenoberfläche **138** in den Zweitebenen-Durchkontaktöffnungen **128** und der zweiten Ebene von Metalleitungsgräben **130** verbleibt, und in einem wesentlich geringeren Umfang auf die Seitenoberflächen **140** der zweiten Ebene von Durchkontaktöffnungen **128** und einer zweiten Ebene von Metalleitungsgräben **130**. In einer Ausführungsform wird eine optionale Aluminiumschicht **141** auf die zweite Kupferkristallkeimschicht **136** abgeschieden, wiederum unter Verwendung von niedrigerenergetischer Ionenimplantation bei 100 Elektronenvolt (eV). Die optionale Aluminiumschicht wird abgeschieden, um eine Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-9}$ m (50 Å) aufzuweisen. Gemäß einer Ausführungsform wird dies durch Verwendung einer 3×10^{16} Ionenimplantation von Aluminium senkrecht auf die Waferoberfläche erreicht. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, wird die Aluminiumschicht **141** verwendet, um die zweite Kupferkristallkeimschicht **136** vor Oxidation vor den nachfolgenden Verarbeitungsschritten zu schützen.

[0036] Die [Fig. 1J](#) veranschaulicht die Struktur nach der nächsten Sequenz von Verarbeitungsschritten. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, dient die restliche Photolackschicht **126** als Blockierungsschicht, um die Implantierungsflächen für die zweite Sperr-/Haftschicht **134**, die zweite Kristallkeimschicht **136** und die Aluminiumschicht **141** zu definieren. Die restliche Photoresistschicht **126** wird nun unter Verwendung eines Nassablöseverfahrens entfernt, was der Durchschnittsfachmann beim Lesen der Offenbarung wiederum verstehen wird. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst die Entfernung der restlichen Photolackschicht **126** die Entfernung der unerwünschten Aluminiumschicht **141**, der unerwünschten Kristallkeimschicht **136** und der unerwünschten Sperr-/Haftschicht **134** von anderen Flächen der Waferoberfläche, z. B. von einer Reihe von Bereichen **132** außerhalb der zweiten Ebene von Metalliniengräben **130** auf einer oberen Fläche **142** und der zweiten Isolatorschicht **124**. Die Struktur ist nun so wie in [Fig. 1J](#) gezeigt.

[0037] In [Fig. 1K](#) wird ein zweiter metallischer Leiter **144** oder einer zweiter Kernleiter **144** darauf abgeschieden oder auf der zweiten Kristallkeimschicht **136** und innerhalb der zweiten Sperr-/Haftschicht **134** in den zweiten Ebenen von Durchkontaktöffnungen **128** und der zweiten Ebene von Metalleitungsgräben **130** in der Polymerschicht ausgebildet. In dieser Ausführungsform ist der zweite metallische Leiter **144** oder der zweite Kernleiter **144** aus Kupfer, kann jedoch in anderen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung aus der Gruppe bestehend aus Aluminium, Silber und Gold ausgewählt sein. In einer Aus-

führungsform wird der zweite metallische Leiter **144** oder zweite Kernleiter **144** unter Verwendung eines selektiven CVD-Prozesses deponiert, so dass der zweite metallische Leiter **144** oder zweite Kernleiter **144** nicht auf einer obersten Fläche **142** der zweiten Isolatorschicht **124** gebildet wird. In einer anderen Ausführungsform umfasst das Deponieren eines zweiten metallischen Leiters **144** oder zweiten Kernleiters **144** auf der zweiten Kristallkeimschicht **136** und innerhalb der zweiten Sperr-/Haftschicht **134** das Abscheiden eines zweiten metallischen Leiters **144** oder zweiten Kernleiters **144** unter Verwendung stromloser Plattierung. Stromlose Kupferplattierung wird verwendet, um ausreichend Kupfer zu abscheiden, um die zweite Ebene von Durchkontaktöffnungen **128** und die zweite Ebene von Metallleitungsgräben **130** auf die zweite Oberfläche **142** der zweiten Isolatorschicht **124** Oberfläche **142** der zweiten Isolatorschicht **124** aufzufüllen. Daher bilden die zweiten Sperr-/Haftschicht **134**, die zweite Kristallkeimschicht **136** und der zweite metallische Leiter **144** oder zweiter Kernleiter **144** eine zweite Reihe von leitfähigen Strukturen, welche eine Reihe von Zweitebenen-Durchkontakten und eine Reihe von Zweitebenen-Metallleitungen umfassen, die auf einer ersten Reihe von leitfähigen Strukturen, z. B. der Erstebenen-Metallleitungen **120** gebildet und mit diesen verbunden sind.

Ausführungsform einer Metallverbindung unter Verwendung von Aluminiummetallleitungen und Oxidisolatoren

[0038] Die [Fig. 2A–Fig. 2K](#) veranschaulichen eine neue Methodik zur Bildung von Metallverbindungen und/oder einer Verdrahtungsstruktur in einer integrierten Schaltung gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung. Die neue Methodik umfasst die neue Bildung einer Sperr-/Haftschicht und einer Kristallkeimschicht in einem integrierten Schaltkreis unter Verwendung von niedrigerenergetischer Ionenimplantation. Die neue Methodik umfasst auch ein neues Verfahren zur Herstellung von Kupfer-, Silber-, Aluminium- oder Goldverbindungsleitungen für einen integrierten Schaltkreis.

[0039] Die [Fig. 2A](#) veranschaulicht einen Teil einer integrierten Schaltkreisstruktur, nämlich einen integrierten Schaltkreis mit einer Reihe von Halbleitervorrichtungen, die in einem Substrat wie oben im Zusammenhang mit [Fig. 1A](#) beschrieben, gebildet werden. D. h. [Fig. 2A](#) veranschaulicht die Struktur, nachdem eine Vorrichtungsstruktur in dem Substrat ausgebildet wurde und die Kontaktstruktur zu der Vorrichtungsstruktur vorhanden ist. Wie [Fig. 1A](#) veranschaulicht [Fig. 2A](#) die Struktur, nachdem eine Reihe von Vorrichtungsstrukturen, z. B. Transistoren **201A** und **201B** in dem Substrat **200** hergestellt wurden. Eine Isolatorschicht **202** wird auf der Reihe von Halbleitern **201A** und **201B** deponiert. Die Abscheidung

der Isolatorschicht **202** kann die Abscheidung einer Schicht aus Si_3N_4 mit einer Dicke im Bereich von $1 \cdot 10^{-8}\text{m}$ bis $5 \cdot 10^{-8}\text{m}$ (100 bis 500 Angström (Å)) umfassen. Diese Isolatorschicht dient auch als zusätzliche Barriere gegenüber Verunreinigungen aus den nachfolgenden Verarbeitungsschritten. Auf die Reihe von Vorrichtungsstrukturen **201A** und **201B** sind Kontaktlöcher **205A** und **205B** unter Verwendung einer Photolithographietechnik geöffnet. Der Durchschnittsfachmann wird beim Lesen dieser Offenbarung verstehen, auf welche Weise eine Photolithographietechnik verwendet werden kann, um die Kontaktlöcher **205A** und **205B** zu erzeugen. Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Titansilizid-Liner **206A** und **206B** in den Kontaktlöchern **205A** und **205B** etwa durch ein Verfahren wie z. B. chemische Dampfphasenabscheidung (CVD) platziert. Als nächstes können Wolfram-Durchkontakte **207A** und **207B** in den Kontaktlöchern **205A** und **205B** deponiert werden. Die Wolfram-Durchkontakte **207A** und **207B** können in den Kontaktlöchern unter Verwendung jeder geeigneten Technik wie etwa die Verwendung eines CVD-Verfahrens deponiert werden. Das überschüssige Wolfram wird anschließend von der Waferoberfläche durch chemischmechanisches Planarisieren (CMP) oder geeignete andere Verfahren entfernt, um eine planarisierte Oberfläche **209** zu bilden.

[0040] Wie in [Fig. 2B](#) gezeigt, wird eine erste Oxidschicht **208**, z. B. eine Siliziumdioxid (SiO_2), auf der Waferoberfläche abgeschieden. In einer Ausführungsform umfasst das Deponieren der ersten Oxidschicht **208** die Abscheidung einer fluorierten Siliziumoxidschicht **208**. Die erste Oxidschicht **208** kann unter Verwendung jeder geeigneten Technik, etwa beispielsweise die Verwendung eines CVD-Prozesses abgeschieden werden. In einer Ausführungsform wird eine erste Oxidschicht **208** mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-7}\text{m}$ (5000 Å) abgeschieden. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, können andere geeignete Dicken der ersten Oxidschicht **208** ebenso abgeschieden werden, wie zur Ausbildung einer Erstebenen-Metallstruktur geeignet, die Erfindung ist nicht darauf beschränkt. Die erste Oxidschicht **208** wird strukturiert, um eine Reihe von Gräben **210** in der ersten Oxidschicht **208** zu definieren, die sich auf eine Reihe von Erstebenen-Durchkontakten öffnet, z. B. Wolfram-Durchkontakte **207A** und **207B** in der planarisierten Oberfläche **209**. Mit anderen Worten, es wird eine Erstebenen-Metallstruktur **210** in einer Maskenschicht aus Photolack **212** definiert und anschließend wird die erste Oxidschicht **208** unter Verwendung jedes geeigneten Prozesses, z. B. reaktives Ionenätzen (RIE), geätzt, so dass die Erstebenen-Metallstruktur **210** in der ersten Oxidschicht **208** definiert wird. Der Durchschnittsfachmann wird beim Lesen dieser Offenbarung verstehen, dass jede gewünschte Erstebenen-Metallstruktur **210** unter Ver-

wendung einer Photolithographietechnik erzeugt werden kann. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung wird eine restliche Photoresistschicht **212** vor Ort auf der ersten Oxidschicht **208** in einer Reihe von Bereichen **213** außerhalb der Reihe von Gräben **210** belassen. Die Struktur ist nun so wie sie in [Fig. 2B](#) erscheint.

[0041] Wie in [Fig. 2C](#) gezeigt, wird eine erste Sperr-/Haftschicht **214** in der Reihe von Gräben **210** unter Verwendung einer niedrigenergetischen Ionenimplantation abgeschieden. In einer Ausführungsform gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst die Abscheidung der Sperr-/Haftschicht **214** das Deponieren einer Schicht aus Zirkonium **214** mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-10}$ m bis $1 \cdot 10^{-8}$ m (5 bis 100 Å). In anderen Ausführungsformen umfasst das Abscheiden der Sperr-/Haftschicht **214** das Deponieren einer Sperr-/Haftschicht **214** aus Titan und/oder Hafnium. In einer Ausführungsform umfasst das Deponieren einer Zirkoniumschicht **214** das Abscheiden einer Schicht aus Zirkonium **214** mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-9}$ m (50 Å). Dies kann unter Verwendung einer 10^{17} Ionenimplantation aus Zirkonium erreicht werden. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung wird die Zirkoniumschicht **214** mit 100 Elektronenvolt (eV) in die Oberfläche der Gräben **210** in der ersten Oxidschicht **208** unter Verwendung einer Implantierung mit variierendem Winkel (α), wie durch die Pfeile **211** gezeigt, implantiert, wobei der Implantierungswinkel von senkrecht zur Waferoberfläche bis auf 15 Grad Abweichung von senkrecht verändert wird. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, führt eine Implantierung mit variierendem Winkel, bei welcher der Implantierungswinkel (α) von senkrecht zur Waferoberfläche bis auf ungefähr 15 Grad Abweichung von senkrecht zu einer Abscheidung der Sperr-/Haftschicht **214** auf allen Oberflächen der Reihe von Gräben **210**. Die Struktur ist nun so wie sie in [Fig. 2C](#) erscheint.

[0042] In [Fig. 2D](#) wird eine erste Kristallkeimschicht **216** auf der ersten Sperr-/Haftschicht **214** unter Verwendung einer niedrigenergetischen Ionenimplantation abgeschieden. Gemäß den allgemeineren Lehren der vorliegenden Ausführungsform umfasst das Abscheiden der Kristallkeimschicht **216** auf der Sperr-/Haftschicht **214** das Abscheiden einer ersten Kristallkeimschicht **216** ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Aluminium, Kupfer, Silber und Gold. Gemäß den Lehren der vorliegenden Ausführungsform umfasst das Deponieren der Kristallkeimschicht **216** jedoch das Abscheiden einer Schicht aus einer Aluminium-Kupfer-Legierung **216** mit einer Dicke von ungefähr $1 \cdot 10^{-9}$ m (110 Å). Dies kann durch Abscheiden einer ersten Schicht aus Aluminium **281** auf der Sperr-/Haftschicht **214** bis auf eine Dicke von ungefähr 50 Å unter Verwendung einer niedrigenergetischen Ionenimplantation mit ungefähr 100 Elektro-

nenvolt (eV) erreicht werden. Anschließend wird eine Kupferschicht **282** auf der ersten Aluminiumschicht **281** mit einer Dicke von ungefähr $1 \cdot 10^{-9}$ m (10 Å) unter Verwendung niedrigenergetischer Ionenimplantation von ungefähr 100 eV abgeschieden. Die zweite Aluminiumschicht **283** wird anschließend auf der Kupferschicht **282** mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-9}$ m (50 Å) unter Verwendung einer niedrigenergetischen Ionenimplantation von ungefähr 100 eV abgeschieden. Auch die erste Kristallkeimschicht **216** wird mit einem Winkel senkrecht zur planarisierten Oberfläche, wie durch die Pfeile **215** gezeigt, implantiert. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, führt die Implantierung der ersten Kristallkeimschicht **216** mit einem Winkel senkrecht zur planarisierten Oberfläche zu einer ersten Kristallkeimschicht **216** auf einer Bodenoberfläche **218** in der Reihe von Gräben **210** und in viel geringerem Ausmaß auf den Seitenflächen **217** auf der Reihe von Gräben **210**.

[0043] Die [Fig. 2E](#) zeigt die Struktur nach der nächsten Sequenz von Verarbeitungsschritten. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, dient die restliche Photoresistschicht **212** als Blockierungsschicht, um die Implantierungsflächen für die Sperr-/Haftschicht **214** und die Kristallkeimschicht **216** zu definieren. Die restliche Photoresistschicht **212** wird nun unter Verwendung eines Nassablöseverfahrens entfernt, was der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung wiederum verstehen wird. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst das Entfernen der restlichen Photoresistschicht **212** das Entfernen der unerwünschten Kristallkeimschicht **216** und der unerwünschten Sperr-/Haftschicht **214** von den anderen Flächen der Waferoberfläche, z. B. von oberhalb der Reihe von Bereichen **213** außerhalb der Gräben **210** auf einer obersten Fläche **219** der ersten Isolatorschicht **208**. Die Struktur ist nun so, wie in [Fig. 2E](#) gezeigt.

[0044] In [Fig. 2F](#) wird ein metallischer Leiter **220** oder eine Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **220** auf der ersten Kristallkeimschicht **216** und innerhalb der ersten Sperr-/Haftschicht **214** in der Reihe von Gräben **210** deponiert. In dieser Ausführungsform ist der metallische Leiter **220** oder die Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **220** aus Aluminium, jedoch wird in anderen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung der metallische Leiter **220** oder die Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **220** aus der Gruppe bestehend aus Kupfer, Silber und Gold, abhängig von der Art der deponierten Kristallkeimschicht **216**, ausgewählt. In einer Ausführungsform wird der metallische Leiter **220** oder die Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **220** unter Verwendung eines selektiven CVD-Prozesses abgeschieden. In einer anderen Ausführungsform umfasst das Deponieren eines metallischen Leiters **220** oder einer Reihe von Erstebe-

nen-Metalleitungen **220** auf der Kristallkeimschicht **216** das Abscheiden eines metallischen Leiters **220** unter Verwendung von stromlosem Plattieren. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung wird die Reihe von Erstebenen-Aluminiummetalleitungen **220** deponiert, um die Reihe von Gräben **210** bis auf die oberste Fläche **219** der ersten Oxidschicht **208** aufzufüllen. Dementsprechend bilden die Erstebenen-Aluminiummetalleitungen **220**, die erste Kristallkeimschicht **216** und die erste Sperr-/Haftschiicht **214** in der Reihe von Gräben **210** eine erste Reihe leitfähiger Strukturen. Die Kupferzusammensetzung der ersten Kristallkeimschicht **216** kann eingestellt werden, um den angemessenen Prozentsatz an Kupfer in der vollständigen Reihe leitfähiger Strukturen zu ergeben. Beispielsweise wurde in der oben beschriebenen Ausführungsform die Schichtdicke des Aluminium-Kupfer-Sandwiches so gestaltet, dass sich ein Prozentanteil von 0,7 Gewichtsprozent Kupfer in der ersten Reihe leitfähiger Strukturen ergibt.

[0045] Wie in [Fig. 2G](#) gezeigt, kann die Prozesssequenz fortgeführt werden, um eine beliebige Reihe von nachfolgenden Metallschichten in einer vielschichtigen Verdrahtungsstruktur auszubilden. Die [Fig. 2G](#) veranschaulicht die Struktur nach der nächsten Sequenz von Prozessschritten. In [Fig. 2G](#) wird ein Dual-Damascene-Prozess verwendet, um eine erste auf eine zweite Ebene von Durchkontakten und eine zweite Metallurgieebene zu definieren und aufzufüllen. Um dies zu tun, wird eine zweite Oxidschicht **224** auf der Waferoberfläche deponiert, z. B. auf dem metallischen Leiter **220** oder der Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **220** und der ersten Oxidschicht **208**. In einer Ausführungsform umfasst das Deponieren der zweiten Oxidschicht **224** das Abscheiden einer zweiten fluorierten Siliziumoxidschicht **224**. In einer Ausführungsform wird die zweite Oxidschicht **224** so hergestellt, dass sie eine Dicke ungefähr $1 \cdot 10^{-6}$ m (10.000 Å) aufweist. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, können auch andere geeignete Dicken der zweiten Oxidschicht **224** deponiert werden, wie sie zur Ausbildung einer ersten auf eine zweite Ebene von Durchkontakten, z. B. Zweitebenen-Durchkontakte und einer Reihe von Zweitebenen-Metalleitungen geeignet sind, die Erfindung ist nicht darauf beschränkt. Die zweite Oxidschicht **224** ist strukturiert, um eine zweite Ebene von Durchkontakten und eine Reihe von Zweitebenen-Metalleitungen in der zweiten Oxidschicht **224** zu definieren, die sich auf die metallischen Leiter **220** oder die Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **220** öffnen. Mit anderen Worten, es wird eine zweite Ebene von Durchkontakten in einer zweiten Maskenschicht aus Photoresist **226** definiert und anschließend wird die zweite Oxidschicht **224** unter Verwendung eines geeigneten Prozesses, z. B. reaktives Ionenätzen (RIE), geätzt, so dass eine zweite Ebene von Durchkontaktöffnungen **228** in dem Polyimid definiert wird. Unter Verwendung des Dual-Damas-

cene-Prozesses wird auch eine Reihe von Zweitebenen-Metalleitungen in der zweiten Maskenschicht aus Photoresist **226** definiert und die zweite Oxidschicht **224** wird wiederum unter Verwendung eines geeigneten Prozesses, z. B. reaktives Ionenätzen (RIE), geätzt, so dass eine zweite Ebene von Metallleitungsgräben **230** in der zweiten Oxidschicht **224** definiert wird. Der Durchschnittsfachmann wird beim Lesen dieser Offenbarung die Art und Weise verstehen, wie eine Photoresistschicht unter Verwendung eines Dual-Damascene-Prozesses Maske sein kann, exponiert und entwickelt wird, um eine zweite Ebene von Durchkontaktöffnungen **228** und eine zweite Ebene von Metallleitungsgräben **230** in der zweiten Oxidschicht **224** zu strukturieren.

[0046] Wie vorher beschrieben, und gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung, wird eine restliche Photoresistschicht **226** auf der zweiten Oxidschicht **224** in einer Reihe von Bereichen **232** außerhalb der zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **230** belassen. Ein geeigneter Plasma- und/oder Nassreinigungsprozess wird verwendet, um beliebige Verunreinigungen von der zweiten Ebene von Durchkontaktöffnungen **228** und einer zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **230** zu entfernen, was wiederum vom Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstanden wird. Die Struktur ist nun so, wie sie in [Fig. 2G](#) erscheint.

[0047] Die [Fig. 2H](#) veranschaulicht die Struktur nach der nächsten Sequenz von Verarbeitungsschritten. In [Fig. 2H](#) wird eine zweite Sperr-/Haftschiicht **234** in der zweiten Ebene von Durchkontaktöffnungen **228** und einer zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **230** unter Verwendung niedrigerenergetischer Ionenimplantation abgeschlossen. Wie oben beschrieben umfasst in einer Ausführungsform gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung das Deponieren der zweiten Sperr-/Haftschiicht **234** das Abscheiden einer Zirkoniumschiicht **234** mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-10}$ m bis $1 \cdot 10^{-8}$ m (5 bis 100 Å). In anderen Ausführungsformen umfasst das Deponieren der zweiten Sperr-/Haftschiicht **234** das Deponieren einer Sperr-/Haftschiicht **234** aus Titan und/oder Hafnium. In einer Ausführungsform umfasst das Deponieren der Zirkoniumschiicht **234** das Abscheiden einer Zirkoniumschiicht **234** mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-9}$ m (50 Å). In einer Ausführungsform wird dies unter Verwendung einer 10^{17} Ionenimplantation von Zirkonium (d. h. 10^{17} Ionen pro Quadratzentimeter) erreicht. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung wird die Zirkoniumschiicht **234** mit 100 Elektronenvolt (eV) in die Oberfläche der zweiten Ebene von Durchkontaktöffnungen **228** und einer zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **230** in der zweiten Polymerschicht **224** unter Verwendung einer Implantierung mit variierendem Winkel (α), wie durch die Pfeile **225** gezeigt, implantiert, wobei der Winkel der Implantierung von senkrecht zur Waferoberfläche bis 15

Grad Abweichung von senkrecht verändert wird. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, führt die Verwendung einer Implantierung mit variierendem Winkel, wobei ein Implantierungswinkel α von senkrecht zur Waferoberfläche bis ungefähr 15 Grad Abweichung von senkrecht verändert wird, zu einer Abscheidung der Sperr-/Haftschicht **234** auf allen Oberflächen der zweiten Ebene von Durchkontaktöffnungen **228** und einer zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **230**. Die Struktur ist nun so, wie sie in [Fig. 2H](#) erscheint.

[0048] [Fig. 2I](#) veranschaulicht die Struktur nach der nächsten Sequenz von Verarbeitungsschritten. In [Fig. 2I](#) wird eine zweite Kristallkeimschicht **236** auf der zweiten Sperr-/Haftschicht **234** unter Verwendung niedrigerenergetischer Ionenimplantation abgeschieden. Gemäß den allgemeineren Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst das Abscheiden der zweiten Kristallkeimschicht **236** auf der zweiten Sperr-/Haftschicht **234** das Deponieren einer zweiten Kristallkeimschicht **236** ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Aluminium, Kupfer, Silber und Gold. Gemäß den Lehren der vorliegenden Ausführungsform umfasst das Abscheiden der Kristallkeimschicht **216** jedoch das Deponieren einer Aluminium-Kupferlegierung **216** mit einer Dicke von ungefähr $11 \cdot 10^{-9}$ m (110 Å). Dies kann erreicht werden durch Deponieren einer ersten Aluminiumschicht **284** auf der Sperr-/Haftschicht **214** mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-9}$ m (50 Å) unter Verwendung von niedrigerenergetischer Ionenimplantation mit ungefähr 100 Elektronenvolt (eV). Anschließend wird eine Kupferschicht **285** auf die erste Aluminiumschicht **284** mit einer Dicke von ungefähr $1 \cdot 10^{-9}$ m (10 Å) unter Verwendung von niedrigerenergetischer Ionenimplantation bei ungefähr 100 eV abgeschieden. Eine zweite Aluminiumschicht **286** wird anschließend auf der Kupferschicht **285** mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-9}$ m (50 Å) unter Verwendung niedrigerenergetischer Ionenimplantation mit ungefähr 100 eV abgeschieden. Auch die erste Kristallkeimschicht **216** wird mit einem Winkel senkrecht zur Waferoberfläche, wie durch die Pfeile **237** gezeigt, implantiert. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, führt die Implantierung einer Kupferschicht **236** mit einem Winkel senkrecht zur planarisierten Oberfläche zu einer zweiten Kristallkeimschicht aus Kupfer **236**, die auf einer Bodenoberfläche **238** in der zweiten Ebene von Durchkontaktöffnungen **228** verbleibt und zu einem viel geringeren Ausmaß auf den Seitenoberflächen **240** der zweiten Ebene von Durchkontaktöffnungen **228** und einer zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **230**.

[0049] Die [Fig. 2J](#) veranschaulicht die Struktur nach der nächsten Sequenz von Prozessschritten. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, dient die restliche Photoresistschicht **226** als Blockierungsschicht, um die

Implantierungsflächen für die zweite Sperr-/Haftschicht **234** und die zweite Kristallkeimschicht **236** zu definieren. Die restliche Photoresistschicht **226** wird nun unter Verwendung eines Nassablöseverfahrens entfernt, was durch den Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung wiederum verstanden wird. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst die Entfernung der restlichen Photoresistschicht **226** auch die Entfernung der unerwünschten Sperr-/Haftschicht **234** und der unerwünschten zweiten Kristallkeimschicht **236** von anderen Flächen der Waferoberfläche, z. B. von oberhalb einer Reihe von Bereichen **232** außerhalb der zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **230** auf einer obersten Fläche **242** der zweiten Oxidschicht **224**. Die Figur ist nun so wie in [Fig. 2J](#) gezeigt.

[0050] In [Fig. 2K](#) wird ein zweiter metallischer Leiter **244** oder zweiter Kernleiter **244** auf der zweiten Kristallkeimschicht **236** und innerhalb der zweiten Sperr-/Haftschicht **234** in den zweiten Ebenen von Durchkontaktöffnungen **228** und der zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **230** in der Polymerschicht abgeschieden oder darauf ausgebildet. In dieser Ausführungsform ist der zweite metallische Leiter **244** oder der zweite Kernleiter **244** aus Aluminium, in anderen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung kann der zweite metallische Leiter **244** oder zweite Kernleiter **244** jedoch aus der Gruppe bestehend aus Kupfer, Silber und Gold ausgewählt sein. In einer Ausführungsform wird der zweite metallische Leiter **244** oder zweite Kernleiter **244** unter Verwendung eines selektiven CVD-Prozesses deponiert. In einer anderen Ausführungsform umfasst das Deponieren eines zweiten metallischen Leiters **244** oder zweiten Kernleiters **244** über der zweiten Kristallkeimschicht **236** und innerhalb der zweiten Sperr-/Haftschicht **234** das Abscheiden eines zweiten metallischen Leiters **244** oder zweiten Kernleiters **244** unter Verwendung von stromlosem Abscheiden. Der zweite Aluminiumleiter **244** oder zweite Kernleiter **244** wird zur Ausfüllung der zweiten Ebene von Durchkontaktöffnungen **228** und der zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **230** auf die oberste Fläche **242** der zweiten Isolatorschicht **224** abgeschieden. Dementsprechend bilden die zweite Sperr-/Haftschicht **234**, die zweite Kristallkeimschicht **236** und der zweite metallische Leiter **244** oder zweite Kernleiter **244** eine zweite Reihe leitfähiger Strukturen, welche eine Reihe von Zweitebenen-Durchkontakten und eine Reihe von Zweitebenen-Metalleitungen umfasst, die auf und in Verbindung mit einer ersten Reihe von leitfähigen Strukturen, z. B. der ersten Ebene von Durchkontakten **207A** und **207B** gebildet sind.

Ausführungsform einer Metallverbindung unter Verwendung von Kupfermetalleitungen und Oxidisolatoren

[0051] Die [Fig. 3A–Fig. 3K](#) veranschaulichen eine neue Methodik zur Bildung von Metallverbindungen und/oder einer Verdrahtungsstruktur in einer integrierten Schaltung gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung. Die neue Methodik umfasst die neue Bildung einer Sperr-/Haftschicht und einer Kristallschicht in einem integrierten Schaltkreis unter Verwendung von niedrigerenergetischer Ionenimplantation. Die neue Methodik umfasst auch ein neues Verfahren zur Herstellung von Kupfer-, Silber-, Aluminium- oder Goldverbindungsleitungen für einen integrierten Schaltkreis.

[0052] Die [Fig. 3A](#) veranschaulicht einen Teil einer integrierten Schaltkreisstruktur, nämlich einen integrierten Schaltkreis mit einer Reihe von Halbleitervorrichtungen, die in einem Substrat gebildet werden. [Fig. 3A](#) veranschaulicht die Struktur, nachdem eine Vorrichtungsstruktur in dem Substrat ausgebildet wurde und die Kontaktstruktur zu der Vorrichtungsstruktur vorhanden ist. Der Durchschnittsfachmann wird beim Lesen dieser Offenbarung die Art und Weise verstehen, wie eine Reihe von Halbleiterstrukturen, z. B. Transistoren, in einem Substrat gebildet werden kann. Der Durchschnittsfachmann wird auch beim Lesen der Offenbarung die Art und Weise verstehen, wie eine Kontaktstruktur hergestellt werden kann, welche mit einer gegebenen Halbleitervorrichtung in einem Substrat verbindet. Beispielsweise veranschaulicht die [Fig. 3A](#) die Struktur, nachdem eine Reihe von Vorrichtungsstrukturen, z. B. die Transistoren **301A** und **301B** in dem Substrat **300** gebildet wurden. Eine Isolatorschicht **302** wird auf der Reihe von Halbleitern **301A** und **301B** abgeschieden. Die Abscheidung der Isolatorschicht **302** kann die Abscheidung einer Si_3N_4 -Schicht mit einer Dicke im Bereich von $1 \cdot 10^{-8}\text{m}$ bis $5 \cdot 10^{-8}\text{m}$ (100 bis 500 Angström (Å)) einschließen. Diese Isolatorschicht wird auch als zusätzliche Barriere gegen Verunreinigungen, die aus den nachfolgenden Verarbeitungsschritten stammen, dienen. Kontaktlöcher **305A** und **305B** werden in der Reihe von Vorrichtungsstrukturen **301A** und **301B** unter Verwendung einer Photolithographietechnik geöffnet. Der Durchschnittsfachmann wird beim Lesen dieser Offenbarung die Art und Weise verstehen, wie eine Photolithographietechnik verwendet werden kann, um die Kontaktlöcher **305A** und **305B** zu erzeugen. Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Titansilizid-Liner **306A** und **306B** in den Kontaktlöchern **305A** und **305B** platziert, wie etwa durch einen Prozess, wie z. B. chemische Dampfphasenabscheidung (CVD). Als nächstes können Wolfram-Durchkontakte **307A** und **307B** in den Kontaktlöchern **305A** und **305B** abgeschieden werden. Die Wolfram-Durchkontakte **307A** und **307B** können in den Kontaktlöchern

unter Verwendung jeder geeigneten Technik, wie etwa die Verwendung eines CVD-Verfahrens, abgeschieden werden. Das überschüssige Wolfram wird anschließend von der Wafer-Oberfläche durch chemisch-mechanische Planarisierung (CMP) oder andere geeignete Verfahren zur Ausbildung einer planarisierten Oberfläche **309** entfernt.

[0053] Wie in [Fig. 3B](#) gezeigt, wird eine erste Polymerschicht **308**, oder erste Polyimidschicht **308** auf der Waferoberfläche abgeschieden. Die erste Oxidschicht **308** kann unter Verwendung jeder geeigneten Technik, wie z.B. einem CVD-Prozess, deponiert werden. In einer Ausführungsform umfasst das Deponieren der ersten Oxidschicht **308** die Abscheidung einer fluorierten Siliziumoxidschicht **308**. In einer Ausführungsform wird eine erste Oxidschicht **308** auf eine Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-7}\text{m}$ (5000 Å) abgeschieden. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, können andere geeignete Dicken der ersten Oxidschicht **308** ebenso abgeschieden werden, wie zur Ausbildung einer Erstenbenen-Metalstruktur geeignet, die Erfindung ist nicht darauf beschränkt. Die erste Oxidschicht **308** wird strukturiert, um eine Reihe von Gräben **310** in der ersten Oxidschicht **308** zu definieren, die sich auf eine Reihe von Erstenbenen-Durchkontakten öffnet, z. B. Wolfram-Durchkontakte **307A** und **307B** in der planarisierten Oberfläche **309**. Mit anderen Worten, es wird eine Erstenbenen-Metalstruktur **310** in einer Maskenschicht aus Photolack **312** definiert und anschließend wird die erste Oxidschicht **308** unter Verwendung jedes geeigneten Prozesses, z. B. reaktives Ionenätzen (RIE), geätzt, so dass die Erstenbenen-Metalstruktur **310** in der ersten Oxidschicht **308** definiert wird. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung wird eine restliche Photoresistschicht **312** vor Ort auf der ersten Oxidschicht **308** in einer Reihe von Bereichen **313** außerhalb der Reihe von Gräben **310** belassen. Die Struktur ist nun so wie sie in [Fig. 3B](#) erscheint.

[0054] Wie in [Fig. 3C](#) gezeigt, wird eine erste Sperr-/Haftschicht **314** in der Reihe von Gräben **310** unter Verwendung einer niedrigerenergetischen Ionenimplantation abgeschieden. In einer Ausführungsform gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst die Abscheidung der Sperr-/Haftschicht **314** das Deponieren einer Schicht aus Tantalnitrid **314** mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-10}\text{m}$ bis $1 \cdot 10^{-9}\text{m}$ (5 bis 100 Å). In anderen Ausführungsformen umfasst das Abscheiden der Sperr-/Haftschicht **314** das Deponieren einer Sperr-/Haftschicht **314** aus Tantal und/oder Cu/Ti. In einer Ausführungsform umfasst das Deponieren einer Tantalnitridschicht **214** das Abscheiden einer Schicht aus Tantal **381** mit einer Dicke von ungefähr $1 \cdot 10^{-8}\text{m}$ (100 Å) unter Verwendung niedrigerenergetischer Ionenimplantation mit ungefähr 100 Elektronenvolt (eV) bei Implantierung mit variierendem Winkel (α), d.h. der Implantierungswinkel (α) wird von

senkrecht zur planarisierten Oberfläche **309** bis auf 15 Grad Abweichung von senkrecht verändert, wie durch die Pfeile **311** gezeigt. In einer Ausführungsform wird dies durch Verwendung einer 10^{17} Tantal-Ionenimplantation erreicht. Als nächstes wird gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung eine Stickstoffschicht **382** bei 700 Elektronenvolt (eV) in die Tantschicht **381** implantiert. In einer Ausführungsform wird dies durch Verwendung einer 8×10^{16} Stickstoff-Ionenimplantation erreicht. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, führt eine Implantierung mit variierendem Winkel, bei welcher der Implantierungswinkel von senkrecht zur planarisierten Oberfläche bis auf ungefähr 15 Grad Abweichung von senkrecht zu einer Abscheidung der Sperr-/Haftschicht **314** auf allen Oberflächen der Reihe von Gräben **310**. Die Struktur ist nun so wie sie in [Fig. 3C](#) erscheint.

[0055] In [Fig. 3D](#) wird eine erste Kristallkeimschicht **316** auf der ersten Sperr-/Haftschicht **314** unter Verwendung einer niedrigerenergetischen Ionenimplantation abgeschieden. Gemäß den allgemeineren Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst das Abscheiden der Kristallkeimschicht **316** auf der Sperr-/Haftschicht **314** das Abscheiden einer ersten Kristallkeimschicht **316** ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Aluminium, Kupfer, Silber und Gold. Gemäß den Lehren der vorliegenden Ausführungsform umfasst das Deponieren der Kristallkeimschicht **316** jedoch das Abscheiden einer Schicht aus Kupfer **316** mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-9}$ m (50 Å). Dies kann durch Verwendung einer 8×10^{16} Kupfer-Ionenimplantation erreicht werden. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst die Verwendung einer niedrigerenergetischen Ionenimplantation das Implantieren einer Kupferschicht **316** bei 100 Elektronenvolt (eV) in die erste Sperr-/Haftschicht **314**. Auch die Kupferschicht **316** wird mit einem Winkel senkrecht zur planarisierten Oberfläche **309**, wie durch die Pfeile **315** gezeigt, implantiert. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, führt die Implantierung der Kupferschicht **316** mit einem Winkel senkrecht zur planarisierten Oberfläche zu einer Kupferkristallkeimschicht **316**, die auf einer Bodenoberfläche **318** in der Reihe von Gräben **310** verbleibt, und in viel geringerem Ausmaß auf den Seitenflächen **320** der Reihe von Gräben **310**. In einer Ausführungsform wird eine optionale Aluminiumschicht **321** auf der Kupferkristallkeimschicht **316** wiederum unter Verwendung niedrigerenergetischer Ionenimplantation bei 100 Elektronenvolt (eV) deponiert. Die optionale Aluminiumschicht **321** wird mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-10}$ m (50 Å) abgeschieden. Dies kann durch Verwendung einer 3×10^{16} Ionen-Implantierung von Aluminium senkrecht auf die Waferoberfläche erreicht werden. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, wird die Aluminiumschicht **321** verwendet, um die Kupferkristallkeimschicht **316** vor

Oxidation vor den nachfolgenden Verarbeitungsschritten zu schützen. Die Struktur ist nun so wie in [Fig. 3D](#) gezeigt.

[0056] Die [Fig. 3E](#) zeigt die Struktur nach der nächsten Sequenz von Verarbeitungsschritten. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, dient die restliche Photoresistschicht **312** als Blockierungsschicht, um die Implantierungsflächen für die Sperr-/Haftschicht **314** und die Kristallkeimschicht **316** zu definieren. Die restliche Photoresistschicht **312** wird nun unter Verwendung eines Nassabläseverfahrens entfernt, was der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung wiederum verstehen wird. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst das Entfernen der restlichen Photoresistschicht **312** das Entfernen der unerwünschten Aluminiumschicht **321**, der unerwünschten Kristallkeimschicht **316** und der unerwünschten Sperr-/Haftschicht **314** von den anderen Flächen der Waferoberfläche, z. B. von oberhalb der Reihe von Bereichen außerhalb der Gräben **310** auf einer obersten Fläche **319** der ersten Isolationsschicht **308**. Die Struktur ist nun so, wie in [Fig. 3E](#) gezeigt.

[0057] In [Fig. 3F](#) wird ein metallischer Leiter **320** oder eine Reihe von Ersteinbenen-Metalleitungen **320** auf der ersten Kristallkeimschicht **316** in der Reihe von Gräben **310** deponiert. Gemäß den Lehren der vorliegenden Ausführungsform ist der metallische Leiter **320** oder die Reihe von Ersteinbenen-Metalleitungen **320** aus Kupfer. In einer Ausführungsform wird der metallische Leiter **320** oder die Reihe von Ersteinbenen-Metalleitungen **320** unter Verwendung eines selektiven CVD-Prozesses abgeschieden. In einer anderen Ausführungsform umfasst das Deponieren eines metallischen Leiters **320** oder einer Reihe von Ersteinbenen-Metalleitungen **320** auf der Kristallkeimschicht **316** das Abscheiden eines metallischen Leiters **320** unter Verwendung von stromlosem Plattieren. Stromlose Kupferplattierung wird verwendet, um genügend Kupfer abzuscheiden, um die Reihe von Gräben **310** bis auf ein Niveau von 100 Å unterhalb der obersten Fläche **319** der ersten Oxidschicht **308** aufzufüllen. An dieser Stelle wird eine zweite Schicht aus Tantalnitrid **323** mit einer Dicke von ungefähr $1 \cdot 10^{-8}$ m (100 Å) auf den metallischen Leiter **320** oder die Reihe von Ersteinbenen-Metalleitungen **320** aus Kupfer abgeschieden. Anschließend wird chemisch-mechanischer Planarisierungs-(CMP)-Reinigungsprozess verwendet, um das Tantalnitrid von der obersten Fläche **319** der ersten Oxidschicht **308** zu entfernen.

[0058] Wie in [Fig. 3G](#) gezeigt, kann die Prozesssequenz fortgeführt werden, um eine beliebige Reihe von nachfolgenden Metallschichten in einer vielschichtigen Verdrahtungsstruktur auszubilden. Die [Fig. 3G](#) veranschaulicht die Struktur nach der nächs-

ten Sequenz von Prozessschritten. In [Fig. 3G](#) wird ein Dual-Damascene-Prozess verwendet, um eine erste auf eine zweite Ebene von Durchkontakten und eine zweite Metallurgieebene zu definieren und aufzufüllen. Um dies zu tun, wird eine zweite Oxidschicht **324** auf der Waferoberfläche deponiert, z. B. auf dem metallischen Leiter **320** oder der Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **320** und der ersten Oxidschicht **308**. Die zweite Oxidschicht **324** wird wiederum unter Verwendung jeder geeigneten Technik deponiert. In einer Ausführungsform umfasst das Deponieren der zweiten Oxidschicht **324** das Abscheiden einer fluorierten Siliziumoxidschicht **324**. In einer Ausführungsform wird die zweite Oxidschicht **324** so abgeschieden, dass sie eine Dicke ungefähr $1 \cdot 10^{-6} \text{m}$ (10.000 \AA) aufweist. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, können auch andere geeignete Dicken der zweiten Oxidschicht **324** deponiert werden, wie sie zur Ausbildung einer ersten auf eine zweite Ebene von Durchkontakten, z. B. Zweitebenen-Durchkontakte und einer Reihe von Zweitebenen-Metalleitungen geeignet sind, die Erfindung ist nicht darauf beschränkt. Die zweite Oxidschicht **324** ist strukturiert, um eine zweite Ebene von Durchkontakten und eine Reihe von Zweitebenen-Metalleitungen in der zweiten Oxidschicht **324** zu definieren, die sich auf die metallischen Leiter **320** oder die Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **320** öffnen. Mit anderen Worten, es wird eine zweite Ebene von Durchkontakten in einer zweiten Maskenschicht aus Photoresist **326** definiert und anschließend wird die zweite Oxidschicht **324** unter Verwendung eines geeigneten Prozesses, z. B. reaktives Ionenätzen (RIE), geätzt, so dass eine zweite Ebene von Durchkontaktöffnungen **328** in zweiten Oxidschicht **324** definiert wird. Unter Verwendung des Dual-Damascene-Prozesses wird auch eine Reihe von Zweitebenen-Metalleitungen in der zweiten Maskenschicht aus Photoresist **326** definiert und die zweite Oxidschicht **324** wird wiederum unter Verwendung eines geeigneten Prozesses, z. B. reaktives Ionenätzen (RIE), geätzt, so dass eine zweite Ebene von Metallleitungsgräben **330** in dem Oxid definiert wird. Der Durchschnittsfachmann wird beim Lesen dieser Offenbarung die Art und Weise verstehen, wie eine Photoresistschicht **326** unter Verwendung eines Dual-Damascene-Prozesses Maske sein kann, exponiert und entwickelt wird, um eine zweite Ebene von Durchkontaktöffnungen **328** und eine zweite Ebene von Metallleitungsgräben **330** in der zweiten Oxidschicht **324** zu strukturieren.

[0059] Wie vorher beschrieben, und gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung, wird eine restliche Photoresistschicht **326** auf der zweiten Oxidschicht **324** in einer Reihe von Bereichen **332** außerhalb der zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **330** belassen. Ein geeigneter Plasma- und/oder Nassreinigungsprozess wird verwendet, um beliebige Verunreinigungen von der zweiten Ebene von

Durchkontaktöffnungen **328** und einer zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **330** zu entfernen, was wiederum vom Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstanden wird. Die Struktur ist nun so, wie sie in [Fig. 3G](#) erscheint.

[0060] Die [Fig. 3H](#) veranschaulicht die Struktur nach der nächsten Sequenz von Verarbeitungsschritten. In [Fig. 2H](#) wird eine zweite Sperr-/Haftsicht **334** in der zweiten Ebene von Durchkontaktöffnungen **328** und einer zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **330** unter Verwendung niedrigerenergetischer Ionenimplantation abgeschieden. Wie oben beschrieben umfasst in einer Ausführungsform gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung das Deponieren der zweiten Sperr-/Haftsicht **334** das Abscheiden einer Tantalnitridschicht **334** mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-10} \text{m}$ bis $1 \cdot 10^{-8} \text{m}$ (5 bis 100 \AA). In anderen Ausführungsformen umfasst das Deponieren der zweiten Sperr-/Haftsicht **334** das Deponieren einer zweiten Sperr-/Haftsicht **334** aus Tantal und/oder CuTi. In einer Ausführungsform umfasst das Deponieren der Tantalnitridschicht **334** das zuerst das Abscheiden einer Tantschicht **383** mit einer Dicke von ungefähr $1 \cdot 10^{-8} \text{m}$ (100 \AA) unter Verwendung niedrigerenergetischer Ionenimplantation mit ungefähr 100 Elektronenvolt (eV) bei Implantierung mit variierendem Winkel (α), d.h. der Implantierungswinkel (α) wird von senkrecht zur Waferoberfläche bis auf 15 Grad Abweichung von senkrecht verändert, wie durch die Pfeile **325** gezeigt. In einer Ausführungsform wird dies durch Verwendung einer 10^{17} Tantal-Ionenimplantation erreicht. Als nächstes wird gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung eine Stickstoffschicht **384** bei 700 Elektronenvolt (eV) in die Tantschicht **383** implantiert. In einer Ausführungsform wird dies durch Verwendung einer 8×10^{16} Stickstoff-Ionenimplantation erreicht. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, führt eine Implantierung mit variierendem Winkel (α), bei welcher der Implantierungswinkel von senkrecht zur Waferoberfläche bis auf ungefähr 15 Grad Abweichung von senkrecht zu einer Abscheidung der Sperr-/Haftsicht **334** auf allen Oberflächen der zweiten Ebene von Durchkontaktöffnungen **328** und einer zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **330**, die in der zweiten Oxidschicht **324** vorliegen. Die Struktur ist nun so, wie sie in [Fig. 3H](#) erscheint.

[0061] [Fig. 3I](#) veranschaulicht die Struktur nach der nächsten Sequenz von Verarbeitungsschritten. In [Fig. 3I](#) wird eine zweite Kristallkeimschicht **336** auf der zweiten Sperr-/Haftsicht **334** unter Verwendung niedrigerenergetischer Ionenimplantation abgeschieden. Gemäß den allgemeineren Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst das Abscheiden der zweiten Kristallkeimschicht **336** auf der zweiten Sperr-/Haftsicht **314** das Deponieren einer zweiten Kristallkeimschicht **336** ausgewählt aus der Gruppe

bestehend aus Aluminium, Kupfer, Silber und Gold. Gemäß den Lehren der vorliegenden Ausführungsform umfasst das Abscheiden der Kristallkeimschicht **336** jedoch das Deponieren einer zweiten Kupferschicht **336** mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-9}$ m (50 Å). In einer Ausführungsform wird dies unter Verwendung einer 8×10^{16} Ionenimplantation von Kupfer erreicht. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst die Verwendung einer niedrigerenergetischen Ionenimplantation die Implantierung der Kupferschicht **336** bei 100 Elektronenvolt (eV) in die Oberflächen der zweiten Ebene von Durchkontaktöffnungen **328** und der zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **330** in der Polymerschicht. Auch die Kupferschicht **336** wird mit einem Winkel senkrecht zur Waferoberfläche, wie durch die Pfeile **337** gezeigt, implantiert. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, führt das Implantieren der Kupferschicht **336** mit senkrechtem Winkel auf die Waferoberfläche zu einer zweiten Kristallkeimschicht aus Kupfer **336**, welche auf der Bodenoberfläche **338** in den Zweitebenen-Durchkontaktöffnungen **328** verbleibt, und in einem wesentlich geringeren Umfang auf die Seitenoberflächen **340** der zweiten Ebene von Durchkontaktöffnungen **328** und einer zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **330**. In einer Ausführungsform wird eine optionale Aluminiumschicht **341** auf die zweite Kupferkristallkeimschicht **336** abgeschieden, wiederum unter Verwendung von niedrigerenergetischer Ionenimplantation bei 100 Elektronenvolt (eV). Die optionale Aluminiumschicht wird abgeschieden, um eine Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-9}$ m (50 Å) aufzuweisen. Gemäß einer Ausführungsform wird dies durch Verwendung einer 3×10^{16} Ionen-Implantierung von Aluminium senkrecht auf die Waferoberfläche erreicht. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, wird die Aluminiumschicht **341** verwendet, um die zweite Kupferkristallkeimschicht **336** vor Oxidation vor den nachfolgenden Verarbeitungsschritten zu schützen. Die Struktur ist nun so wie in [Fig. 3I](#) gezeigt.

[0062] Die [Fig. 3J](#) veranschaulicht die Struktur nach der nächsten Sequenz von Prozessschritten. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, dient die restliche Photoresistschicht **326** als Blockierungsschicht, um die Implantierungsflächen für die zweite Sperr-/Haftschicht **334**, die zweite Kristallkeimschicht **336** und die Aluminiumschicht **341** zu definieren. Die restliche Photoresistschicht **326** wird nun unter Verwendung eines Nassablöseverfahrens entfernt, was durch den Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung wiederum verstanden wird. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst die Entfernung der restlichen Photoresistschicht **326** auch die Entfernung der unerwünschten Aluminiumschicht **341**, der unerwünschten Kristallkeimschicht **336** und der unerwünschten Sperr-/Haftschicht **334** von anderen

Flächen der Waferoberfläche, z. B. von oberhalb einer Reihe von Bereichen **332** außerhalb der zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **330** auf einer obersten Fläche **342** der zweiten Oxidschicht **324**. Die Figur ist nun so wie in [Fig. 3J](#) gezeigt.

[0063] In [Fig. 3K](#) wird ein zweiter metallischer Leiter **344** oder zweiter Kernleiter **344** auf der zweiten Kristallkeimschicht **336** und innerhalb der zweiten Sperr-/Haftschicht **334** in den zweiten Ebenen von Durchkontaktöffnungen **328** und der zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **330** in der Polymerschicht abgeschieden oder darauf ausgebildet. In dieser Ausführungsform ist der zweite metallische Leiter **344** oder der zweite Kernleiter **344** aus Kupfer, in anderen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung kann der zweite metallische Leiter **344** oder zweite Kernleiter **344** jedoch aus der Gruppe bestehend aus Aluminium, Silber und Gold ausgewählt sein. In einer Ausführungsform wird der zweite metallische Leiter **344** oder zweite Kernleiter **344** unter Verwendung eines selektiven CVD-Prozesses deponiert. In einer anderen Ausführungsform umfasst das Deponieren eines zweiten metallischen Leiters **344** oder zweiten Kernleiters **344** auf der zweiten Kristallkeimschicht **336** und innerhalb der zweiten Sperr-/Haftschicht **334** das Abscheiden eines zweiten metallischen Leiters **344** oder zweiten Kernleiters **344** unter Verwendung von stromlosem Abscheiden. Stromloses Kupferplattieren wird verwendet, um genügend Kupfer abzuscheiden um die zweite Ebene von Durchkontaktöffnungen **328** und die zweite Ebene von Metallleitungsgräben **330** bis auf ein Niveau von $1 \cdot 10^{-8}$ m (100 Å) unterhalb der obersten Fläche **342** der zweiten Isolatorschicht **324** aufzufüllen. An dieser Stelle wird eine zweite Schicht aus Tantalnitrid **346** mit einer Dicke von ungefähr $1 \cdot 10^{-8}$ m (100 Å) auf den zweiten metallischen Leiter **344** oder den zweiten Kernleiter **344** abgeschieden. Anschließend wird chemisch-mechanischer

Planarisierungs-(CMP)-Reinigungsprozess verwendet, um das Tantalnitrid von der obersten Fläche **342** der zweiten Isolatorschicht **324** zu entfernen. Daher bilden die zweite Sperr-/Haftschicht **334**, die zweite Kristallkeimschicht **336** und der zweite metallische Leiter **344** oder zweiter Kernleiter **344** eine zweite Reihe von leitfähigen Strukturen, welche eine Reihe von Zweitebenen-Durchkontakten und eine Reihe von Zweitebenen-Metallleitungen umfassen, die auf einer ersten Reihe von leitfähigen Strukturen, z. B. der Erstebenen-Metallleitungen **320**, oder Erstebenen-Metallleitungen **320** gebildet und mit diesen verbunden sind.

Weitere Ausführungsform einer Metallverbindung unter Verwendung von Kupfer

[0064] Die [Fig. 4A–Fig. 4K](#) veranschaulichen eine neue Methodik zur Bildung von Metallverbindungen und/oder einer Verdrahtungsstruktur in einer inte-

grierten Schaltung gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung. Die neue Methodik umfasst die neue Bildung einer Sperr-/Haftschicht und einer Kristallschicht in einem integrierten Schaltkreis unter Verwendung von niedrigerenergetischer Ionenimplantation. Die neue Methodik umfasst auch ein neues Verfahren zur Herstellung von Kupfer-, Silber-, Aluminium- oder Goldverbindungen für einen integrierten Schaltkreis.

[0065] Die [Fig. 4A](#) veranschaulicht einen Teil einer integrierten Schaltkreisstruktur, nämlich einen integrierten Schaltkreis mit einer Reihe von Halbleitervorrichtungen, die in einem Substrat gebildet werden. [Fig. 4A](#) veranschaulicht die Struktur, nachdem eine Vorrichtungsstruktur in dem Substrat ausgebildet wurde und die Kontaktstruktur zu der Vorrichtungsstruktur vorhanden ist. Der Durchschnittsfachmann wird beim Lesen dieser Offenbarung die Art und Weise verstehen, wie eine Reihe von Halbleiterstrukturen, z. B. Transistoren, in einem Substrat gebildet werden kann. Der Durchschnittsfachmann wird auch beim Lesen der Offenbarung die Art und Weise verstehen, wie eine Kontaktstruktur hergestellt werden kann, welche mit einer gegebenen Halbleitervorrichtung in einem Substrat verbindet, wie auch in Verbindung mit [Fig. 1A](#) beschrieben. Beispielsweise veranschaulicht die [Fig. 4A](#) die Struktur, nachdem eine Reihe von Vorrichtungsstrukturen, z. B. die Transistoren **401A** und **401B** in dem Substrat **400** gebildet wurden. Eine Isolatorschicht **402** wird auf der Reihe von Halbleitern **401A** und **401B** abgeschieden. Die Abscheidung der Isolatorschicht **402** kann die Abscheidung einer Si_3N_4 -Schicht mit einer Dicke im Bereich von $1 \cdot 10^{-8}\text{m}$ bis $5 \cdot 10^{-8}\text{m}$ (100 bis 500 Angström (Å)) einschließen. Diese Isolatorschicht wird auch als zusätzliche Barriere gegen Verunreinigungen, die aus den nachfolgenden Verarbeitungsschritten stammen, dienen. Kontaktlöcher **405A** und **405B** werden in der Reihe von Vorrichtungsstrukturen **401A** und **401B** unter Verwendung einer Photolithographie-technik geöffnet. Der Durchschnittsfachmann wird beim Lesen dieser Offenbarung die Art und Weise verstehen, wie eine Photolithographie-technik verwendet werden kann, um die Kontaktlöcher **405A** und **405B** zu erzeugen. Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Titansilizid-Liner **406A** und **406B** in den Kontaktlöchern **405A** und **405B** platziert, wie etwa durch einen Prozess, wie z. B. chemische Dampfphasenabscheidung (CVD). Als nächstes können Wolfram-Durchkontakte **407A** und **407B** in den Kontaktlöchern **405A** und **405B** abgeschieden werden. Die Wolfram-Durchkontakte **407A** und **407B** können in den Kontaktlöchern unter Verwendung jeder geeigneten Technik, wie etwa die Verwendung eines CVD-Verfahrens, abgeschieden werden. Das überschüssige Wolfram wird anschließend von der Wafer-Oberfläche durch chemisch-mechanische Planarisierung (CMP) oder andere geeignete Verfahren zur Ausbildung einer planari-

sierten Oberfläche **409** entfernt.

[0066] Wie in [Fig. 4B](#) gezeigt, wird eine erste Polymerschicht **408**, oder erste Polyimidschicht **408**, auf der Waferoberfläche abgeschieden. Die erste Polymerschicht **408** kann unter Verwendung von beispielsweise dem Prozess und Material, wie im Patent US 6,284,656 B1 des gleichen Erfinders mit dem Titel "Copper Metallurgy in Integrated circuits", beschrieben, abgeschieden werden. Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Abscheiden einer ersten Polymerschicht **408** das Abscheiden einer geschäumten Polymerschicht **408**. In einer Ausführungsform wird die erste Polyimidschicht **408** abgeschieden und ausgehärtet, wobei eine nach dem Aushärten $5 \cdot 10^{-7}\text{m}$ (5000 Å) dicke Polymerschicht **408** erzeugt wird. Der Durchschnittsfachmann wird beim Lesen dieser Offenbarung verstehen, dass andere geeignete Dicken der ersten Schicht aus Polyimid **408** oder der Isolatorschicht/des Materials **408** auch abgeschieden werden kann, wie zur Ausbildung einer Ersten-Ebenen-Metallstruktur erforderlich, die Erfindung ist nicht darauf beschränkt. Die erste Polyimidschicht **408** oder erste Isolatorschicht/Material **408** wird strukturiert, um eine Reihe von Gräben **410** in der ersten Isolatorschicht **408** zu definieren, welche sich auf eine Reihe von Ersten-Ebenen-Durchkontakten, z. B. Wolfram-Durchkontakten **407A** und **407B**, in der planarisierten Oberfläche **409** öffnen. Mit anderen Worten, es wird eine Ersten-Ebenen-Metallstruktur **410** in einer Maskenschicht aus Photoresist **412** definiert und anschließend wird die erste Polyimidschicht **408** unter Verwendung jedes geeigneten Verfahrens, z. B. reaktives Ionenätzen (RIE), geätzt, so dass die Ersten-Ebenen-Metallstruktur **410** in dem Polyimid definiert wird. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung wird eine restliche Photoresistschicht **412** auf der ersten Isolatorschicht **408** in einer Reihe von Bereichen **413** außerhalb der Reihe von Gräben **410** belassen. Die Struktur sieht nun so aus wie in [Fig. 4B](#) gezeigt.

[0067] Wie in [Fig. 4C](#) gezeigt, wird eine erste Sperr-/Haftschicht **414** in der Reihe von Gräben **410** unter Verwendung einer niedrigerenergetischen Ionenimplantation abgeschieden. In einer Ausführungsform gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst die Abscheidung der Sperr-/Haftschicht **414** das Deponieren einer Schicht aus Zirkonium **214** mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-10}\text{m}$ bis $1 \cdot 10^{-8}\text{m}$ (5 bis 100 Å). In anderen Ausführungsformen umfasst das Abscheiden der Sperr-/Haftschicht **414** das Deponieren einer Sperr-/Haftschicht **414** aus Titan und/oder Hafnium. In einer Ausführungsform umfasst das Deponieren einer Zirkoniumschicht **414** das Abscheiden einer Schicht aus Zirkonium **414** mit einer Dicke von ungefähr $15 \cdot 10^{-10}\text{m}$ (15 Å). Dies kann unter Verwendung einer 10^{17} Ionen-Implantierung aus Zirkonium erreicht werden. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung wird die Zirkoniumschicht **414** mit 100 Elektronenvolt (eV) in die Oberfläche der Gräben **410**

in der Polymerschicht **408** unter Verwendung eines senkrecht zur Waferoberfläche stehenden Implantierungswinkels, wie durch die Pfeile **411** gezeigt, implantiert. Die Struktur ist nun so wie sie in [Fig. 4C](#) erscheint.

[0068] In [Fig. 4D](#) wird eine erste Kristallkeimschicht **416** auf der ersten Sperr-/Haftschicht **414** unter Verwendung einer niedrigerenergetischen Ionenimplantation abgeschieden. Gemäß den allgemeineren Lehren der vorliegenden Ausführungsform umfasst das Abscheiden der Kristallkeimschicht **416** auf der Sperr-/Haftschicht **414** das Abscheiden einer Kristallkeimschicht **416** ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Aluminium, Kupfer, Silber und Gold. Dies kann erreicht werden durch Verwendung einer 8×10^{16} Ionen-Implantierung von Kupfer. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst die Verwendung niedrigerenergetischer Ionenimplantation das Implantieren einer Kupferschicht **416** mit 100 Elektronenvolt (eV) in die Oberfläche der Gräben **410** in der Polymerschicht. Auch die Kupferschicht **416** wird mit einem Winkel senkrecht zur Waferoberfläche implantiert, wie durch die Pfeile **415** gezeigt. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, führt die Implantierung der Kupferschicht **416** mit senkrechtem Winkel auf die Waferoberfläche zu einer Kristallkeimschicht aus Kupfer **416**, die auf der Bodenfläche **418** in der Reihe von Gräben **410** verbleibt und in wesentlich geringerem Umfang auf den Seitenoberflächen **420** der Reihe von Gräben **410**. In einer Ausführungsform wird eine optionale Aluminiumschicht **421** auf die Kupferkristallkeimschicht **416** abgeschieden, wiederum durch Verwendung von niedrigerenergetischer Ionenimplantation bei 100 Elektronenvolt (eV). Die optionale Aluminiumschicht **421** wird so abgeschieden, dass sie eine Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-9}$ m (50 Å) aufweist. Dies kann durch Verwendung einer 3×10^{16} Ionen-Implantierung von Aluminium senkrecht auf die Waferoberfläche erreicht werden, wie durch die Pfeile **415** gezeigt. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, wird die Aluminiumschicht **421** verwendet, um die Kupferkristallkeimschicht **416** vor Oxidation vor den nachfolgenden Verarbeitungsschritten zu schützen. Die Struktur ist nun so wie in [Fig. 4D](#) gezeigt.

[0069] Die [Fig. 4E](#) zeigt die Struktur nach der nächsten Sequenz von Verarbeitungsschritten. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, dient die restliche Photoresistschicht **412** als Blockierungsschicht, um die Implantierungsflächen für die Sperr-/Haftschicht **414**, die Kristallkeimschicht **416** und die Aluminiumschicht **421** zu definieren. Die restliche Photoresistschicht **412** wird nun unter Verwendung eines Nassablöseverfahrens entfernt, was der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung wiederum verstehen wird. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung

umfasst das Entfernen der restlichen Photoresistschicht **412** das Entfernen der unerwünschten Aluminiumschicht **421**, der unerwünschten Kristallkeimschicht **416** und der unerwünschten Sperr-/Haftschicht **414** von den anderen Flächen der Waferoberfläche, z. B. von oberhalb einer Reihe von Bereichen **413** außerhalb der Gräben **410** auf einer obersten Fläche **419** der ersten Isolatorschicht **408**. Die Struktur ist nun so, wie in [Fig. 4E](#) gezeigt.

[0070] In [Fig. 4F](#) wird ein metallischer Leiter **420** oder eine Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **420** auf der ersten Kristallkeimschicht **416** in der Reihe von Gräben **410** deponiert. Gemäß den Lehren ist der metallische Leiter **420** oder die Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **420** aus der Gruppe bestehend aus Aluminium, Kupfer, Silber und Gold ausgewählt, abhängig von der Art der deponierten Kristallkeimschicht **416**. In dieser Ausführungsform wird der metallische Leiter **420** oder die Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **420** selektiv auf der Kupferkristallschicht **416** gebildet. In einer Ausführungsform wird der metallische Leiter **420** oder die Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **420** unter Verwendung eines selektiven CVD-Prozesses abgeschieden. In einer anderen Ausführungsform umfasst das Depositionieren eines metallischen Leiters **420** oder einer Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **420** auf der Kristallkeimschicht **416** das Abscheiden eines metallischen Leiters **220** unter Verwendung von stromlosem Plattieren. Stromloses Kupferplattieren wird verwendet, um ausreichend Kupfer abzuschneiden, um die Reihe von Gräben **410** bis zur obersten Fläche **419** der ersten Isolatorschicht aufzufüllen.

[0071] Wie in [Fig. 4G](#) gezeigt, kann die Prozesssequenz fortgeführt werden, um eine beliebige Reihe von nachfolgenden Metallschichten in einer vielschichtigen Verdrahtungsstruktur auszubilden. Die [Fig. 4G](#) veranschaulicht die Struktur nach der nächsten Sequenz von Prozessschritten. In [Fig. 4G](#) wird ein Dual-Damascene-Prozess verwendet, um eine erste auf eine zweite Ebene von Durchkontakten und eine zweite Metallurgieebene zu definieren und aufzufüllen. Um dies zu tun, wird eine zweite Polymerschicht **424** oder zweite Polyimidschicht **424** auf der Waferoberfläche deponiert, z. B. auf dem metallischen Leiter **420** oder der Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **420** und der ersten Polymerschicht **408**. Die zweite Polymerschicht **424** kann auf ähnliche Weise deponiert werden unter Verwendung beispielsweise des Prozesses und des Materials wie im US-Patent US 6,24,656 B1 des gleichen Anmelders beschrieben mit dem Titel "Copper Metallurgy in Integrated circuits". In einer Ausführungsform umfasst das Abscheiden einer zweiten Polymerschicht **424** das Abscheiden einer geschäumten zweiten Polymerschicht **424**. In einer Ausführungsform wird die zweite Polymerschicht **424** deponiert und ausgehärtet, wobei nach dem Aushärten eine $1 \cdot 10^{-6}$ m (10.000

Ä) dicke zweite Polymerschicht **424** gebildet wird. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, können andere geeignete Dicken der zweiten Polymerschicht **424** oder der zweiten Isolatorschicht/des Materials **424** auch deponiert werden, je nach Eignung für das Ausbilden einer ersten zu einer zweiten Ebene von Durchkontakten, d. h. Zweitebenen-Durchkontakten, sowie eine Reihe von Zweitebenen-Metalleitungen, die Erfindung ist nicht darauf beschränkt. Die zweite Polymerschicht **424** oder zweite Isolatorschicht/Material **424** ist strukturiert, um eine zweite Ebene von Durchkontakten und eine Reihe von Zweitebenen-Metalleitungen in dem zweiten Isolatorschicht/Material **424** zu definieren und auf den metallischen Leiter **420** oder die Reihe von Erstebenen-Metalleitungen **420** zu öffnen. Mit anderen Worten, es wird eine zweite Ebene von Durchkontakten in einer zweiten Maskenschicht aus Photolack **426** definiert und anschließend wird die zweite Polymerschicht **424** unter Verwendung jedes geeigneten Prozesses, z. B. reaktives Ionenätzen (RIE), geätzt, so dass eine zweite Ebene von Durchkontaktöffnungen **428** in dem Polyimid definiert wird. Unter Verwendung des Dual-Damascene-Prozesses wird eine Reihe von Zweitebenen-Metalleitungen auch in einer zweiten Maskenschicht aus Photolack **426** definiert und die zweite Polymerschicht **424** wird wiederum unter Verwendung eines geeigneten Verfahrens, z. B. reaktives Ionenätzen (RIE) geätzt, so dass eine zweite Ebene von Metallleitungsgräben **430** in dem Polyimid definiert wird. Der Durchschnittsfachmann wird beim Lesen dieser Offenbarung die Art und Weise verstehen wie eine Photolackschicht **426** unter Verwendung eines Dual-Damascene-Prozesses Maske sein kann, exponiert und entwickelt werden kann, um eine zweite Ebene von Durchkontaktöffnungen **428** und eine zweite Ebene von Metallleitungsgräben **430** in dem zweiten Isolatorschicht/Material **424** zu strukturieren.

[0072] Wie vorher beschrieben, und gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung, wird eine restliche Photolackschicht **426** vor Ort auf der zweiten Isolatorschicht/Material **424** in einer Reihe von Bereichen **432** außerhalb der zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **430** belassen. Ein geeignetes Plasma- und/oder Nassreinigungsverfahren wird verwendet, um jedwede Verunreinigungen aus den Zweitebenen-Durchkontaktöffnungen **428** und einer zweiten Ebenen von Metallleitungsgräben **430** zu entfernen, was der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung wiederum verstehen wird. Die Struktur ist nun so, wie sie in [Fig. 4G](#) auftritt.

[0073] [Fig. 4H](#) veranschaulicht die Struktur nach der nächsten Sequenz von Verarbeitungsschritten. In [Fig. 4H](#) wird eine zweite Sperr-/Haftschicht **434** auf der zweiten Ebene von Durchkontaktöffnungen **428** und einer zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **430** unter Verwendung von niedrigenergetischer Ionenim-

plantation deponiert. Wie oben beschrieben umfasst in einer Ausführungsform gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung das Deponieren der zweiten Sperr-/Haftschicht **434** das Abscheiden einer Zirkoniumschiicht **434** mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-10}$ m bis $1 \cdot 10^{-8}$ m (5 bis 100 Å). In anderen Ausführungsformen umfasst das Deponieren der zweiten Sperr-/Haftschicht **434** das Abscheiden einer Sperr-/Haftschicht **434** aus Titan und/oder Hafnium. In einer Ausführungsform umfasst das Deponieren der Zirkoniumschiicht **434** eine Schicht aus Zirkonium **434** mit einer Dicke von ungefähr $15 \cdot 10^{-10}$ m (15 Å). In einer Ausführungsform wird dies durch Verwendung einer 10^{17} Ionen-Implantierung von Zirkonium erzielt. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung wird die Zirkoniumschiicht **434** bei 100 Elektronenvolt (eV) auf die Oberfläche der zweiten Ebene von Durchkontaktöffnungen **428** und einer zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **430** in der zweiten Polymerschicht **424** unter Verwendung Winkels senkrecht zur Waferoberfläche, wie durch die Pfeile **425** gezeigt, implantiert. Die Struktur ist nun so wie sie in [Fig. 4H](#) erscheint.

[0074] Die [Fig. 4I](#) veranschaulicht die Struktur nach der nächsten Sequenz von Verarbeitungsschritten. In [Fig. 4I](#) wird eine zweite Kristallkeimschicht **436** auf der zweiten Sperr-/Haftschicht **434** unter Verwendung niedrigenergetischer Ionenimplantation deponiert. Gemäß der allgemeinen Lehre der vorliegenden Erfindung umfasst das Deponieren der zweiten Kristallkeimschicht **436** auf der zweiten Sperr-/Haftschicht **434** das Abscheiden einer zweiten Kristallkeimschicht **436** ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Aluminium, Kupfer, Silber und Gold. Gemäß den Lehren der vorliegenden Ausführungsform umfasst das Abscheiden der zweiten Kristallkeimschicht **436** jedoch das Deponieren einer zweiten Kupferschicht **436** mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-9}$ m (50 Å). In einer Ausführungsform wird dies unter Verwendung einer 8×10^{16} Ionen-Implantierung von Kupfer erreicht. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst die Verwendung einer niedrigenergetischen Ionenimplantation die Implantierung der Kupferschicht **436** bei 100 Elektronenvolt (eV) in die zweite Ebene von Durchkontaktöffnungen **428** und die zweite Ebene von Metallleitungsgräben **430** in der Polymerschicht. Auch die Kupferschicht **436** wird mit einem Winkel senkrecht zur Waferoberfläche, wie durch die Pfeile **437** gezeigt, implantiert. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, führt das Implantieren der Kupferschicht **436** mit senkrechtem Winkel auf die Waferoberfläche zu einer zweiten Kristallkeimschicht aus Kupfer **436**, welche auf der Bodenoberfläche **438** in den Zweitebenen-Durchkontaktöffnungen **428** und der zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **430** verbleibt, und in einem wesentlich geringerem Umfang auf die Seitenoberflächen **440** der zweiten Ebene von Durchkontaktöffnungen **428**

und einer zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **430**. In einer Ausführungsform wird eine optionale Aluminiumschicht **441** auf die zweite Kupferkristallkeimschicht **436** abgeschieden, wiederum unter Verwendung von niedrigerenergetischer Ionenimplantation bei 100 Elektronenvolt (eV). Die optionale Aluminiumschicht wird abgeschieden, um eine Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-9} \text{m}$ (50 Å) aufzuweisen. Gemäß einer Ausführungsform wird dies durch Verwendung einer 3×10^{16} Ionen-Implantierung von Aluminium senkrecht auf die Waferoberfläche erreicht. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, wird die Aluminiumschicht **441** verwendet, um die zweite Kupferkristallkeimschicht **436** vor Oxidation vor den nachfolgenden Verarbeitungsschritten zu schützen. Die Struktur ist nun so wie sie in [Fig. 4I](#) erscheint.

[0075] Die [Fig. 4J](#) veranschaulicht die Struktur nach der nächsten Sequenz von Verarbeitungsschritten. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, dient die restliche Photolackschicht **426** als Blockierungsschicht, um die Implantierungsflächen für die zweite Sperr-/Haftschicht **434**, die zweite Kristallkeimschicht **436** und die Aluminiumschicht **441** zu definieren. Die restliche Photoresistschicht **426** wird nun unter Verwendung eines Nassablöseverfahrens entfernt, was der Durchschnittsfachmann beim Lesen der Offenbarung wiederum verstehen wird. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung umfasst die Entfernung der restlichen Photolackschicht **426** die Entfernung der unerwünschten Aluminiumschicht **441**, der unerwünschten Kristallkeimschicht **436** und der unerwünschten Sperr-/Haftschicht **434** von anderen Flächen der Waferoberfläche, z. B. von einer Reihe von Bereichen **432** außerhalb der zweiten Ebene von Metallliniengräben **430** auf einer oberen Fläche **442** und der zweiten Isolatorschicht **424**. Die Struktur ist nun so wie in [Fig. 4J](#) gezeigt.

[0076] In [Fig. 4K](#) wird ein zweiter metallischer Leiter **444** oder einer zweiter Kernleiter **444** darauf abgeschieden oder auf der zweiten Kristallkeimschicht **436** und innerhalb der zweiten Sperr-/Haftschicht **434** in den zweiten Ebenen von Durchkontaktöffnungen **428** und der zweiten Ebene von Metallleitungsgräben **430** in der Polymerschicht ausgebildet. In dieser Ausführungsform ist der zweite metallische Leiter **444** oder der zweite Kernleiter **444** aus Kupfer, kann jedoch in anderen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung aus der Gruppe bestehend aus Aluminium, Silber und Gold ausgewählt sein. In einer Ausführungsform wird der zweite metallische Leiter **444** oder zweite Kernleiter **444** unter Verwendung eines selektiven CVD-Prozesses deponiert. In einer anderen Ausführungsform umfasst das Deponieren eines zweiten metallischen Leiters **444** oder zweiten Kernleiters **444** auf der zweiten Kristallkeimschicht **436** und innerhalb der zweiten Sperr-/Haftschicht **434** das

Abscheiden eines zweiten metallischen Leiters **444** oder zweiten Kernleiters **444** unter Verwendung stromloser Plattierung. Stromlose Kupferplattierung wird verwendet, um ausreichend Kupfer zu abscheiden, um die zweite Ebene von Durchkontaktöffnungen **428** und die zweite Ebene von Metallleitungsgräben **430** auf die zweite Oberfläche **442** der zweiten Isolatorschicht **424** aufzufüllen. Daher bilden die zweite Sperr-/Haftschicht **434**, die zweite Kristallkeimschicht **436** und der zweite metallische Leiter **444** oder zweiter Kernleiter **444** eine zweite Reihe von leitfähigen Strukturen, welche eine Reihe von Zweitebenen-Durchkontakten und eine Reihe von Zweitebenen-Metallleitungen umfassen, die auf einer ersten Reihe von leitfähigen Strukturen, z. B. der Erstebenen-Metallleitungen **420** oder der Reihe von Erstebenen-Metallleitungen **420** gebildet und mit diesen verbunden sind.

[0077] Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, können die oben beschriebenen Verfahrensausführungsformen wiederholt werden, bis die benötigte Anzahl von Metallschichten hergestellt ist.

[0078] Die [Fig. 4L](#) veranschaulicht die Struktur nach der letzten Sequenz von Verarbeitungsschritten. Bei der Vollendung der letzten Metallebene wird die gesamte Polymerstruktur, z. B. die erste Polymerschicht **408** und die zweite Polymerschicht **424** unter Verwendung einer O_2 -Plasmaätzung entfernt. Die Struktur ist nun so, wie sie in [Fig. 4L](#) erscheint.

[0079] [Fig. 5](#) ist eine Veranschaulichung einer Ausführungsform eines integrierten Schaltkreises hergestellt nach den Lehren der vorliegenden Erfindung. Wie in [Fig. 5](#) gezeigt, umfasst der integrierte Schaltkreis eine Metallschicht in einem integrierten Schaltkreis. Die Metallschicht umfasst eine Reihe von Erstebenen-Durchkontakten **507A** und **507B**, elektrisch verbunden mit einer Reihe von Siliziumvorrichtungen **501A** und **501B** in einem Substrat **500**. Eine Reihe von Erstebenen-Metallleitungen **520** ist darauf ausgebildet und mit der Reihe von Erstebenen-Durchkontakten **507A** und **507B** verbunden. Eine Sperr-/Haftschicht **518** mit einer Dicke im Bereich von $5 \cdot 10^{-10} \text{m}$ bis $15 \cdot 10^{-9} \text{m}$ (5 bis 150 Angström) ist auf der Reihe von Erstebenen-Metallleitungen **520** gebildet. Eine Kristallkeimschicht **516** mit einer Dicke im Bereich von $5 \cdot 10^{-10} \text{m}$ bis $15 \cdot 10^{-9} \text{m}$ (5 bis 150 Angström) ist zumindest zwischen einem Teil der Sperr-/Haftschicht **518** und der Reihe von Erstebenen-Metallleitungen **520** ausgebildet. Wie oben beschrieben, umfasst die Sperr-/Haftschicht **518** mit einer Dicke im Bereich von $5 \cdot 10^{-10} \text{m}$ bis $15 \cdot 10^{-9} \text{m}$ (5 bis 150 Angström) eine Sperr-/Haftschicht ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Titan, Zirkonium und Hafnium. In einer Ausführungsform, wie in [Fig. 5](#) gezeigt, sind die Reihe von Erstebenen-Durchkontakten **507A** und **507B**, verbunden mit einer Reihe von Sili-

ziumvorrichtungen **501A** und **501B**, im Substrat **500** von einer Isolatorschicht umgeben.

[0080] Wie oben beschrieben umfasst die Reihe von Ersteinbenen-Metalleitungen **520** eine Reihe von Ersteinbenen-Metalleitungen **520**, die ausgewählt sind aus der Gruppe bestehend aus Aluminium, Kupfer, Silber und Gold. In einer Ausführungsform umfasst der integrierte Schaltkreis **503** einen Teil eines integrierten Speicherschaltkreises **503**. In dieser Ausführungsform umfasst die Reihe von Siliziumvorrichtungen **501A** und **501B** einen oder mehrere Transistoren **501A** und **501B** in dem Substrat **500**.

[0081] Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, kann jede der Ausführungsformen wie in den [Fig. 1K](#), [Fig. 2K](#), [Fig. 3K](#) und/oder [Fig. 4L](#) gezeigt einen Teil eines integrierten Schaltkreises gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung umfassen.

[0082] Die [Fig. 6](#) veranschaulicht eine Ausführungsform eines System **600** umfassend einen Teil eines integrierten Schaltkreises gebildet nach einer der Ausführungsformen, die in der vorliegenden Anmeldung beschrieben sind. Wie der Durchschnittsfachmann beim Lesen dieser Offenbarung verstehen wird, umfasst dieses System **600** einen Prozessor **610** und einen integrierten Schaltkreis oder einen integrierten Speicherschaltkreis **630**, der mit dem Prozessor **610** gekoppelt ist. Der Prozessor **610** kann über jeden geeigneten Bus mit dem integrierten Speicherschaltkreis **630** gekoppelt werden, wie dem Durchschnittsfachmann bekannt ist und wie das auch von ihm verstanden wird. In der Ausführungsform sind der Prozessor **610** und der integrierte Schaltkreis **630** auf einem einzelnen Wafer oder Chip platziert. Wiederum umfasst mindestens ein Teil des integrierten Schaltkreises **630** einen Teil eines integrierten Schaltkreises **630** wie in den diversen hier angegebenen Ausführungsformen offenbart.

Schlussfolgerung

[0083] Strukturen und Verfahren wurden zur Verfügung gestellt, welche die Eigenschaften integrierter Schaltkreise gemäß kleiner werdenden Entwurfsregeln verbessern. Die Strukturen und Verfahren umfassen eine Diffusionsbarriere und eine Kristallkeimschicht in einem integrierten Schaltkreis, die beide unter Verwendung niedrigerenergetischer Ionenimplantation gefolgt von einer selektiven Abscheidung von Metalleitungen des integrierten Schaltkreises hergestellt werden. Gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung vermeidet diese selektive Abscheidung der Metalleitungen den Bedarf für mehrfache chemisch-mechanische Planarisierungsschritte (CMP). Die niedrigerenergetische Ionenimplantation der vorliegenden Erfindung ermöglicht die genaue Platzierung sowohl der Diffusionsbarriere als auch

der Kristallkeimschicht. Ein restlicher Photolack kann verwendet werden, um die Diffusionsbarriere und die Kristallkeimschicht von unerwünschten Flächen auf einer Waferoberfläche zu entfernen. Die durch die beschriebenen neuen Prozesse hergestellten Strukturen verwenden Aluminium-, Kupfer-, Gold- und Silber-Metallverbindungen.

[0084] Obwohl spezifische Ausführungsformen vorliegend veranschaulicht und beschrieben wurden, wird von den Durchschnittsfachleuten anerkannt werden, dass jede Anordnung, die darauf abzielt, die gleichen Zwecke zu erzielen, die spezifischen gezeigten Ausführungsformen ersetzen kann. Diese Anmeldung ist dazu gedacht, jede Anpassung oder Variation der vorliegenden Erfindung abzudecken. Es sollte klar sein, dass die obige Beschreibung veranschaulichend und nicht beschränkend gedacht ist. Der Umfang der Erfindung umfasst beliebige andere Anwendungen, in welchen die obigen Strukturen und Herstellungsverfahren verwendet werden. Der Umfang der Erfindung sollte mit Bezug auf die beigefügten Ansprüche zusammen mit dem vollständigen Umfang von Äquivalenten zu dem, auf was die Ansprüche sich beziehen, bestimmt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Sperr-/Haftschicht (**114**) und einer Kristallkeimschicht (**116**) in einer integrierten Schaltkreisanordnung, umfassend: Strukturieren einer Isolatorschicht (**108**) auf einer planarisierten Oberfläche (**109**), um eine Reihe von Gräben (**110**) in der Isolatorschicht zu definieren, welche auf eine Reihe von Ersteinbenen-Durchkontakten (**107A**, **107B**) in der planarisierten Oberfläche öffnen; Deponieren der Sperr-/Haftschicht (**114**) in der Reihe von Gräben (**110**) unter Verwendung von 100- bis 800-Elektronenvolt niedrigerenergetischer Ionenimplantation; und Deponieren der Kristallkeimschicht (**116**) auf der Sperr-/Haftschicht (**114**) in der Reihe von Gräben (**110**) unter Verwendung einer 100- bis 800-Elektronenvolt niedrigerenergetischen Ionenimplantation.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Strukturieren der Isolatorschicht (**108**) das Strukturieren eines Polyimids umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Deponieren der Sperr-/Haftschicht (**114**) das Abscheiden der Sperr-/Haftschicht (**114**) ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Tantalnitrid, Titan, Zirkonium und Hafnium umfasst.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei das Deponieren der Sperr-/Haftschicht (**114**) das Deponieren der Sperr-/Haftschicht (**114**) mit einer Dicke im Bereich von $5 \cdot 10^{-19}$ m bis $1 \cdot 10^{-8}$ m umfasst.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Verfahren ferner das Abscheiden eines metallischen Leiters (120) auf der Kristallkeimschicht (116) in der Reihe von Gräben (110) umfasst, wobei der metallische Leiter (120) aus der Gruppe bestehend aus Aluminium, Kupfer, Silber und Gold ausgewählt ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das Abscheiden des metallischen Leiters (120) auf der Kristallkeimschicht (116) das Abscheiden des metallischen Leiters (120) unter Verwendung von stromloser Plattierung umfasst.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Depo- nieren der Kristallkeimschicht (116) auf der Sperr-/Haftschicht (114) das Abscheiden der Kristall- keimschicht (116) ausgewählt aus der Gruppe beste- hend aus Aluminium, Kupfer, Silber und Gold um- fasst.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Struk- turieren der Isolatorschicht (108) das Ätzen der Isola- torschicht (108) unter Verwendung einer Masken- schicht aus Photoresist (112) umfasst.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei das Ätzen der Isolatorschicht (108) unter Verwendung der Mas- kenschicht aus Photoresist (112) ferner umfasst: Zurücklassen einer restlichen Photoresistschicht auf der Isolatorschicht (108) in einer Reihe von Berei- chen (113) außerhalb der Reihe von Gräben (110); und Entfernen der Sperr-/Haftschicht (114) und der Kristallkeimschicht (116) von der Reihe von Bereichen (113) außerhalb der Reihe von Gräben (110) unter Verwendung einer Photoresist-Ablösung; und Abscheidung eines metallischen Leiters (120) auf der Kristallkeimschicht (116) in der Reihe von Gräben (110).

10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Depo- nieren der Sperr-/Haftschicht (114) in der Reihe von Gräben (110) das Abscheiden der Sperr-/Haftschicht (114) aus Zirkonium unter Verwendung von niedrige- nergetischer Ionenimplantation von ungefähr 100 Elektronenvolt und der Verwendung einer Implantie- rung mit variierendem Winkel (α) umfasst, wobei der Implantierungswinkel (α) von senkrecht zur planari- sierten Oberfläche (109) bis ungefähr 15 Grad abwei- chend von Senkrecht variiert wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei das Ab- scheiden der Sperr-/Haftschicht (114) aus Zirkonium das Abscheiden der Sperr-/Haftschicht (114) aus Zir- konium mit einer Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-9}$ m um- fasst.

12. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Struk- turieren der Isolatorschicht (108) das Abscheiden ei- ner Oxidschicht und das Ätzen der Oxidschicht unter

Verwendung einer Maskenschicht aus Photoresist (112) umfasst.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei das Ab- scheiden der Oxidschicht das Abscheiden eines fluo- rierten Siliziumoxides umfasst.

14. Ein integrierter Speicherschaltkreis, umfas- send: ein Substrat (100) umfassend einen oder mehrere Transistoren (101A, 101B); eine Isolatorschicht (102), welche das Substrat (100) bedeckt und einen oder mehrere Ersteinen-Durchkontakte (107A, 107B) aufweist, die mit dem einen oder den mehre- ren Transistoren (101A, 101B) in dem Substrat (100) verbinden; und eine die Isolatorschicht (102) bedec- kende Polyimidschicht (108) umfassend eine oder mehrere leitfähige Strukturen, die auf den einen oder mehreren Ersteinen-Durchkontakten (107A, 107B) gebildet sind und damit verbinden, wobei jede der ei- nen oder mehreren leitfähigen Strukturen umfasst: Eine Reihe von Ersteinen-Metalleitungen (120); eine Sperr-/Haftschicht (114) mit einer Dicke im Be- reich von $5 \cdot 10^{-10}$ m bis $1,5 \cdot 10^{-8}$ m, gebildet auf dem ei- nen oder den mehreren Ersteinen-Durchkontakten (107A, 107B), wobei die Sperr-/Haftschicht (114) mit- tels 100- bis 800-Elektronenvolt niedrigerenergetischer Ionenimplantation ausgebildet wird; und eine Kristall- keimschicht (116) mit einer Dicke im Bereich von $5 \cdot 10^{-10}$ m bis $1,5 \cdot 10^{-8}$ m, gebildet mindestens zwis- chen einem Teil der Sperr-/Haftschicht (114) und der Reihe von Ersteinen-Metalleitungen (120), wobei die Kristallkeimschicht (116) mittels 100- bis 800-Elektronenvolt niedrigerenergetischer Ionenimp- lantation ausgebildet wird.

15. Der integrierte Speicherschaltkreis nach An- spruch 14, wobei die Sperr-/Haftschicht (114) aus der Gruppe bestehend aus Tantalnitrid, Titan, Zirkonium und Hafnium ausgewählt ist.

16. Der integrierte Speicherschaltkreis nach An- spruch 15, wobei der eine oder die mehreren Erste- benen-Durchkontakte (107A, 107B), die mit dem ei- nen oder den mehreren Transistoren (101A, 101B) in dem Substrat (100) verbinden, von der Isolator- schicht (102) umgeben sind.

17. Der integrierte Speicherschaltkreis nach An- spruch 14, wobei die Sperr-/Haftschicht (114), die auf der Reihe von Ersteinen-Metalleitungen (120) ge- bildet wird, durch eine Polyimid-Isolatorschicht (108) umgeben ist.

18. Der integrierte Speicherschaltkreis nach An- spruch 14, wobei die Reihe von Ersteinen-Metall- leitungen (120) aus der Gruppe bestehend aus Alu- minium, Kupfer, Silber und Gold ausgewählt ist.

19. Der integrierte Speicherschaltkreis nach An-

spruch 14, wobei die Kristallkeimschicht (**116**) eine Kupferkristallkeimschicht umfasst, und die Reihe von Erstabeneu-Metalleitungen (**120**) eine Reihe von Kupfer-Metalleitungen umfasst.

20. Der integrierte Speicherschaltkreis nach Anspruch 14, wobei jede der einen oder mehreren leitfähigen Strukturen umfasst:

Eine Schicht aus Titan oder Zirkonium (**214**) als Sperr-/Haftschicht, die eine Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-9}$ m aufweist;

eine erste Schicht aus Aluminium (**281**) als untere Schicht der Kristallkeimschicht (**216**) auf der Schicht von Titan oder Zirkonium (**214**), die eine Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-9}$ m aufweist;

eine Schicht aus Kupfer (**282**) als mittlere Schicht der Kristallkeimschicht (**216**) auf der ersten Schicht von Aluminium (**281**), die eine Dicke von ungefähr $1 \cdot 10^{-9}$ m aufweist;

und

eine zweite Schicht von Aluminium (**283**) als obere Schicht der Kristallkeimschicht (**216**) auf der Schicht von Kupfer (**282**), die eine Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-9}$ m aufweist.

21. Der integrierte Speicherschaltkreis nach Anspruch 14, wobei jede der ein oder mehreren leitfähigen Strukturen umfasst:

Eine Schicht aus Tantal (**381**) als untere Schicht der Sperr-/Haftschicht (**314**), die eine Dicke von ungefähr $1 \cdot 10^{-8}$ m aufweist;

eine Schicht aus Stickstoff (**382**) als obere Schicht der Sperr-/Haftschicht (**314**) auf der Schicht aus Tantal (**381**);

eine Schicht aus Kupfer (**316**) als Kristallkeimschicht auf der Schicht aus Stickstoff (**382**), die eine Dicke von ungefähr $5 \cdot 10^{-9}$ m aufweist; und

eine Kupfermetalleitung (**320**) als Erstabeneu-Metalleitung, gebildet auf der Kristallkeimschicht aus Kupfer (**316**).

22. Der integrierte Speicherschaltkreis nach Anspruch 21, wobei jede leitfähige Struktur ferner eine Schicht aus Tantalnitrid (**323**) umfasst, die die oberste Oberfläche jeder leitfähigen Struktur bildet.

Es folgen 47 Blatt Zeichnungen

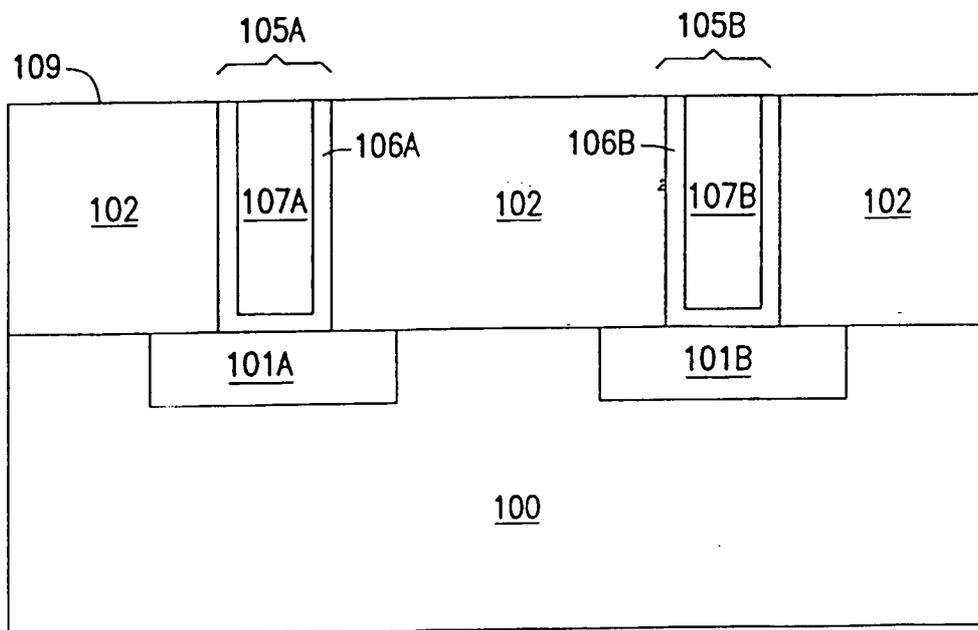


FIG. 1A

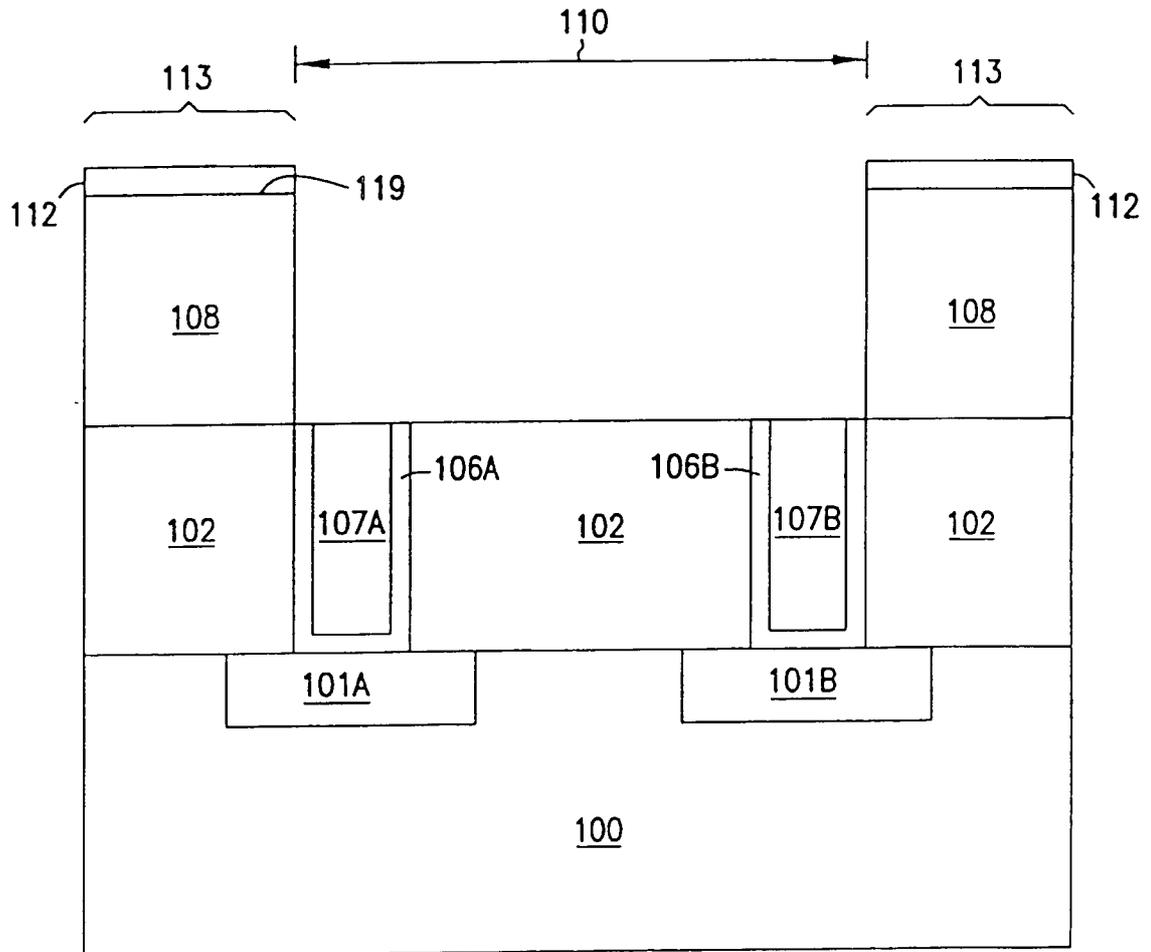


FIG. 1B

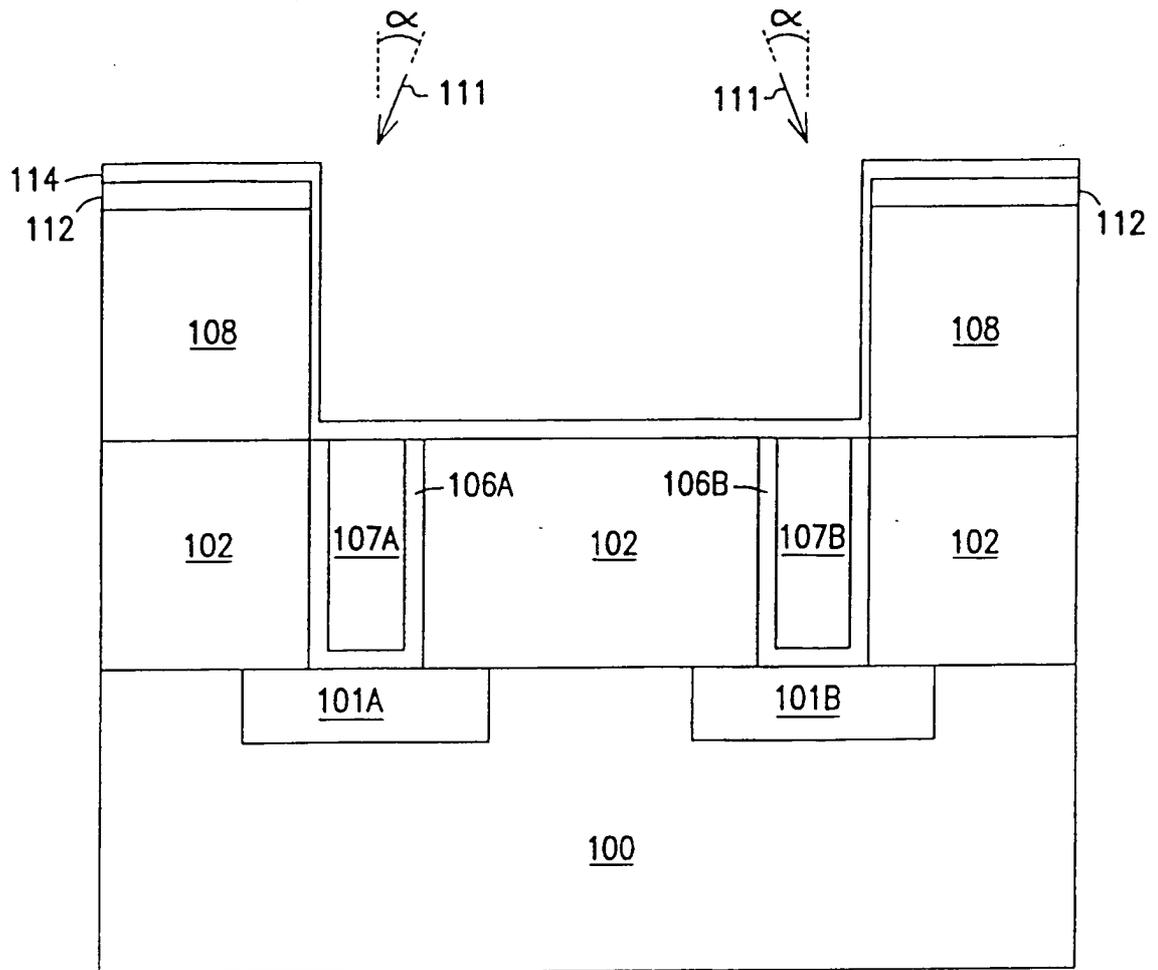


FIG. 1C

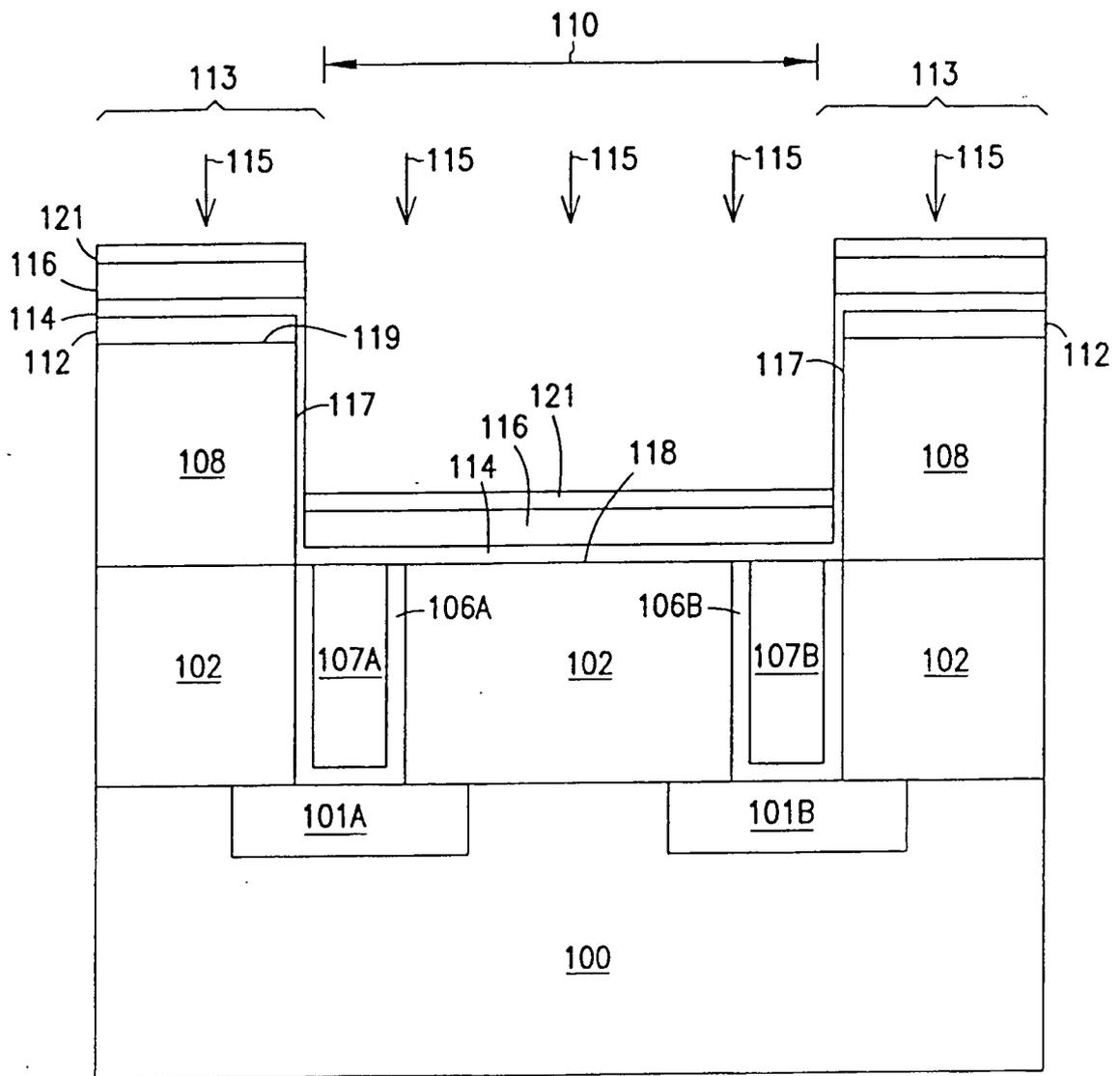


FIG. 1D

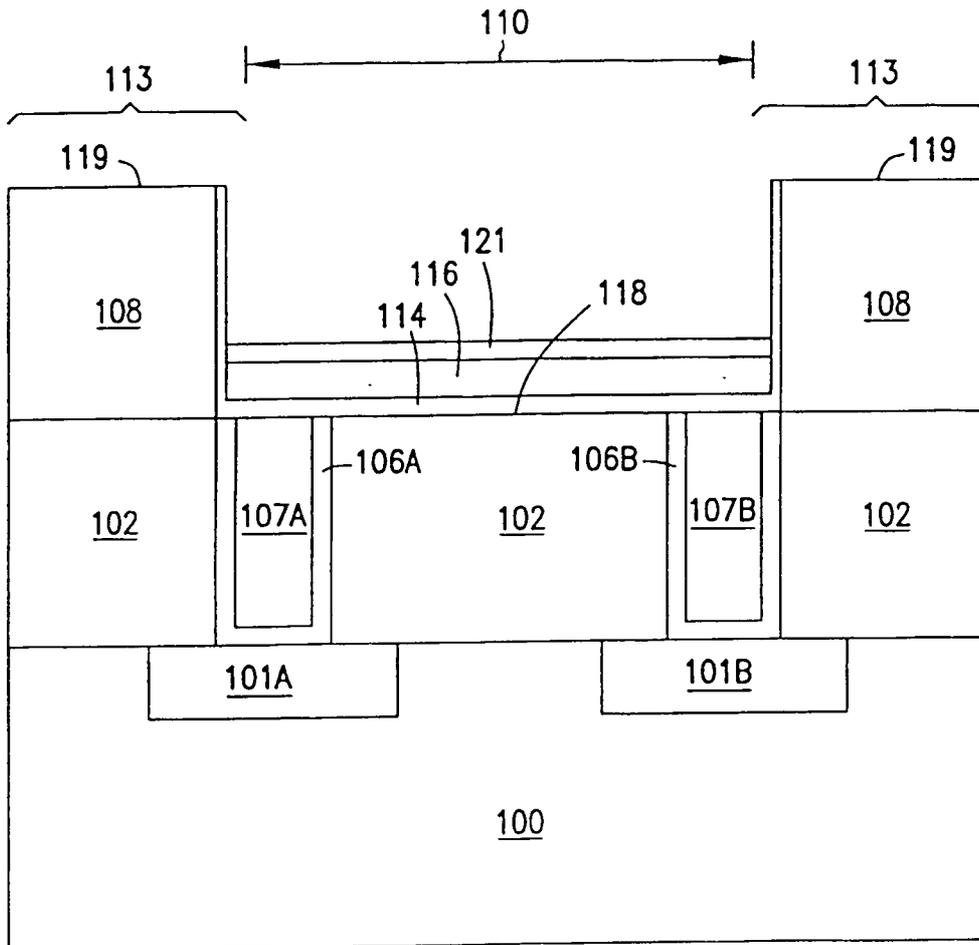


FIG. 1E

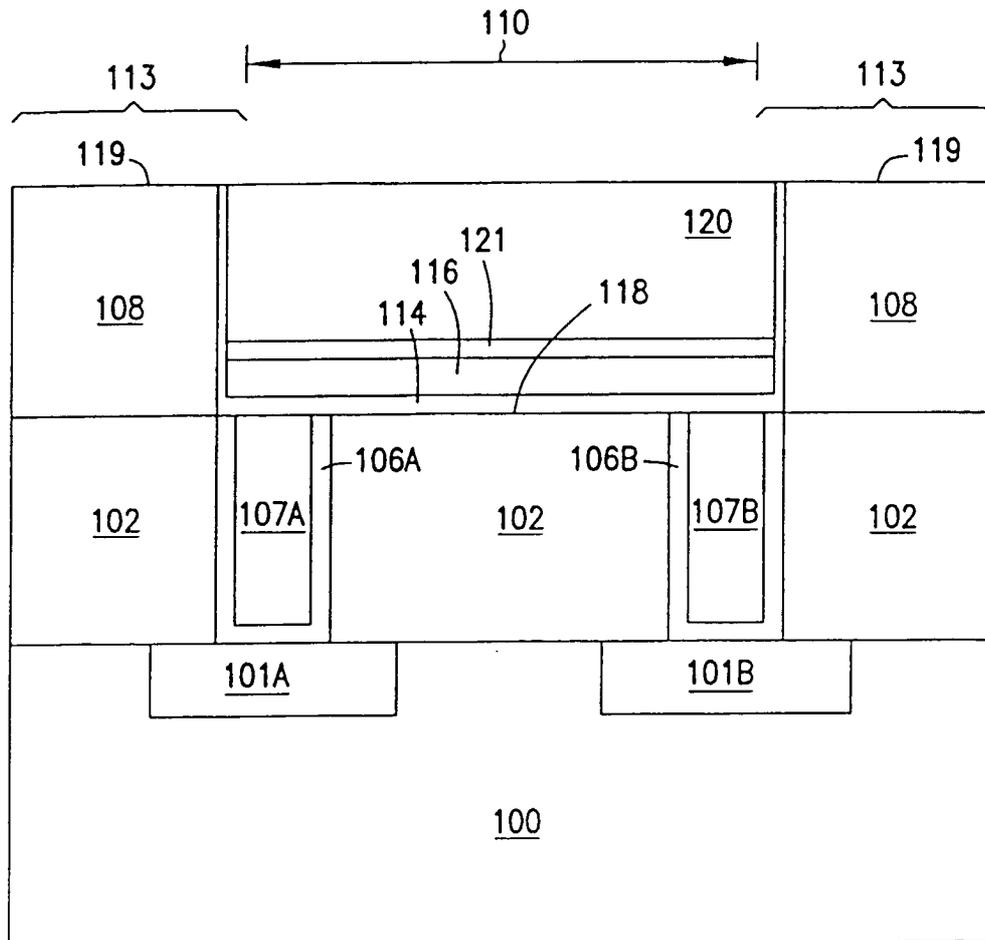


FIG. 1F

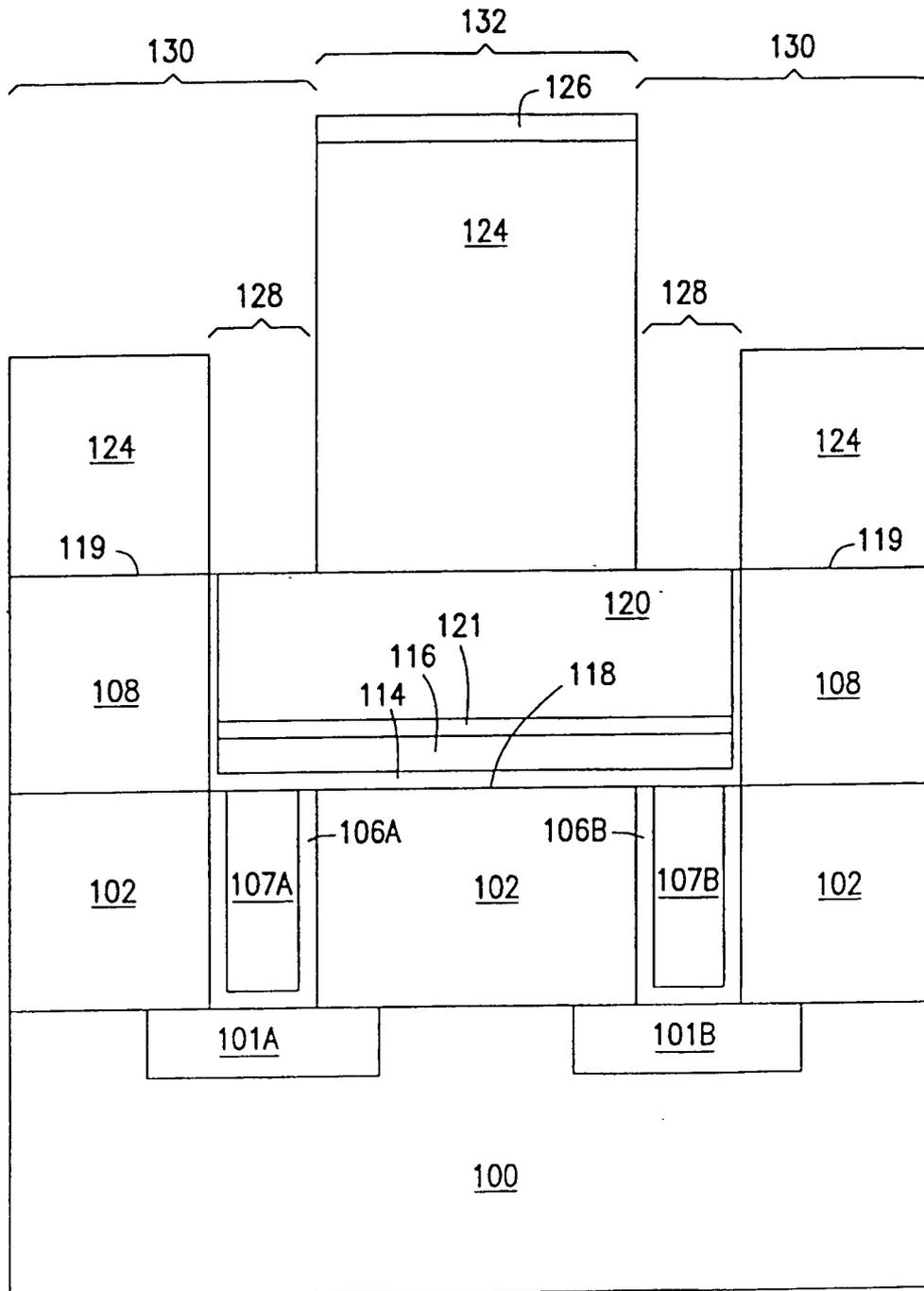


FIG. 1G

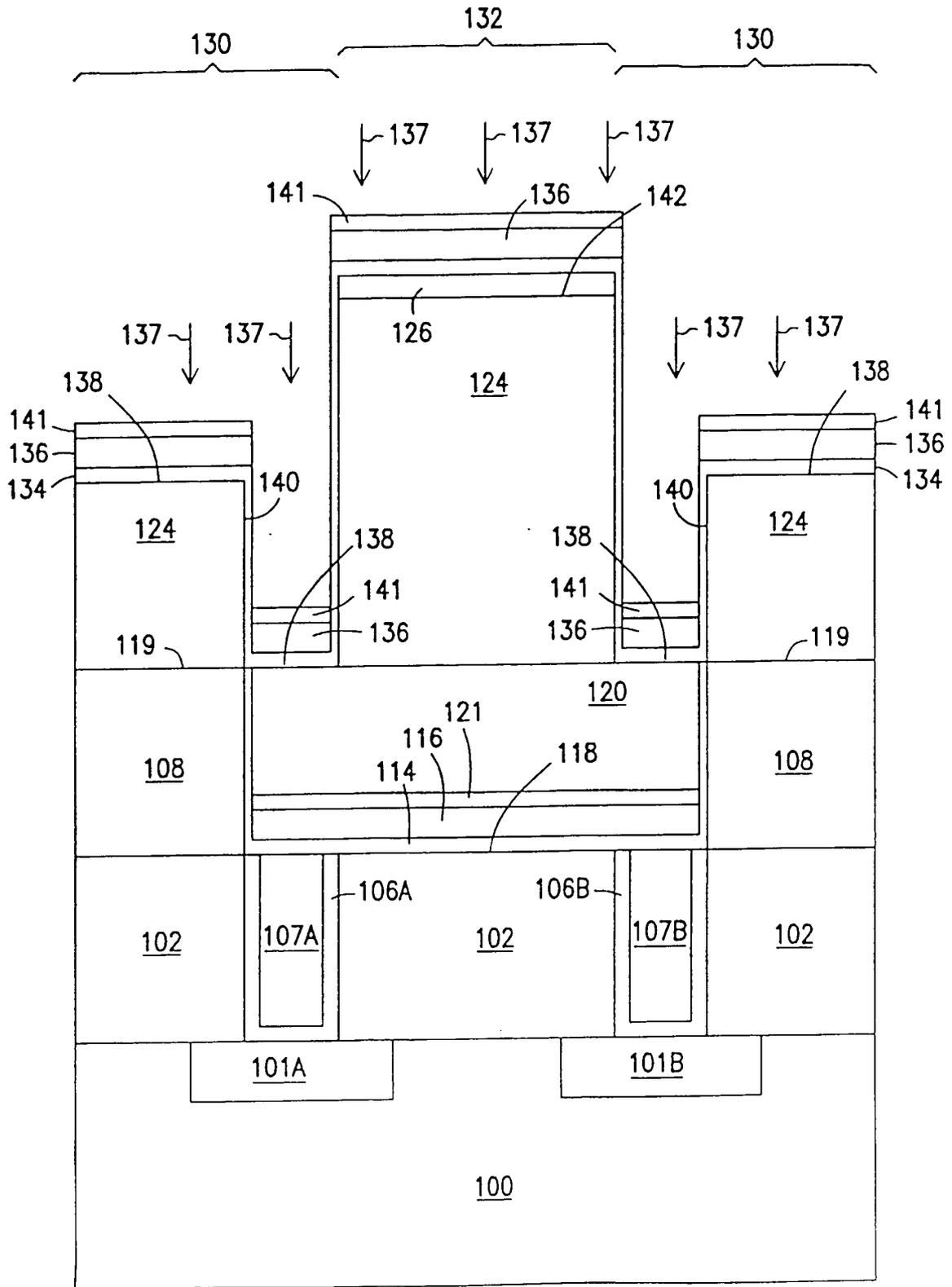


FIG. 11

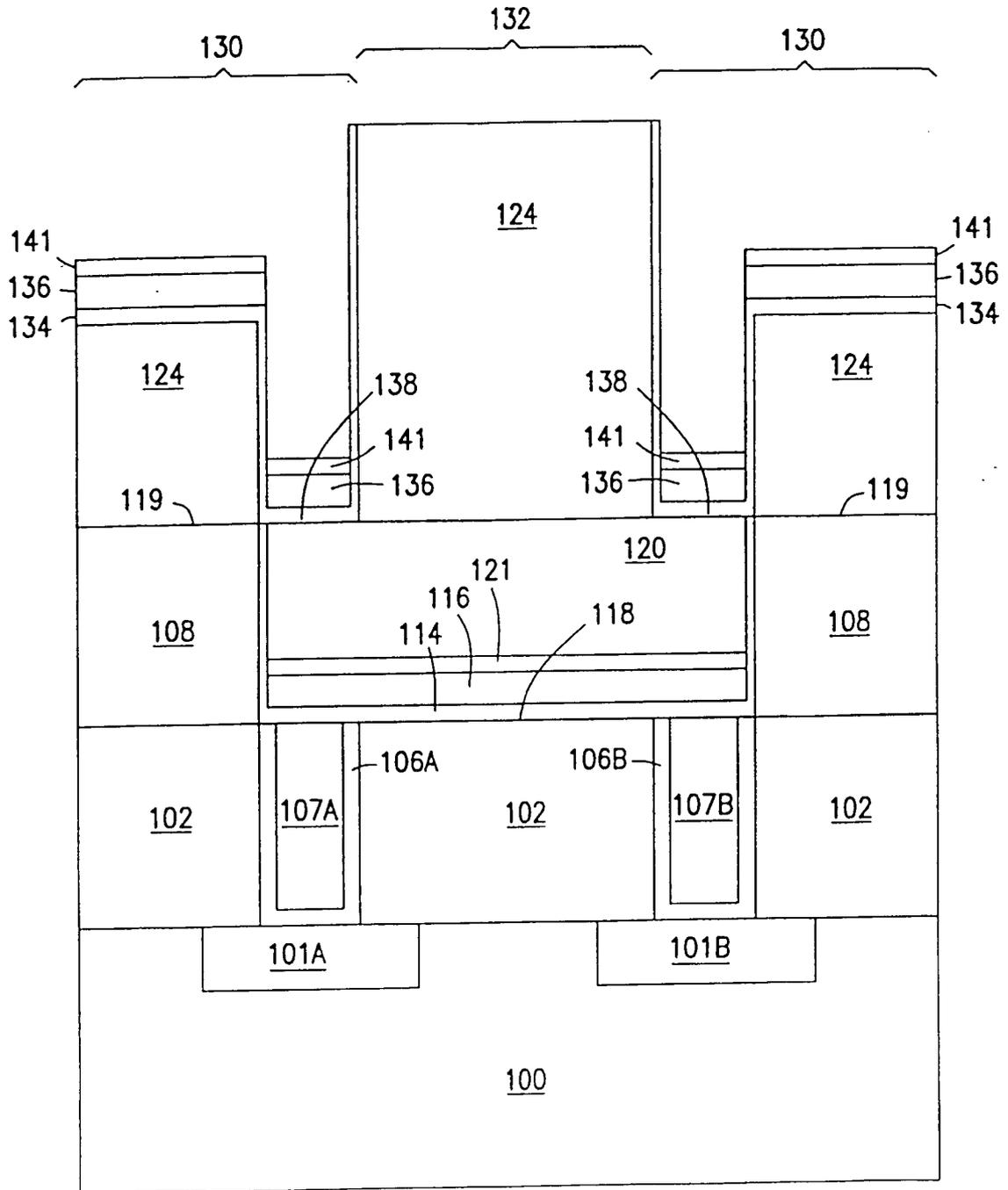


FIG. 1J

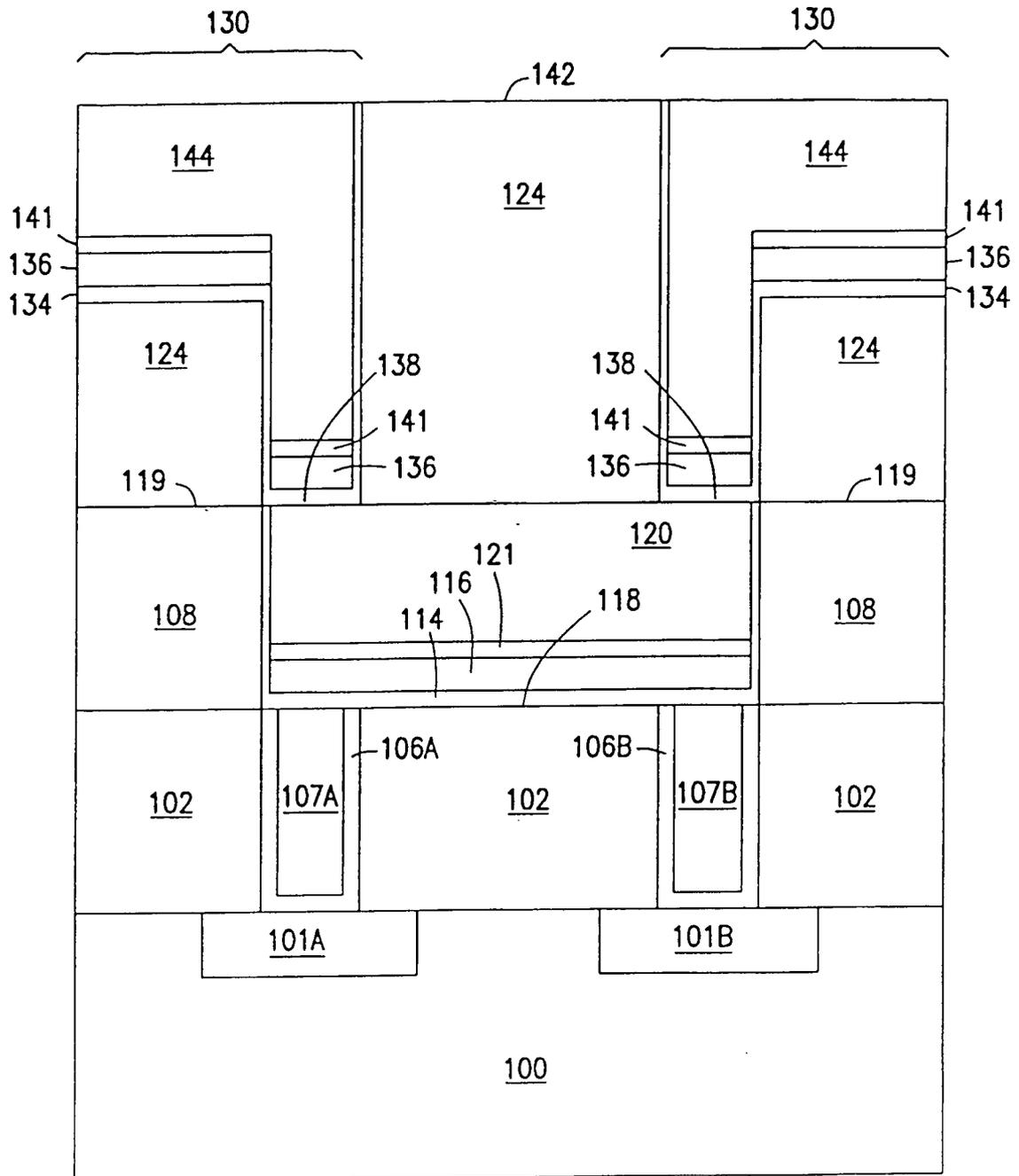


FIG. 1K

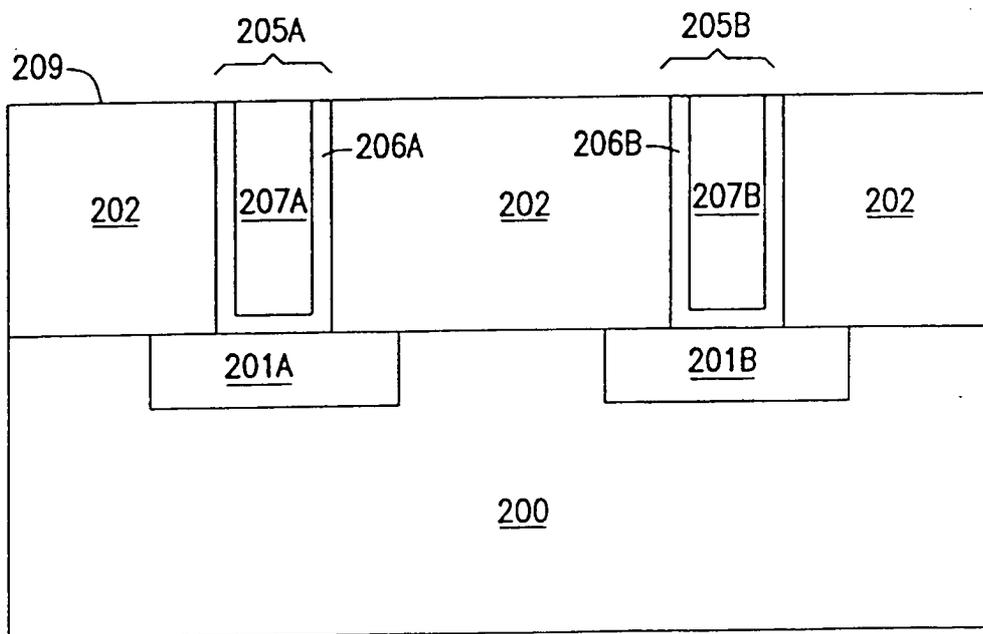


FIG. 2A

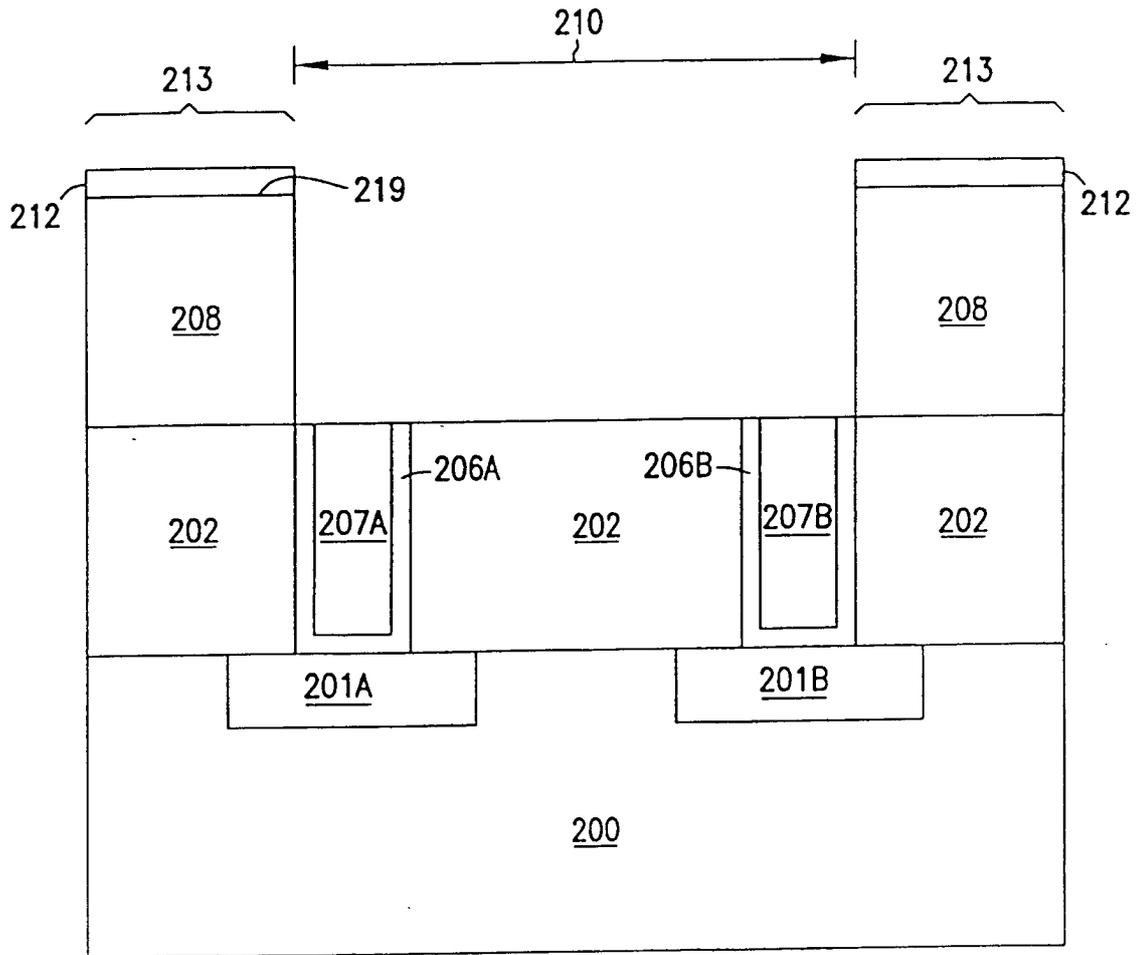


FIG. 2B

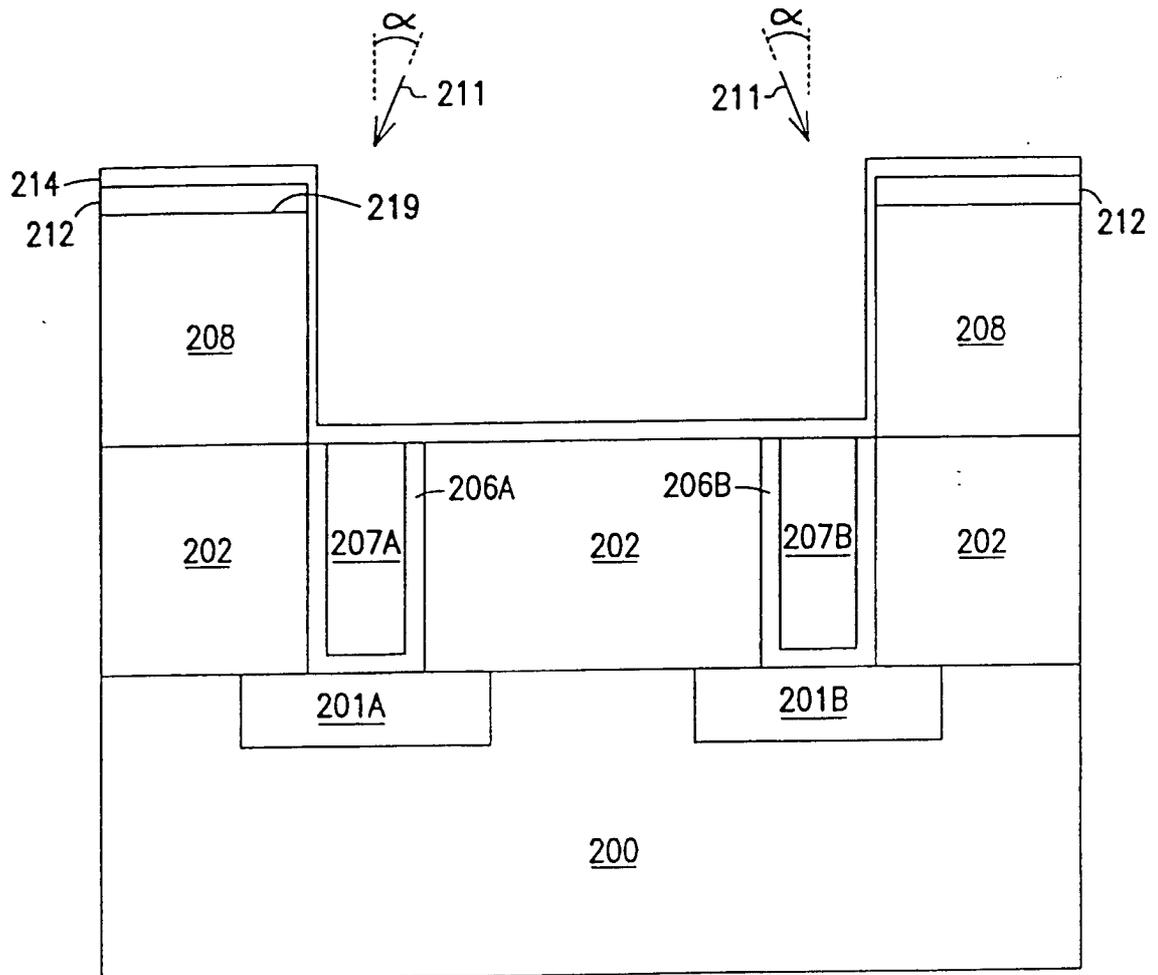


FIG. 2C

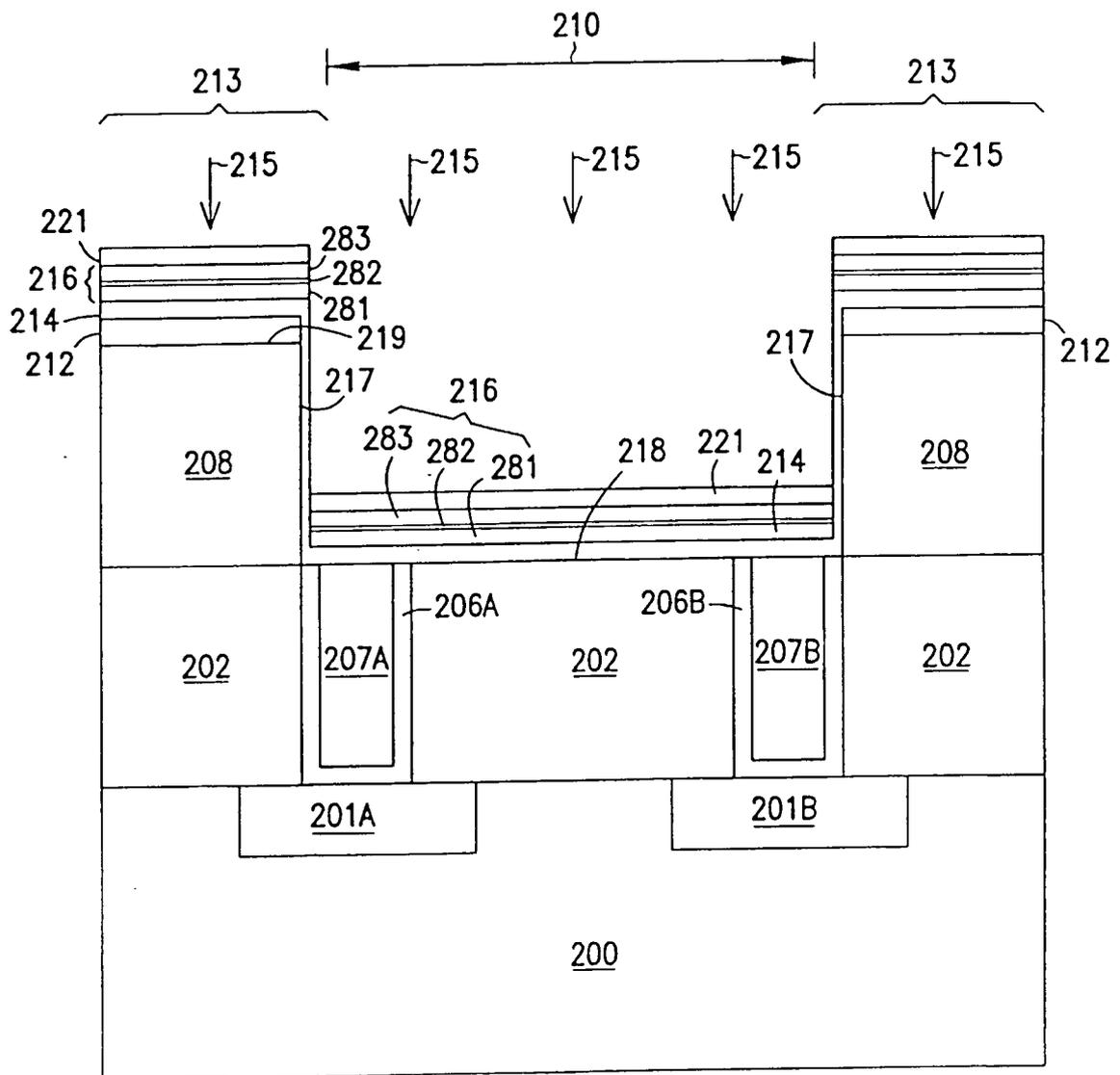


FIG. 2D

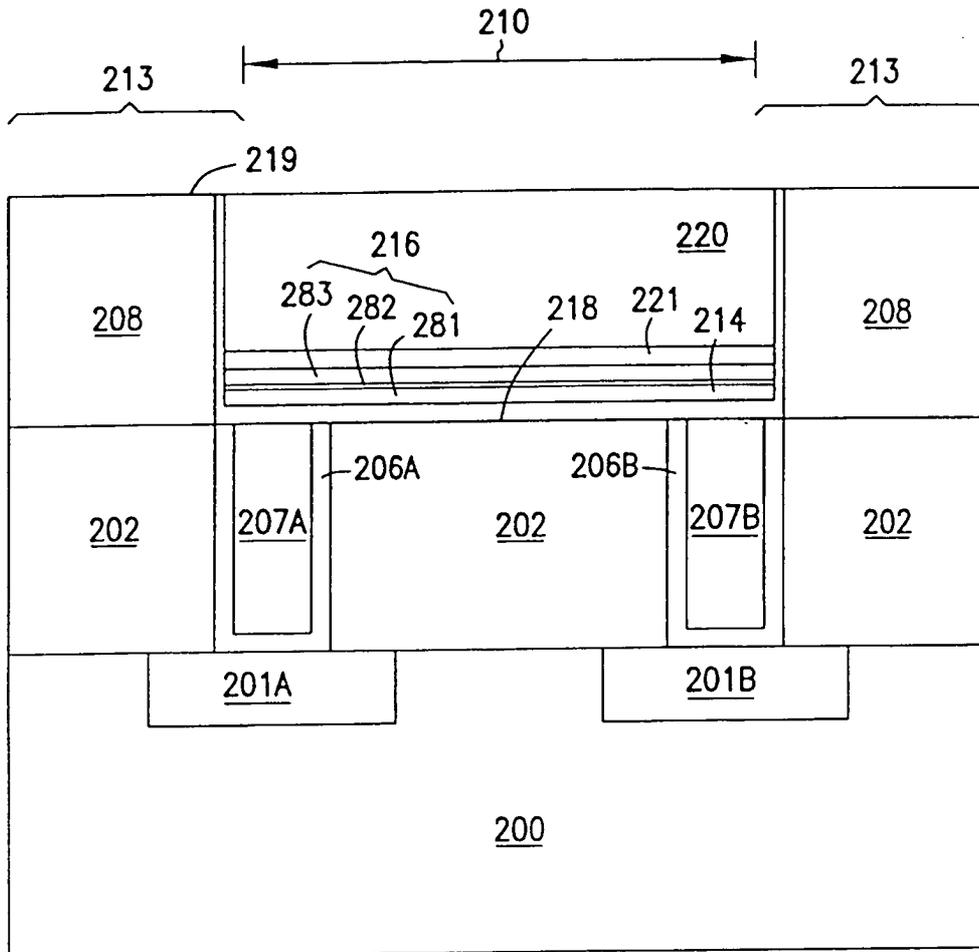


FIG. 2E

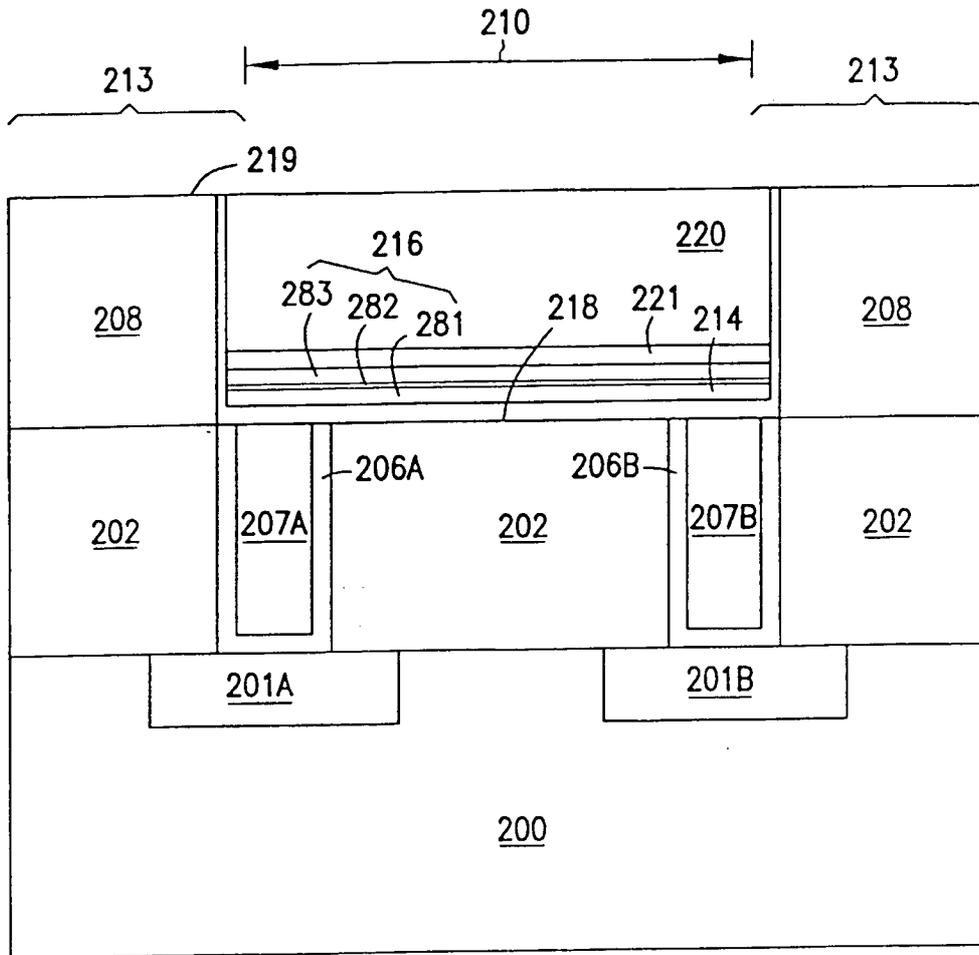


FIG. 2F

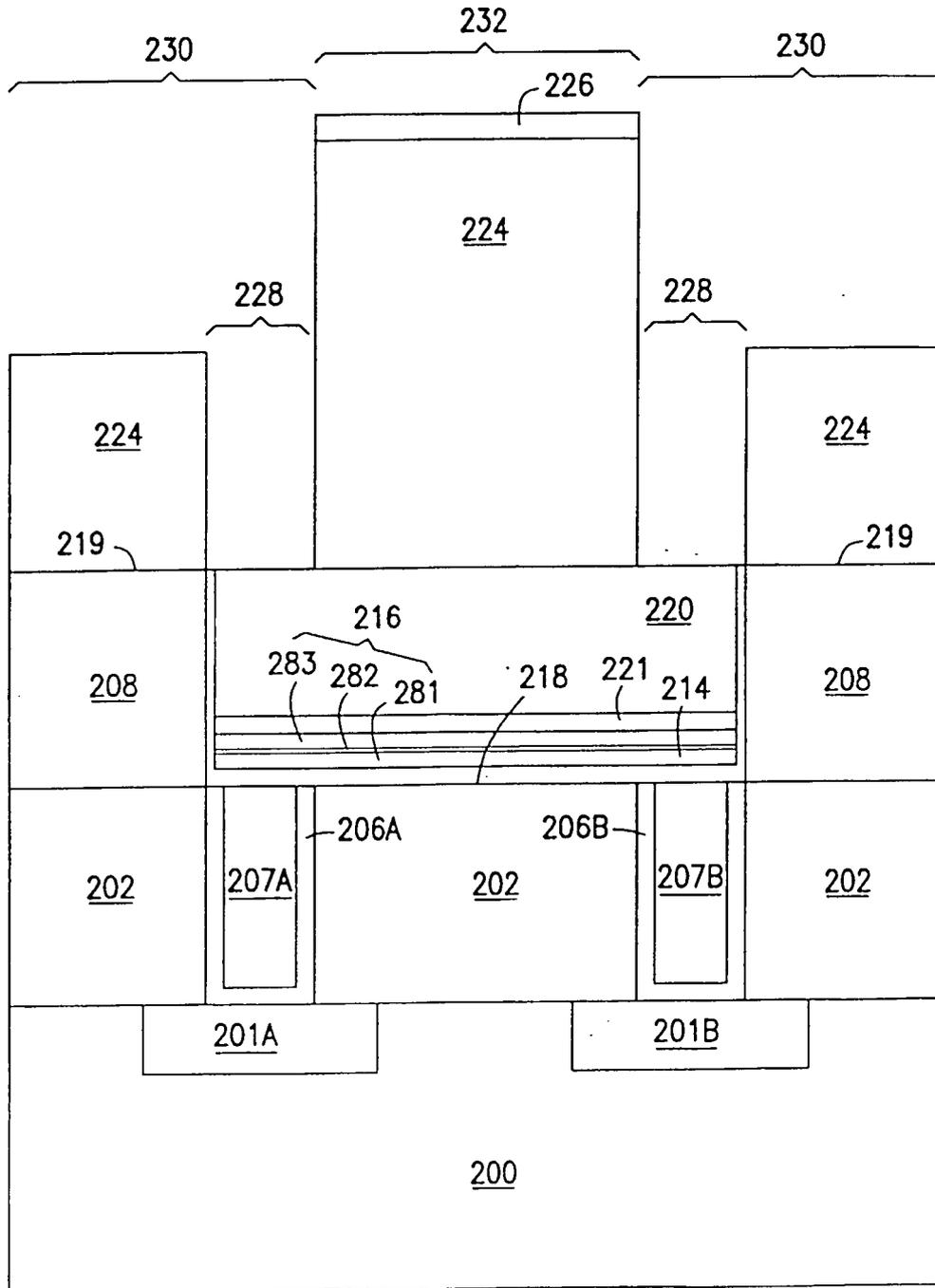


FIG. 2G

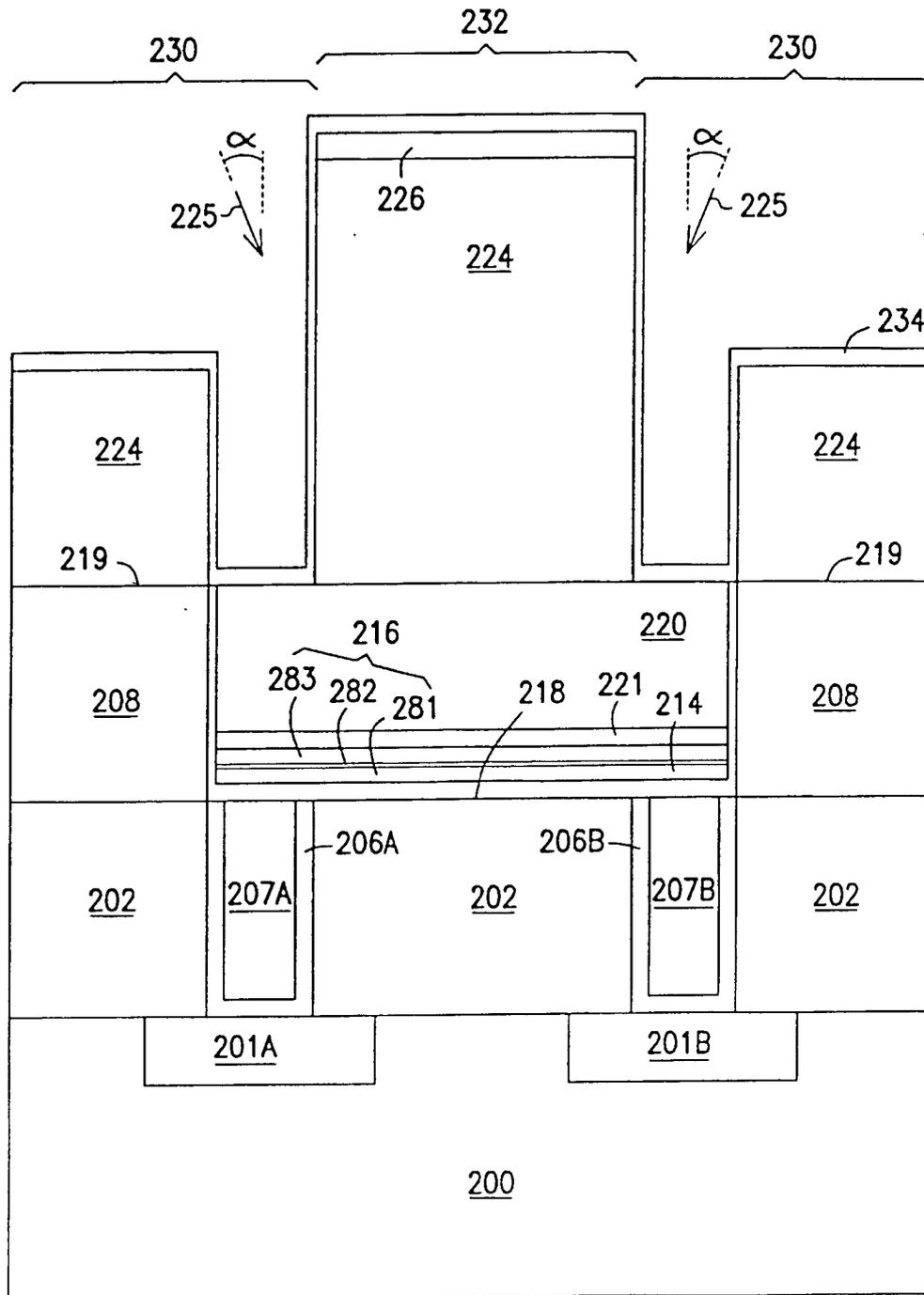


FIG. 2H

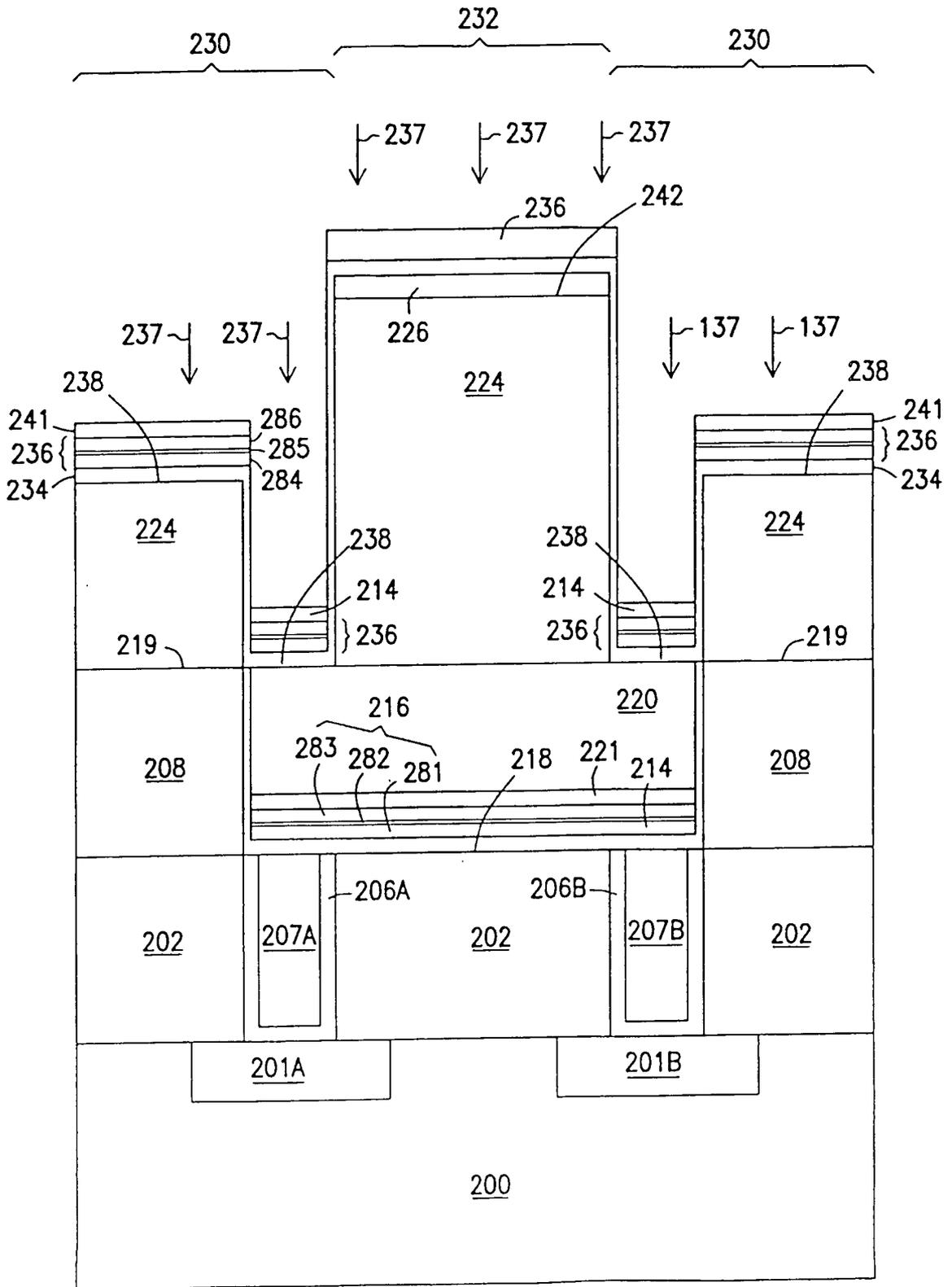


FIG. 21

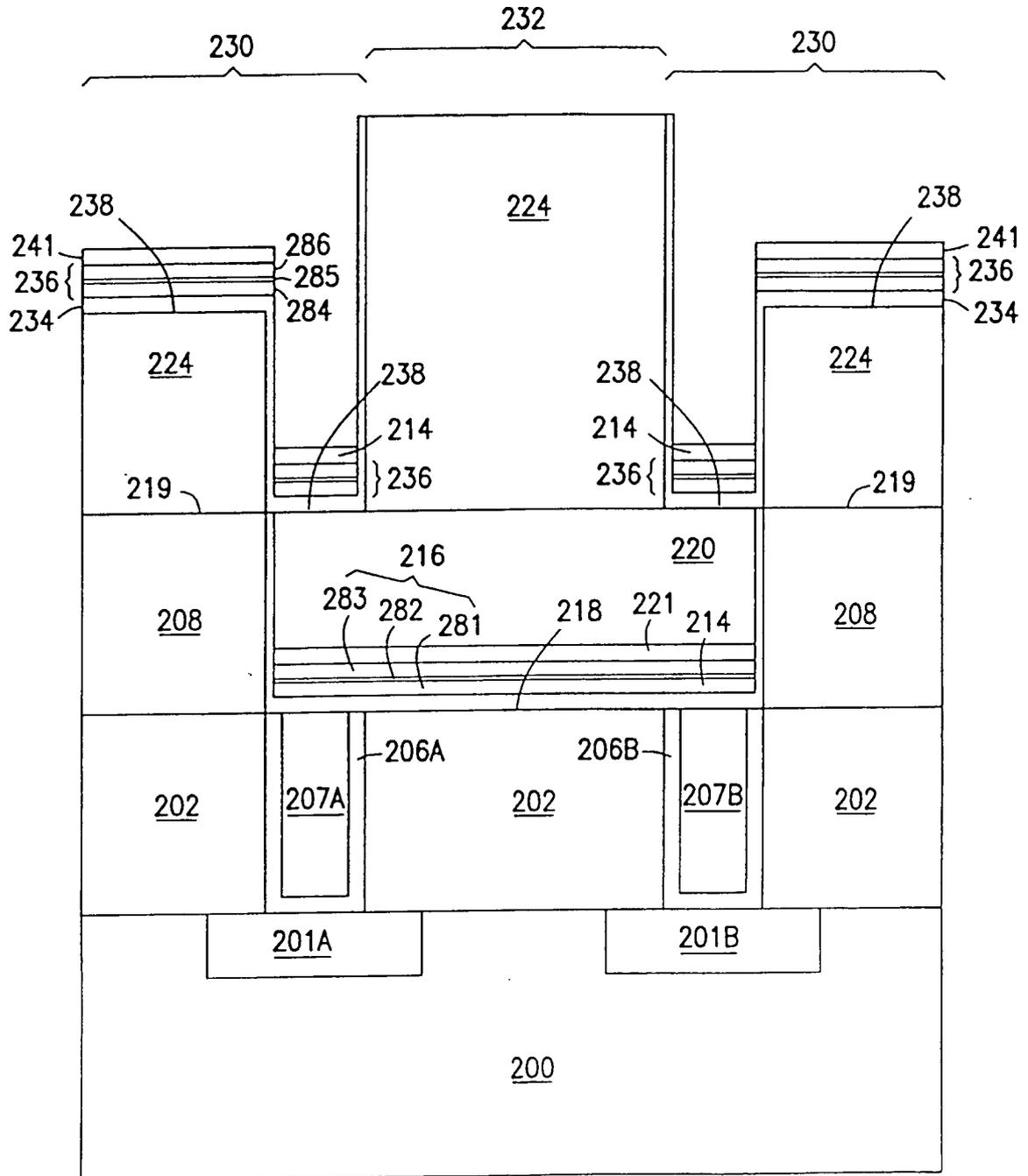


FIG. 2J

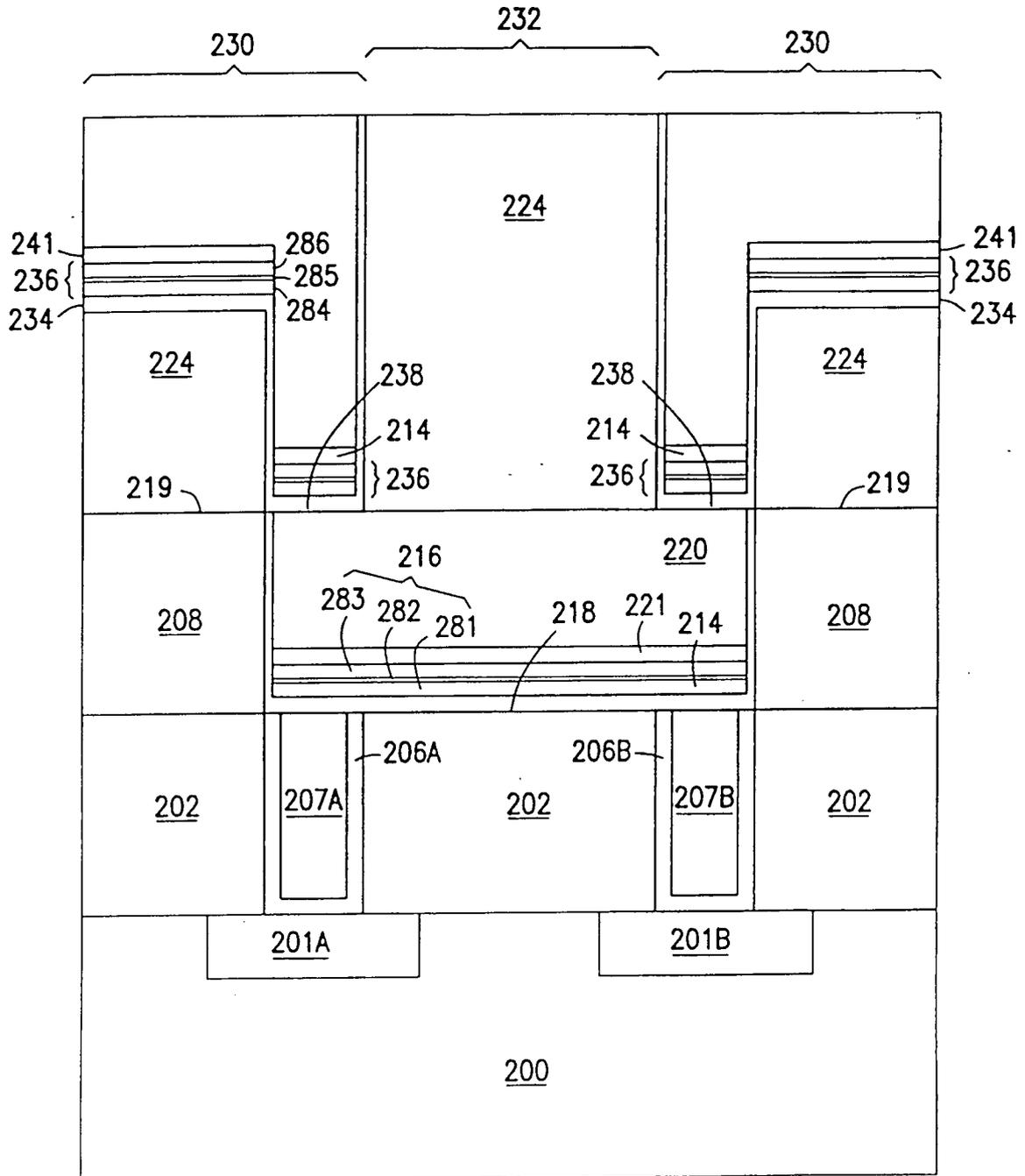


FIG. 2K

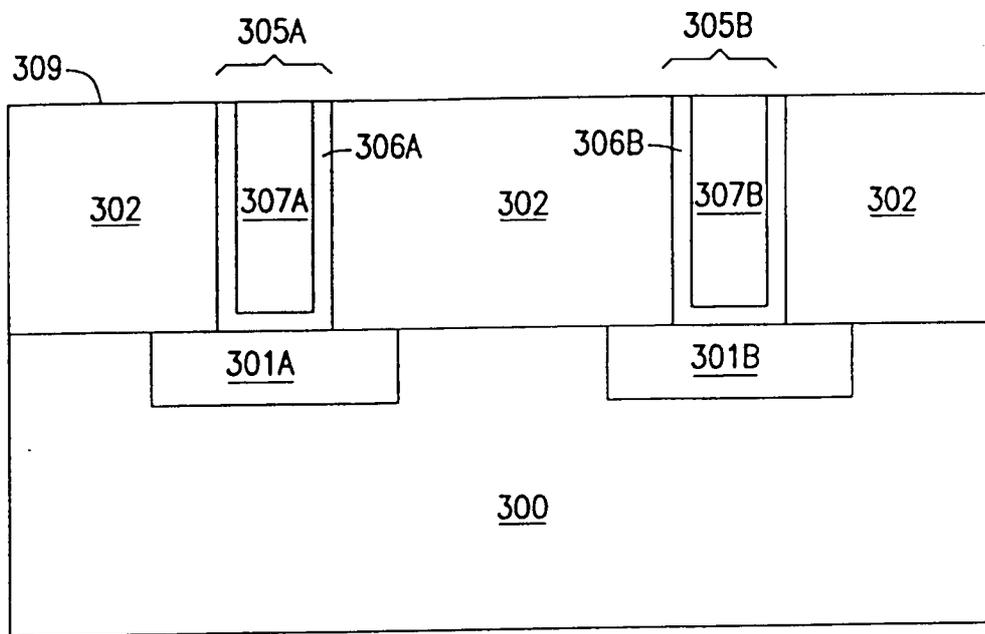


FIG. 3A

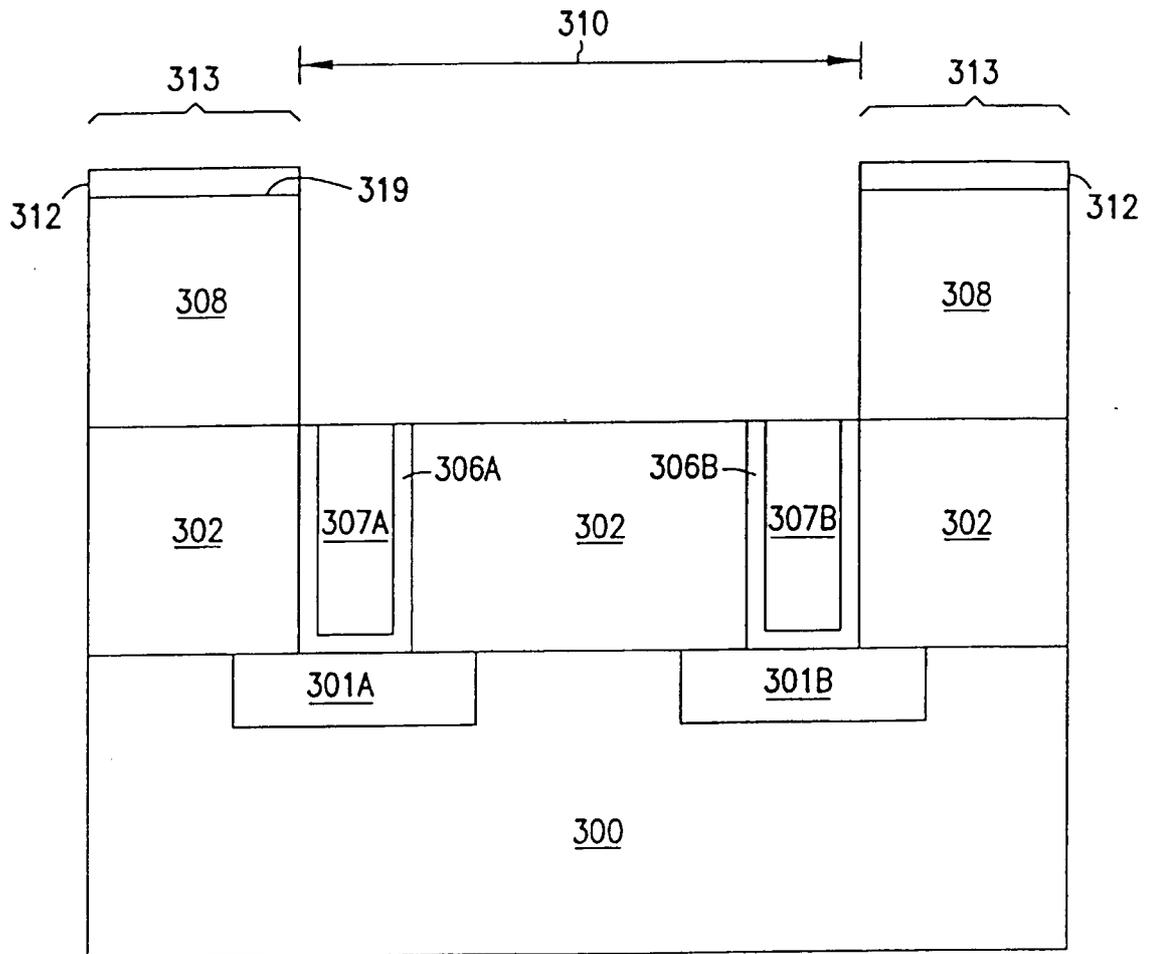


FIG. 3B

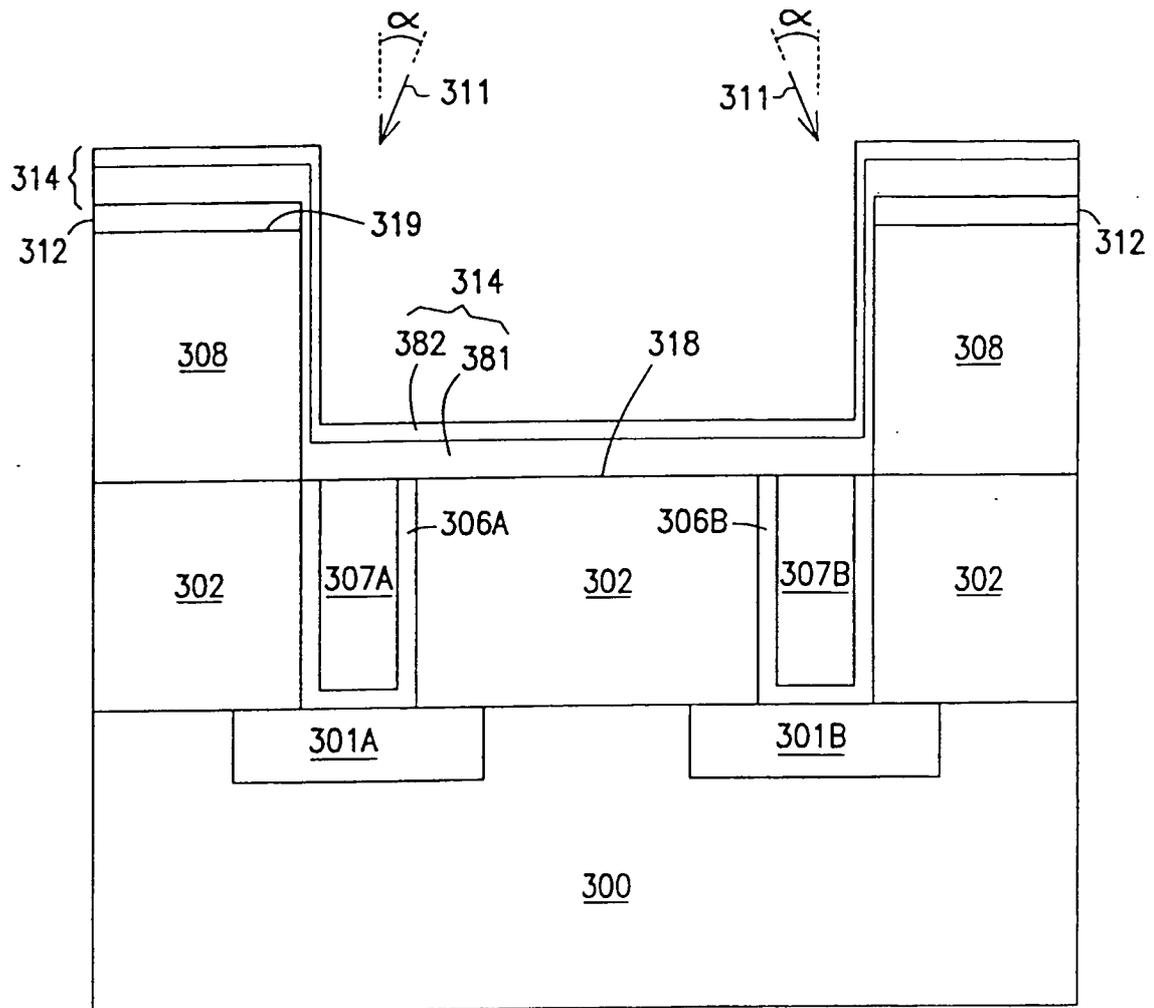


FIG. 3C

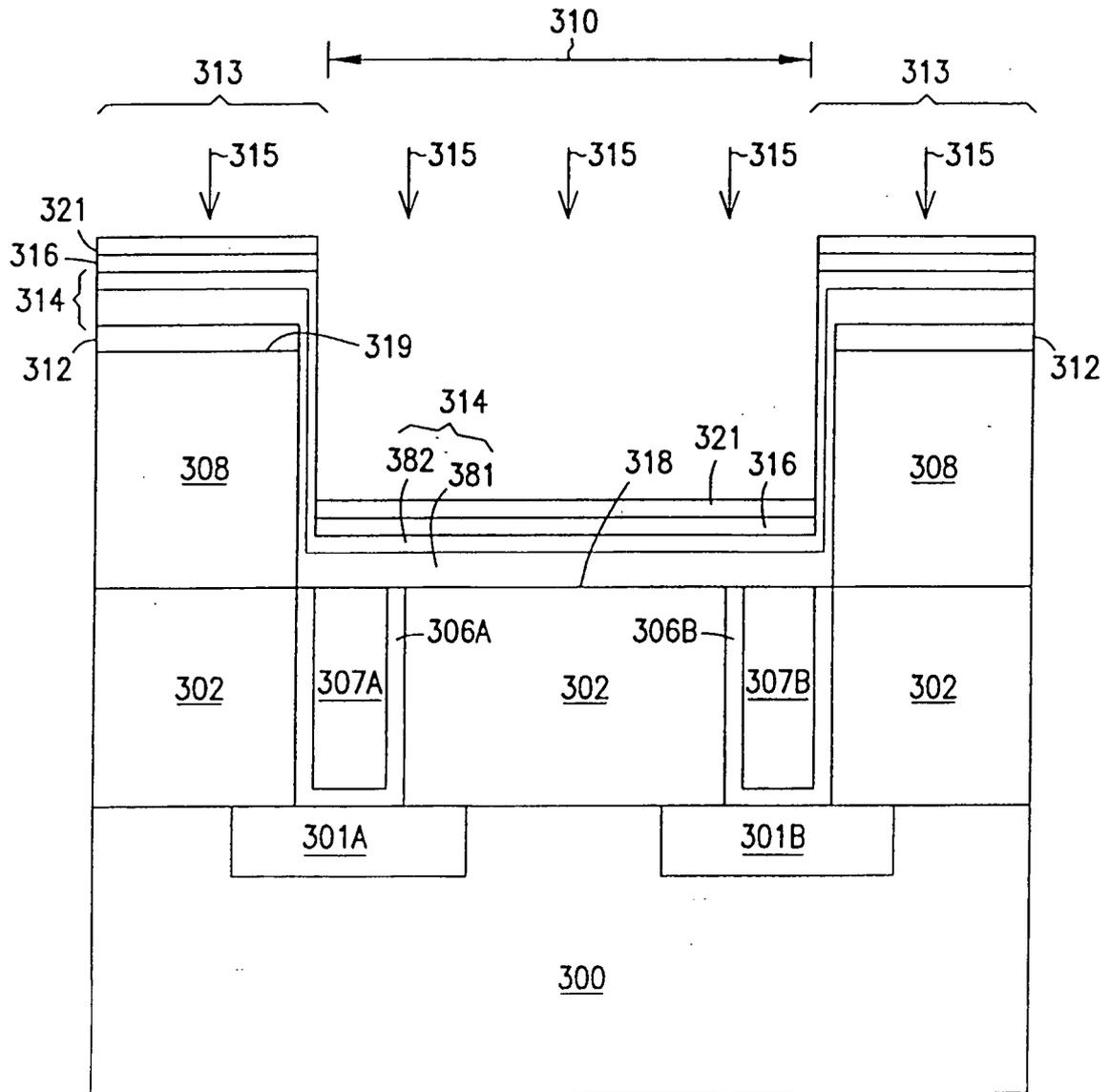


FIG. 3D

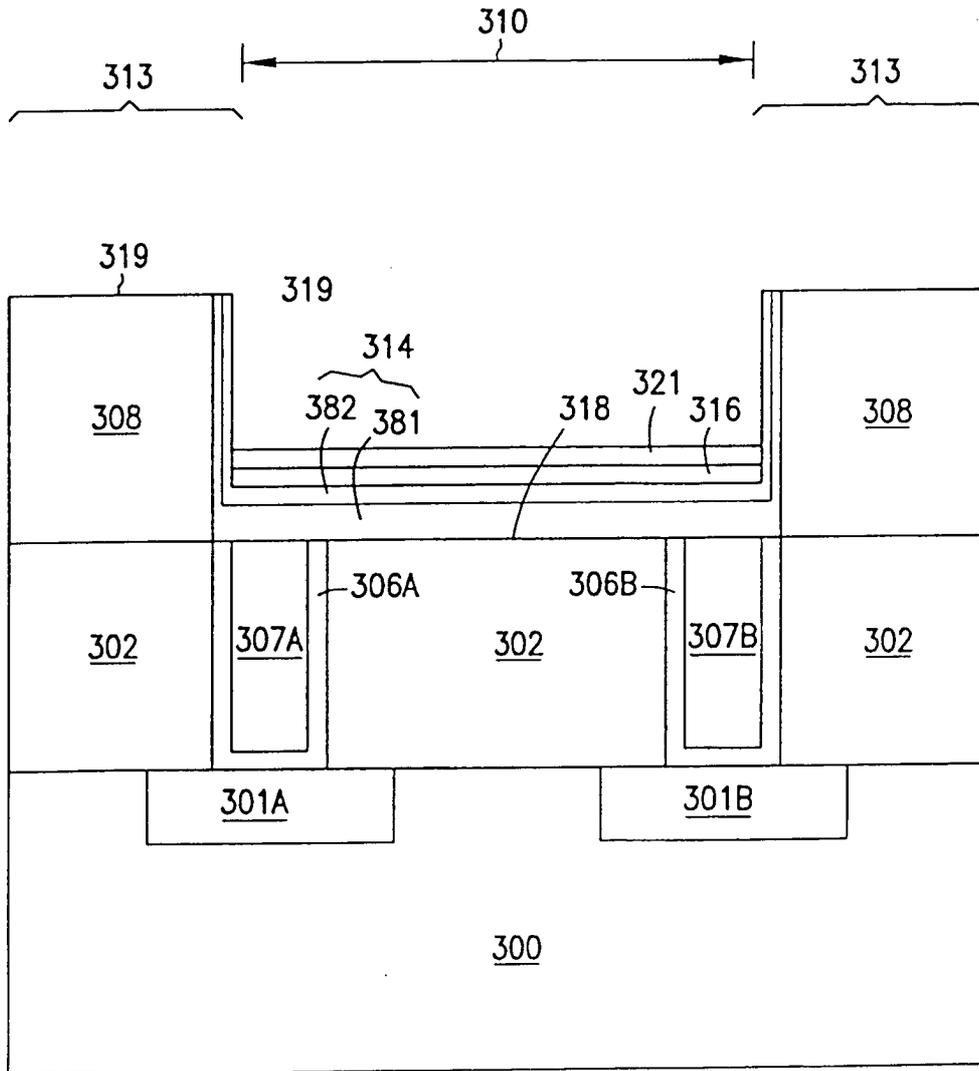


FIG. 3E

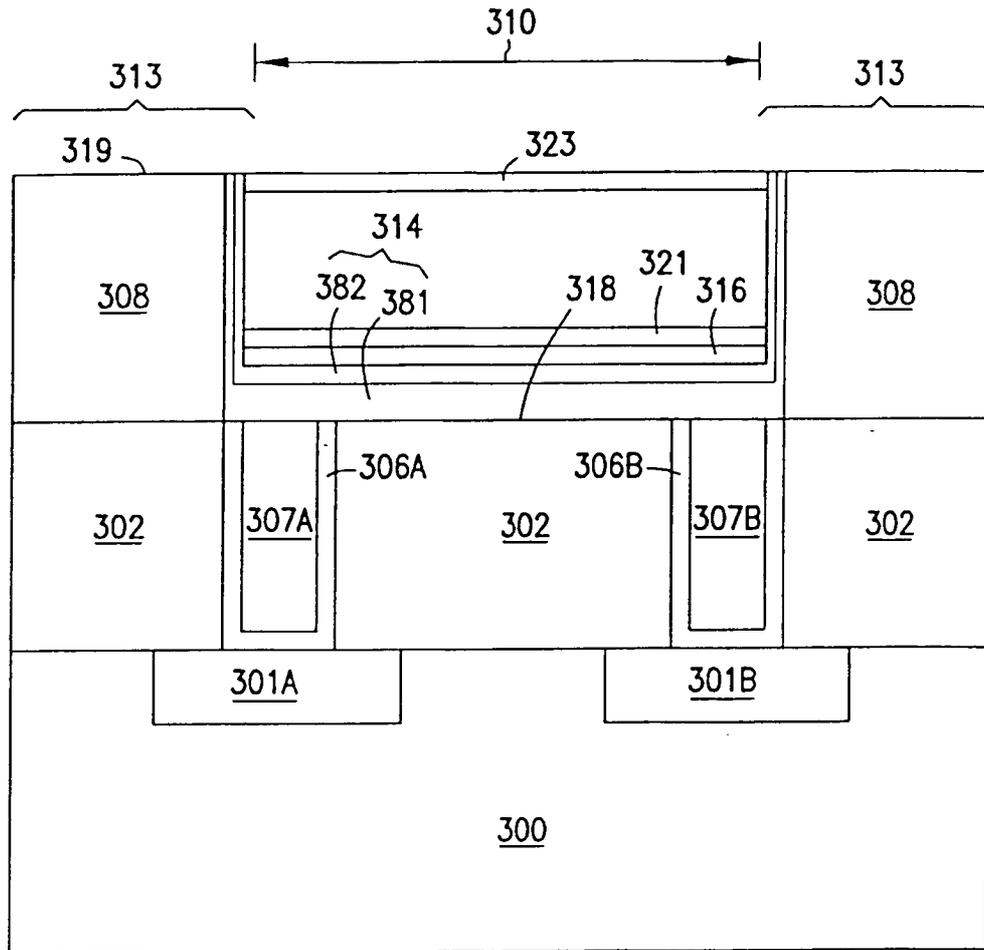


FIG. 3F

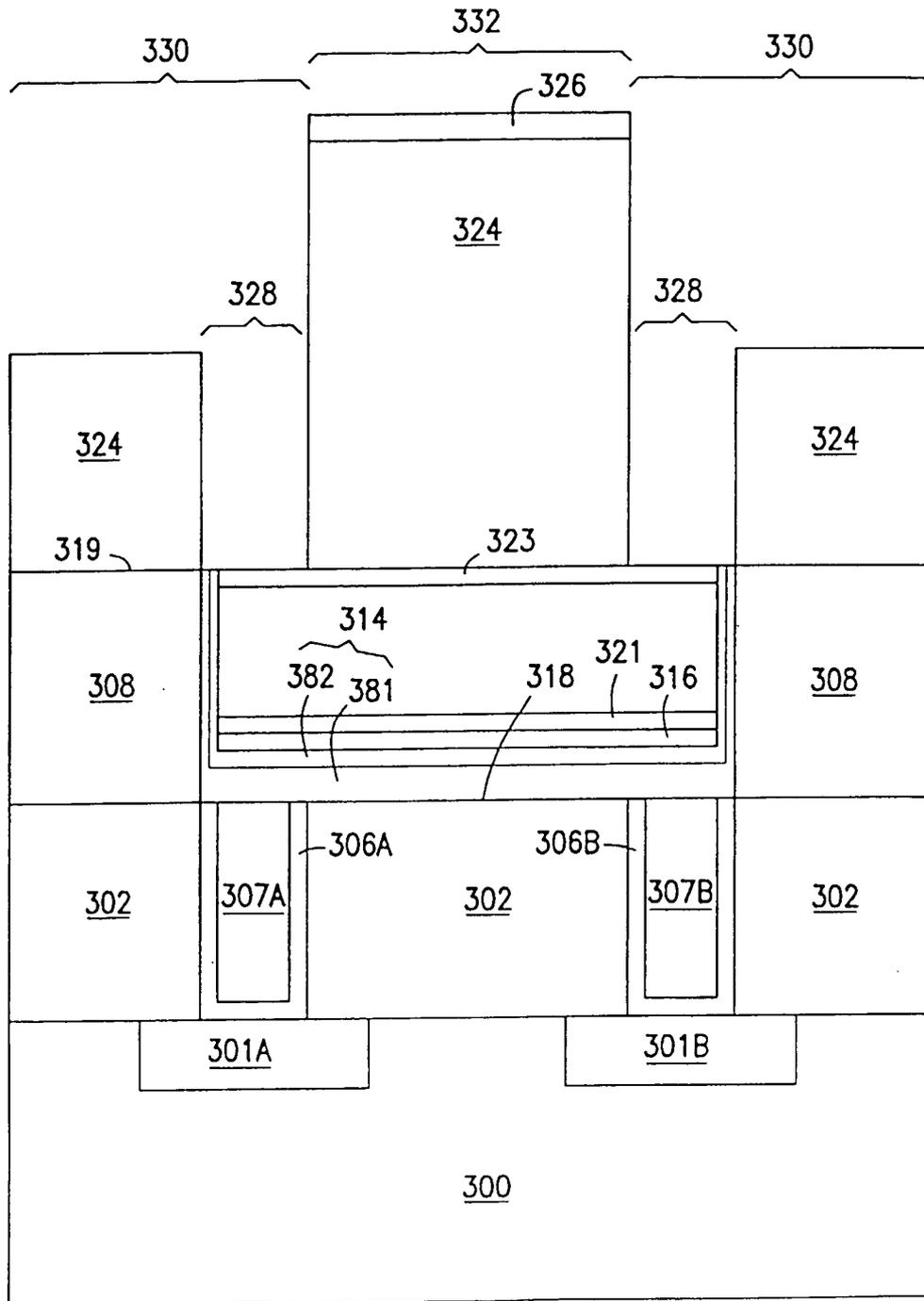


FIG. 3G

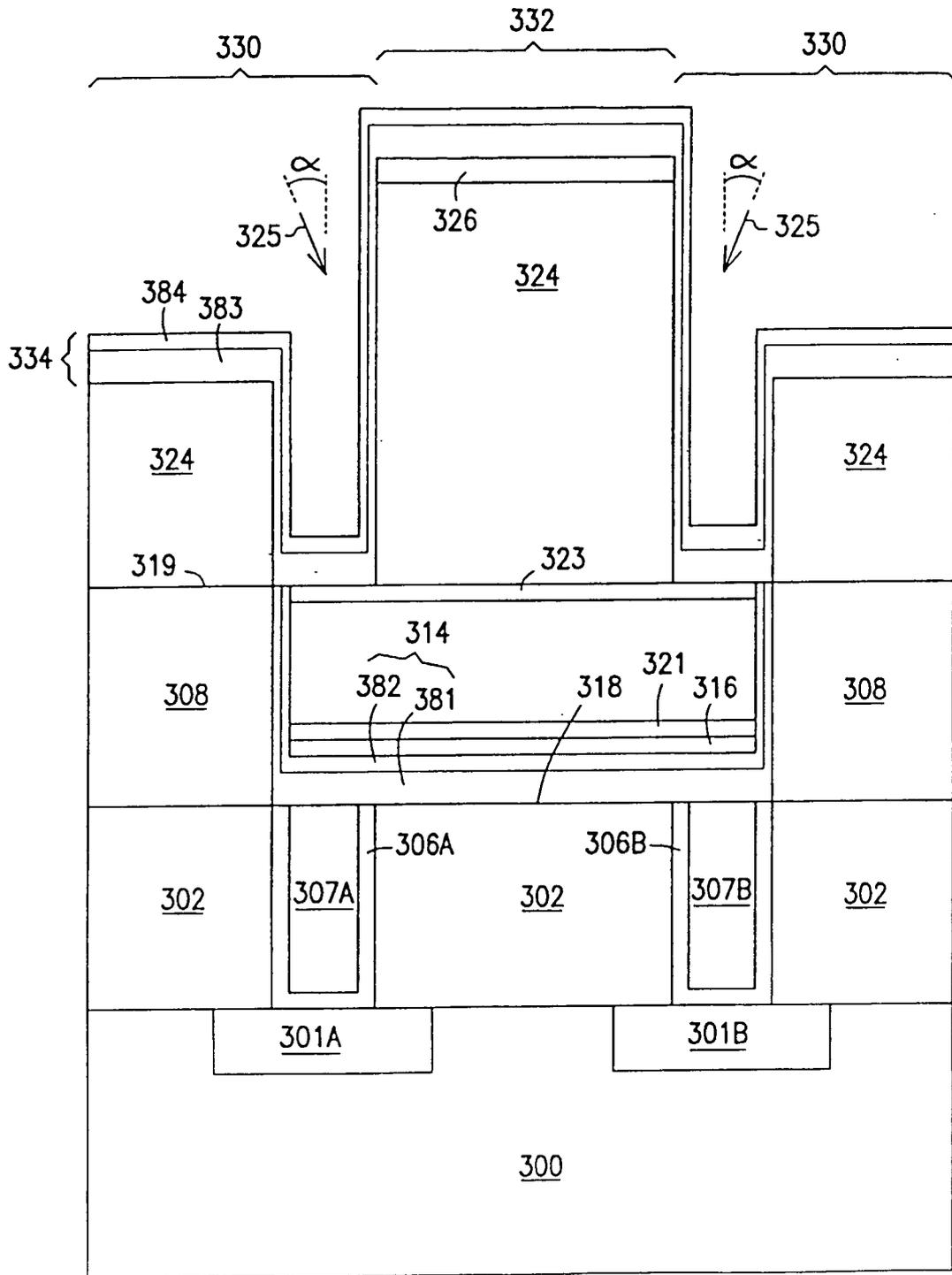


FIG. 3H

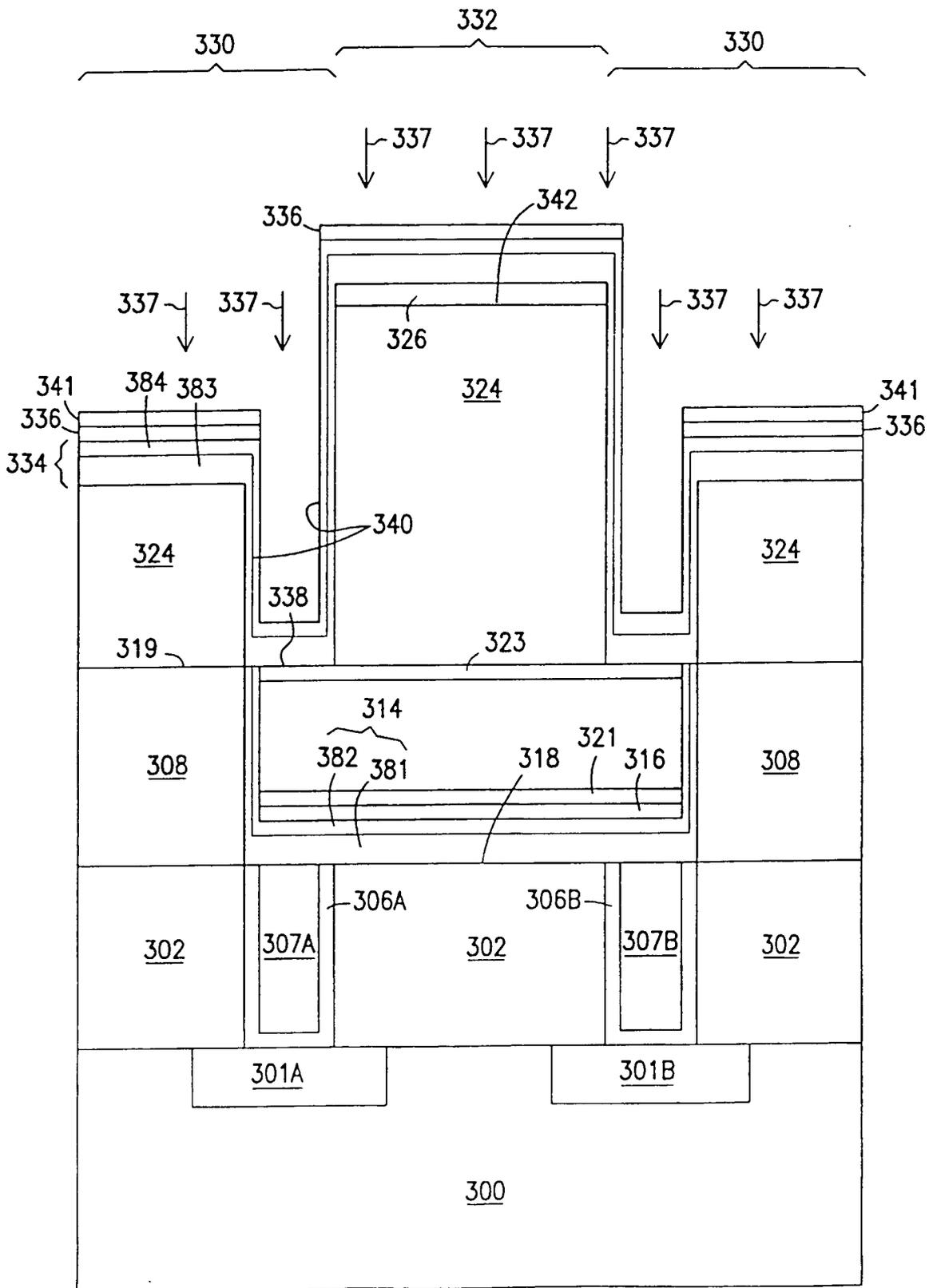


FIG. 31

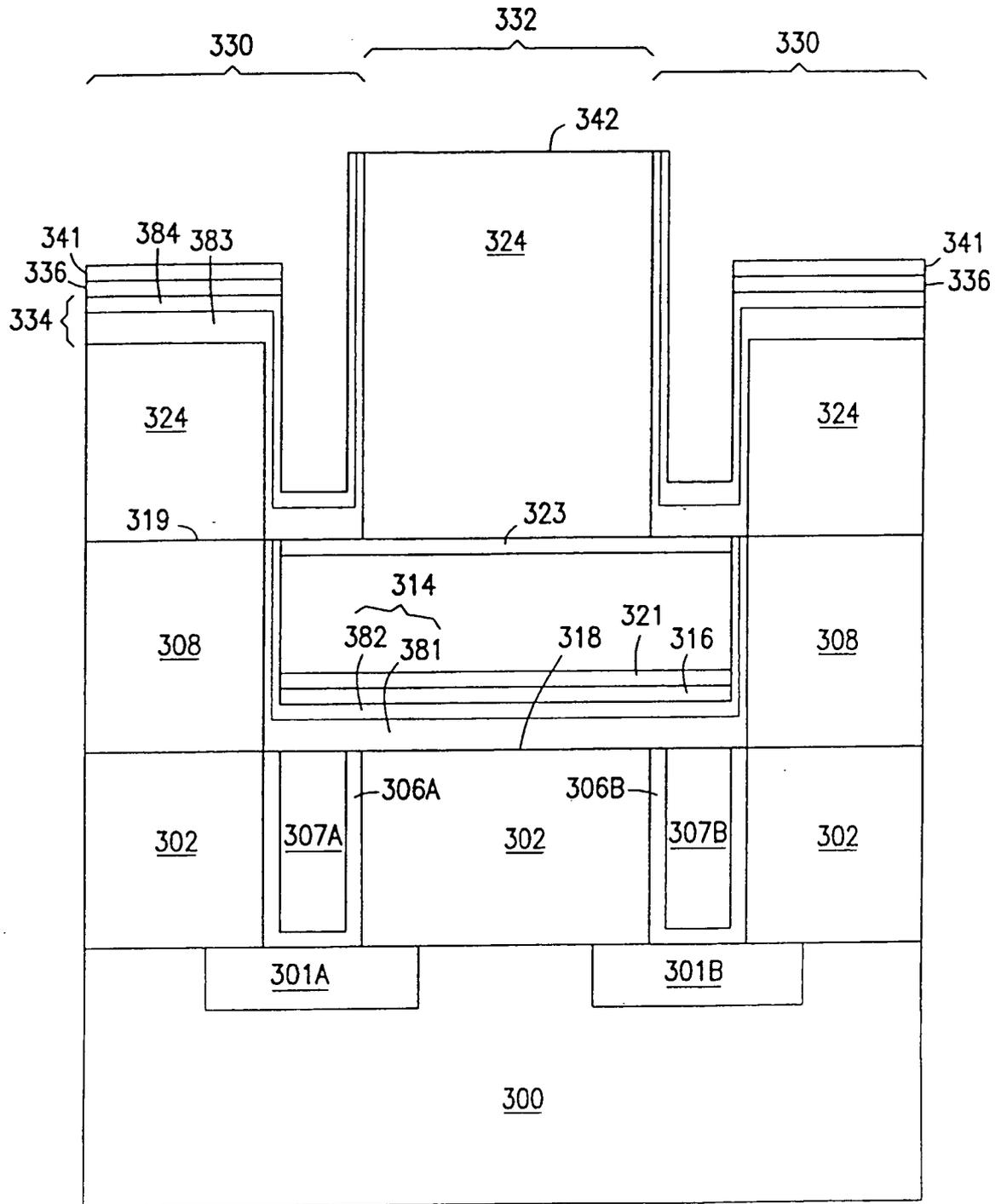


FIG. 3J

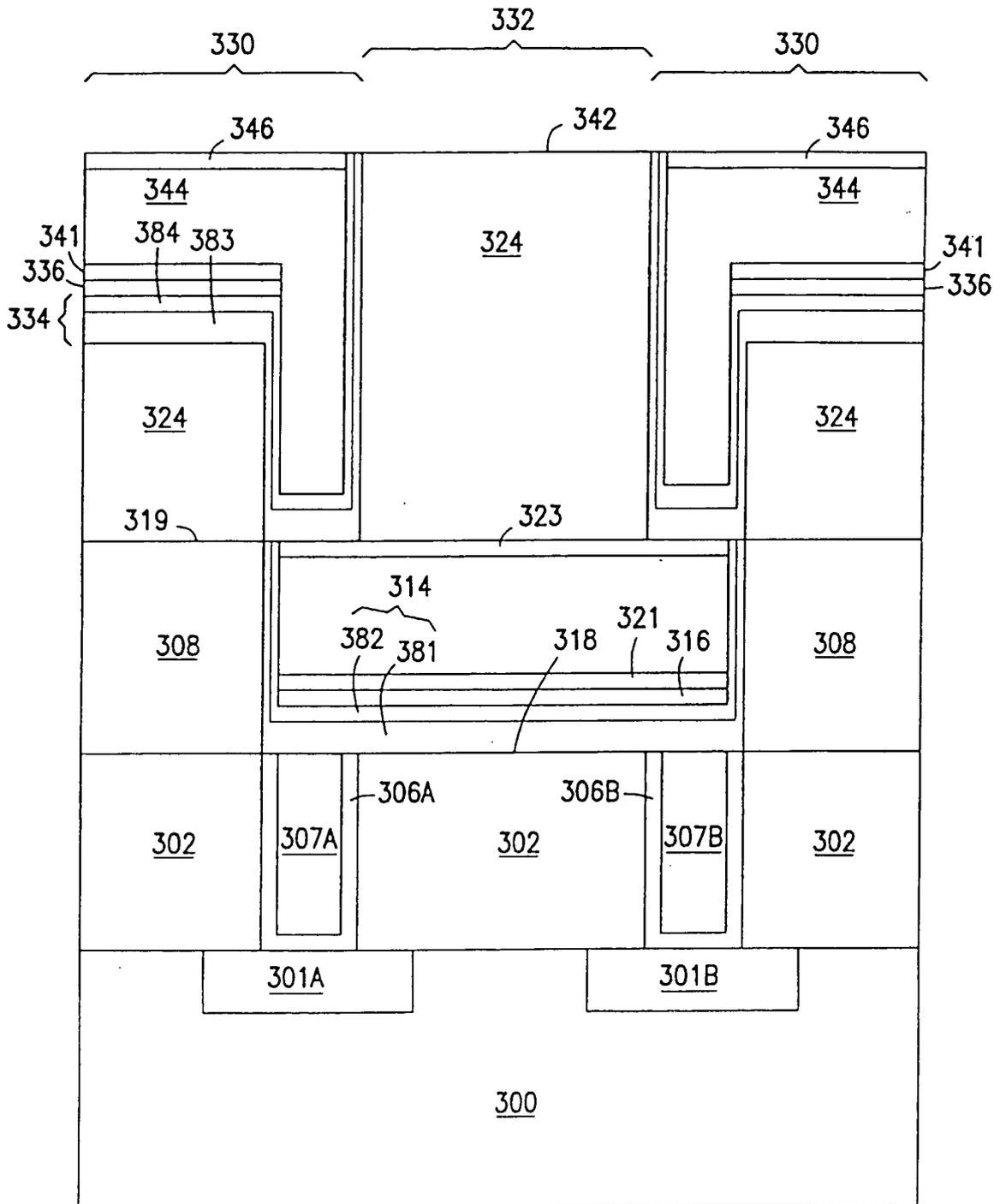


FIG. 3K

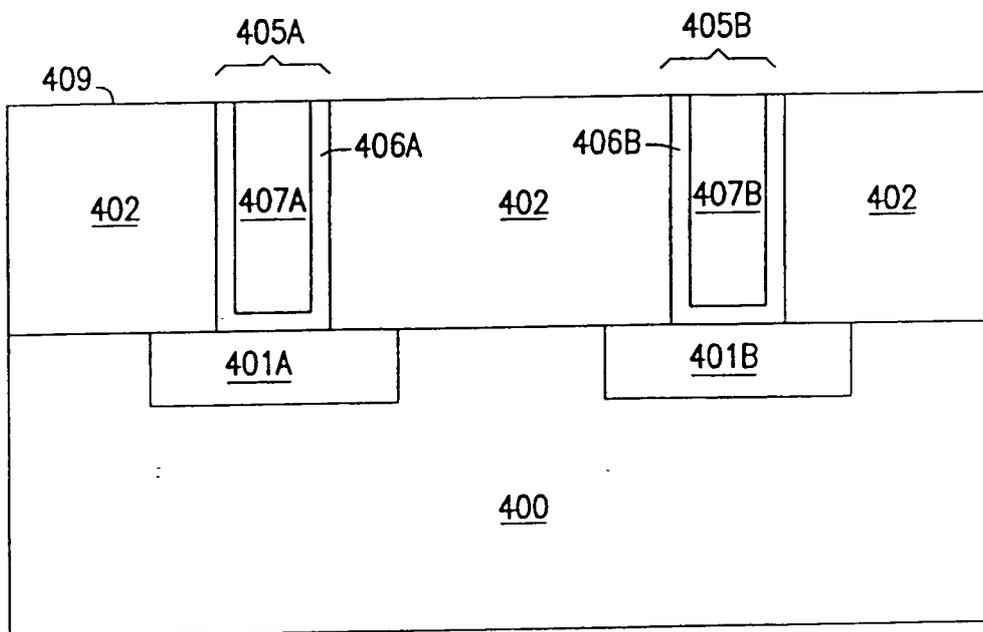


FIG. 4A

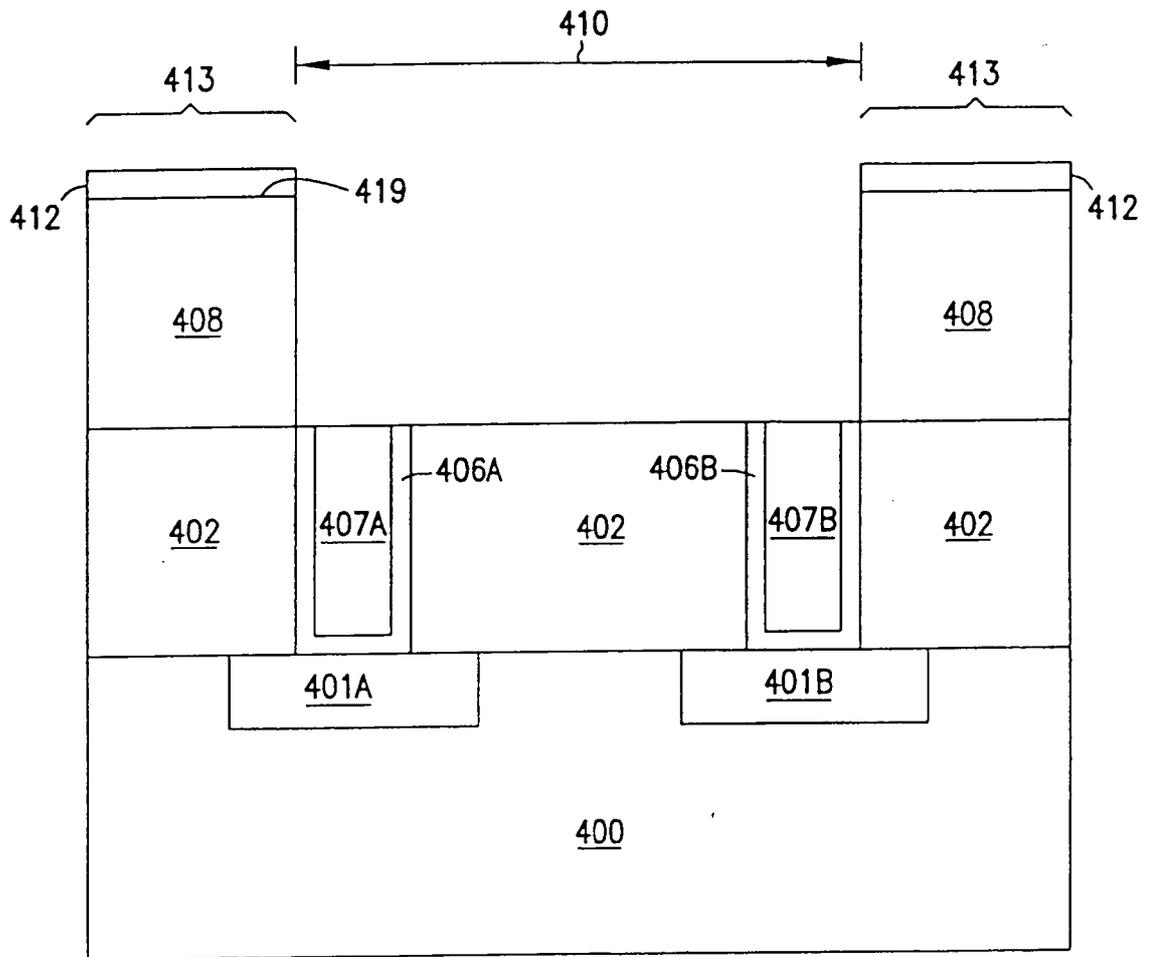


FIG. 4B

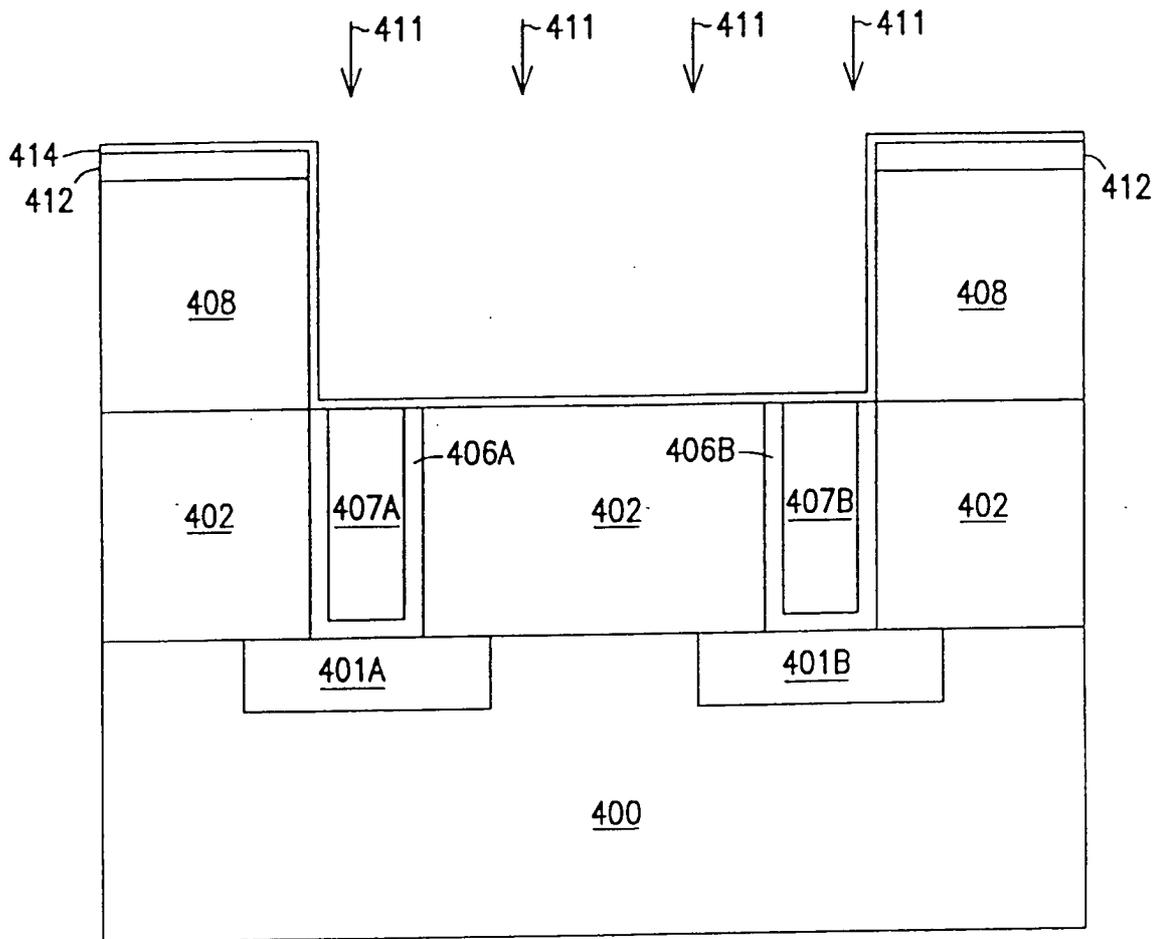


FIG. 4C

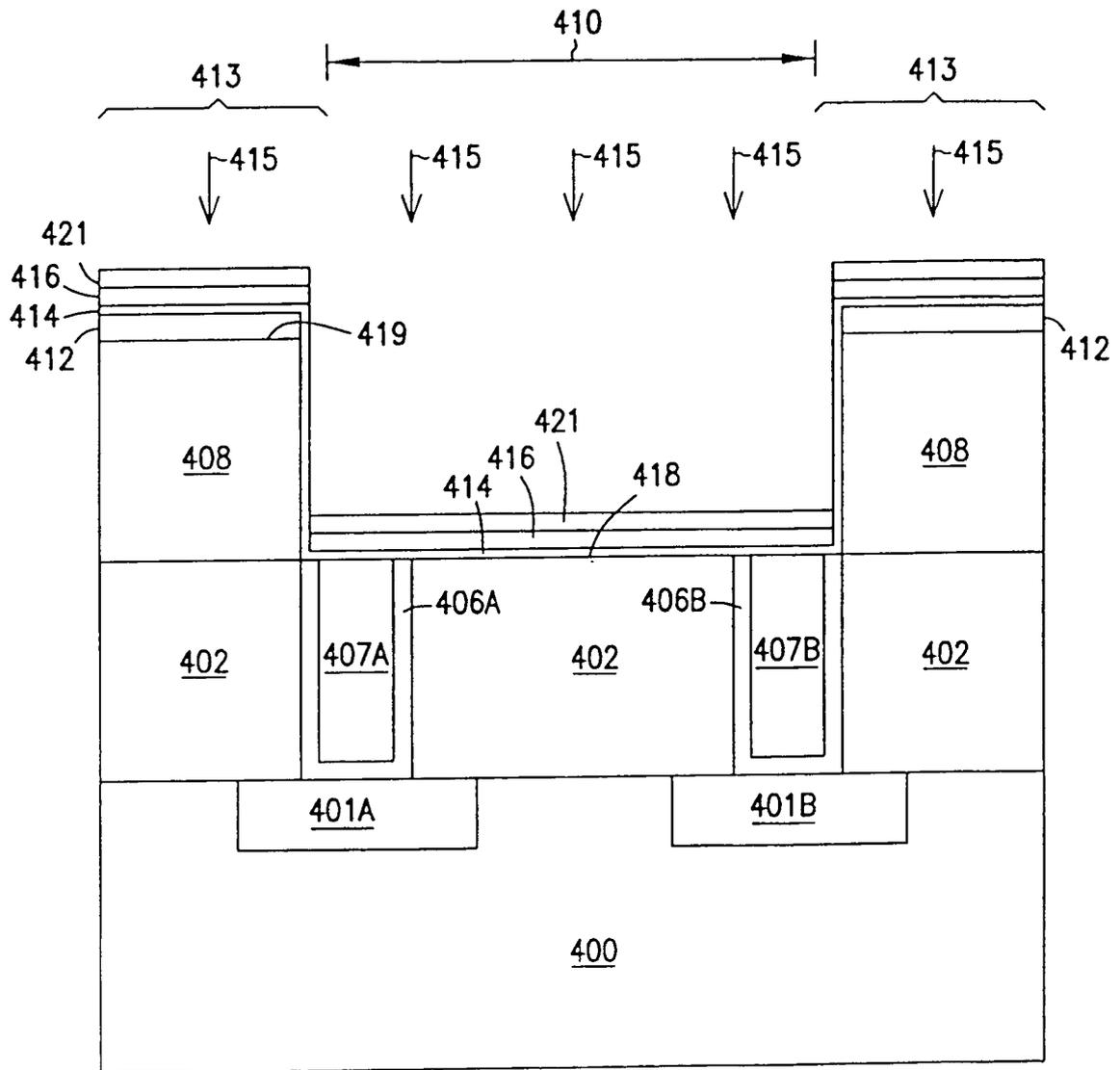


FIG. 4D

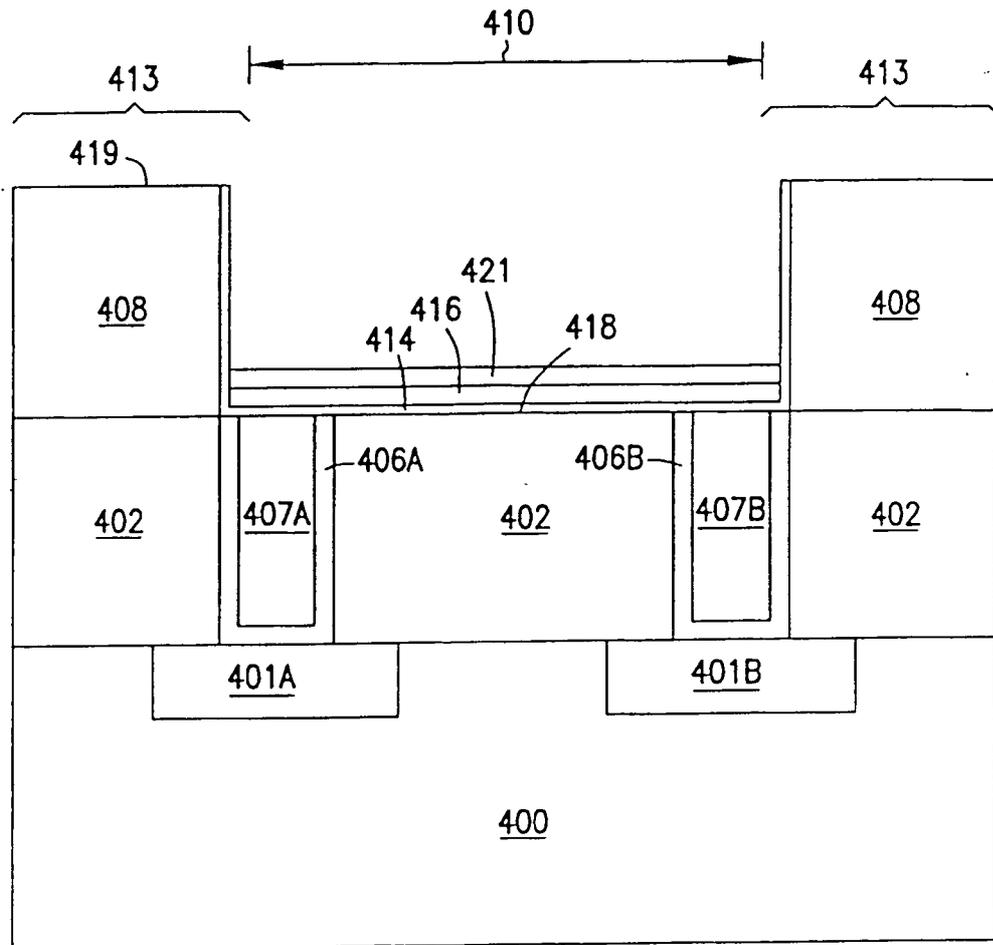


FIG. 4E

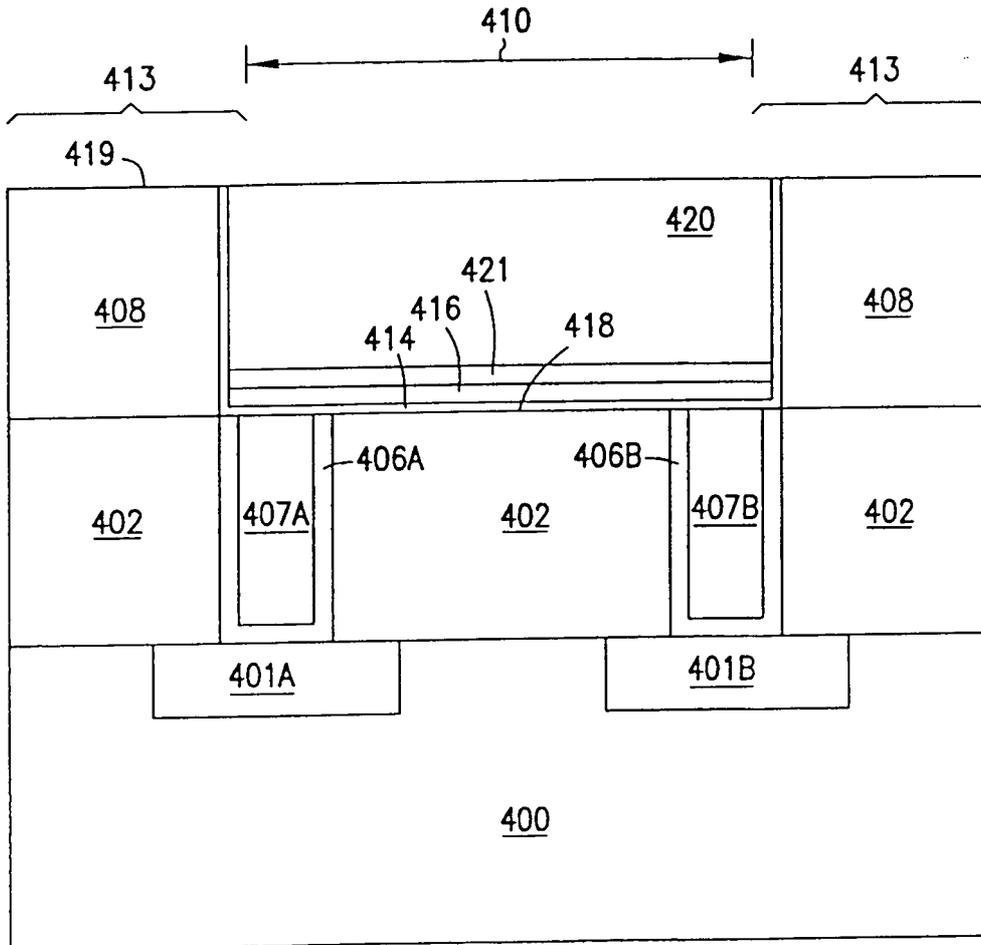


FIG. 4F

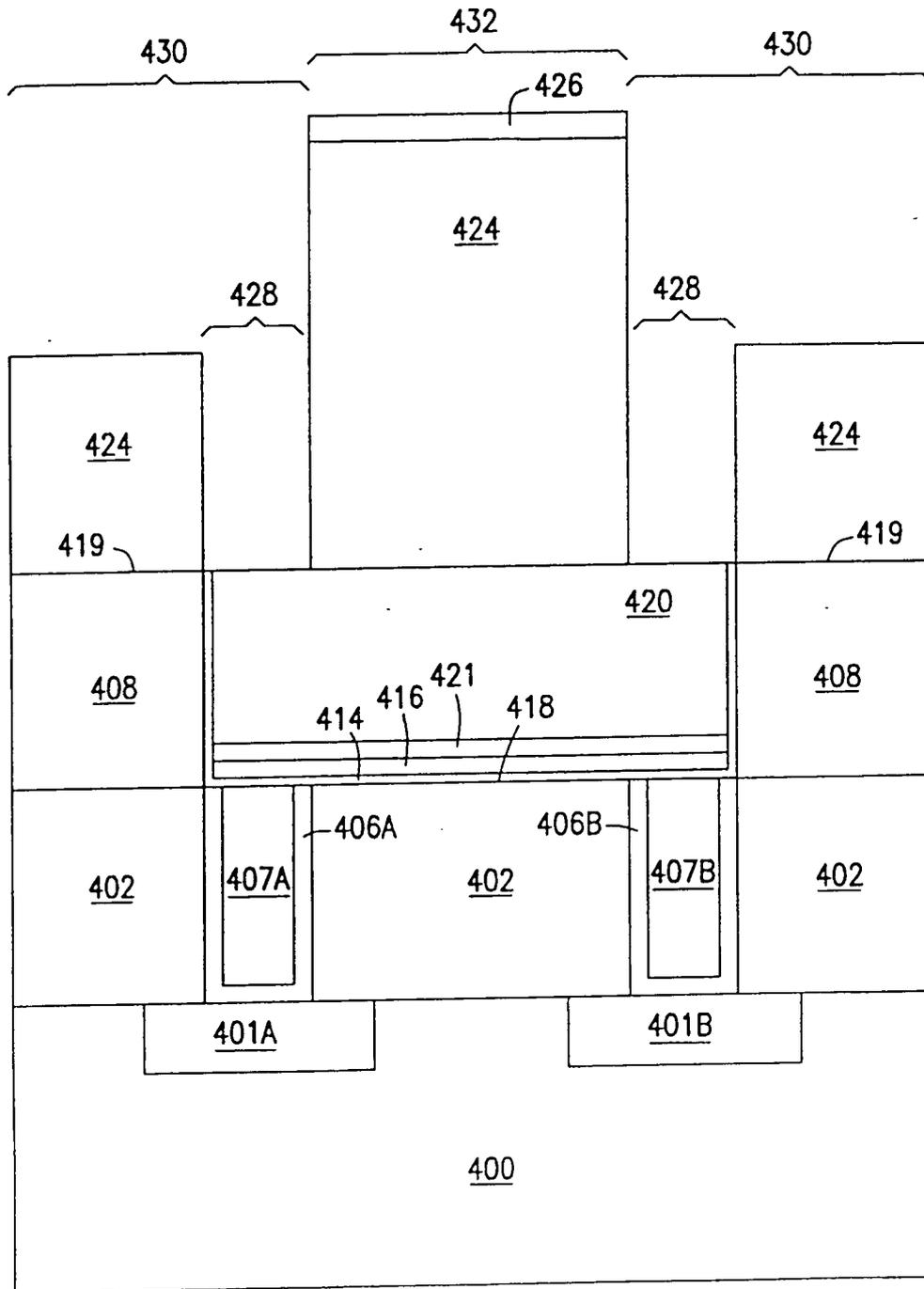


FIG. 4G

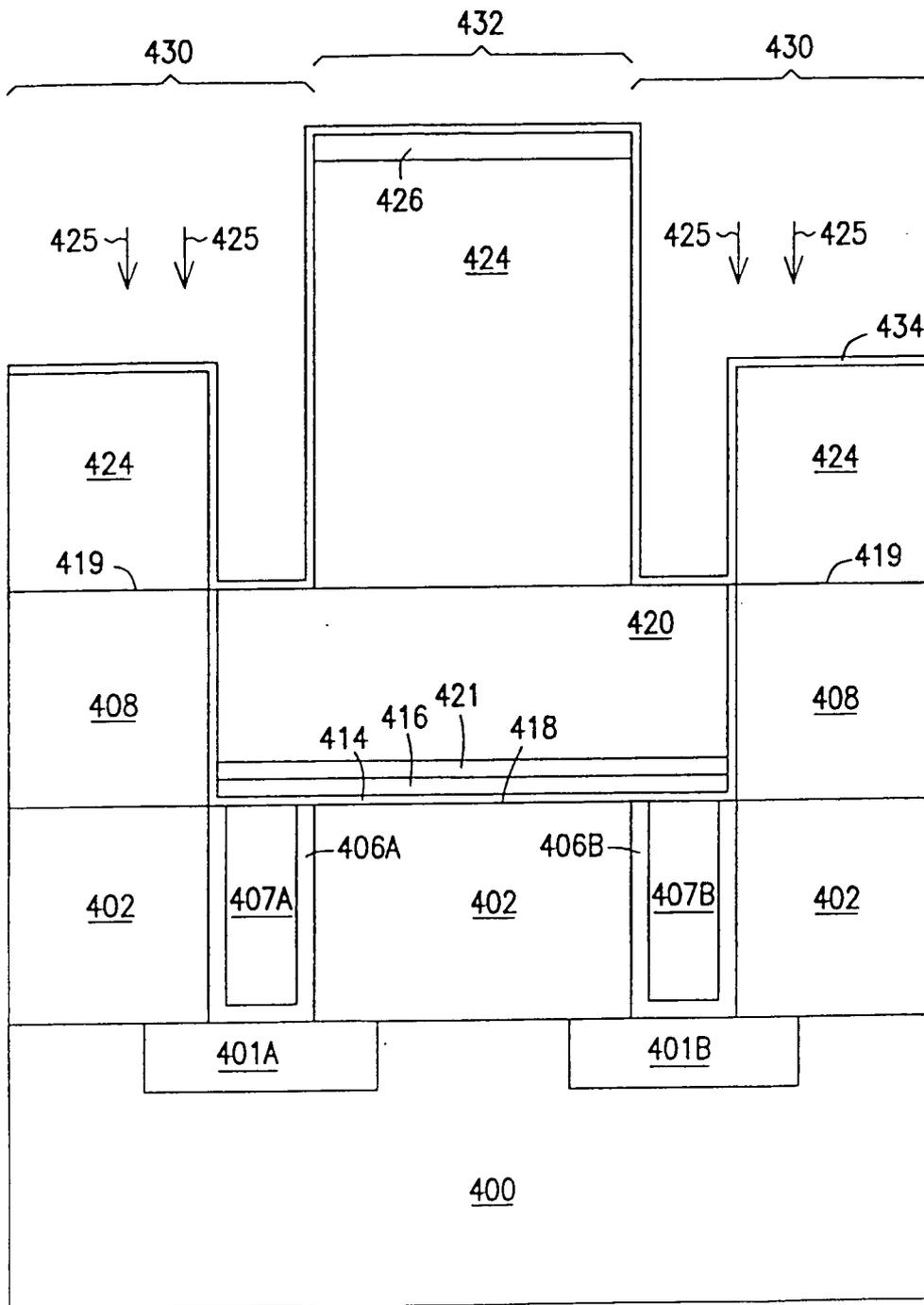


FIG. 4H

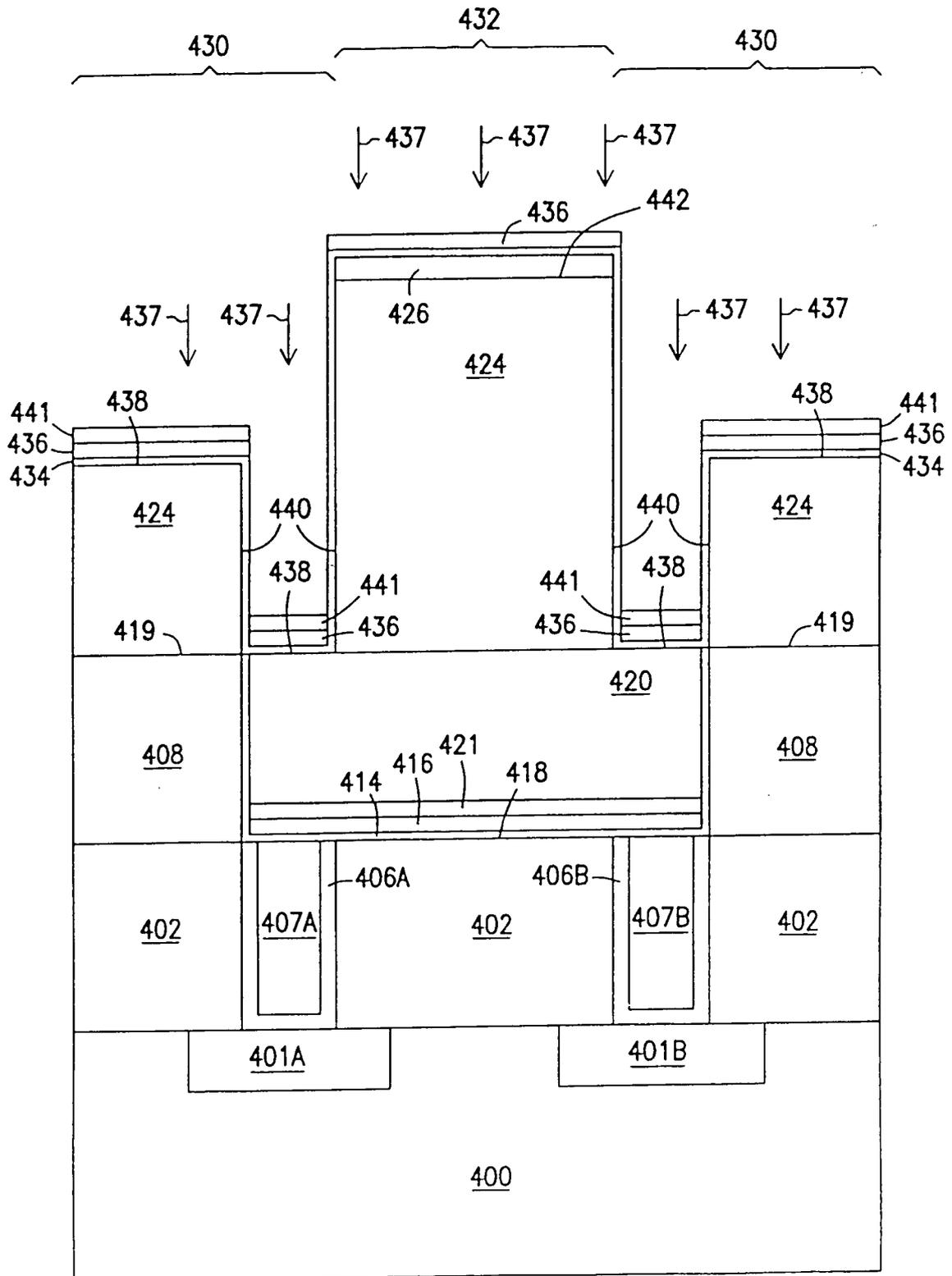


FIG. 41

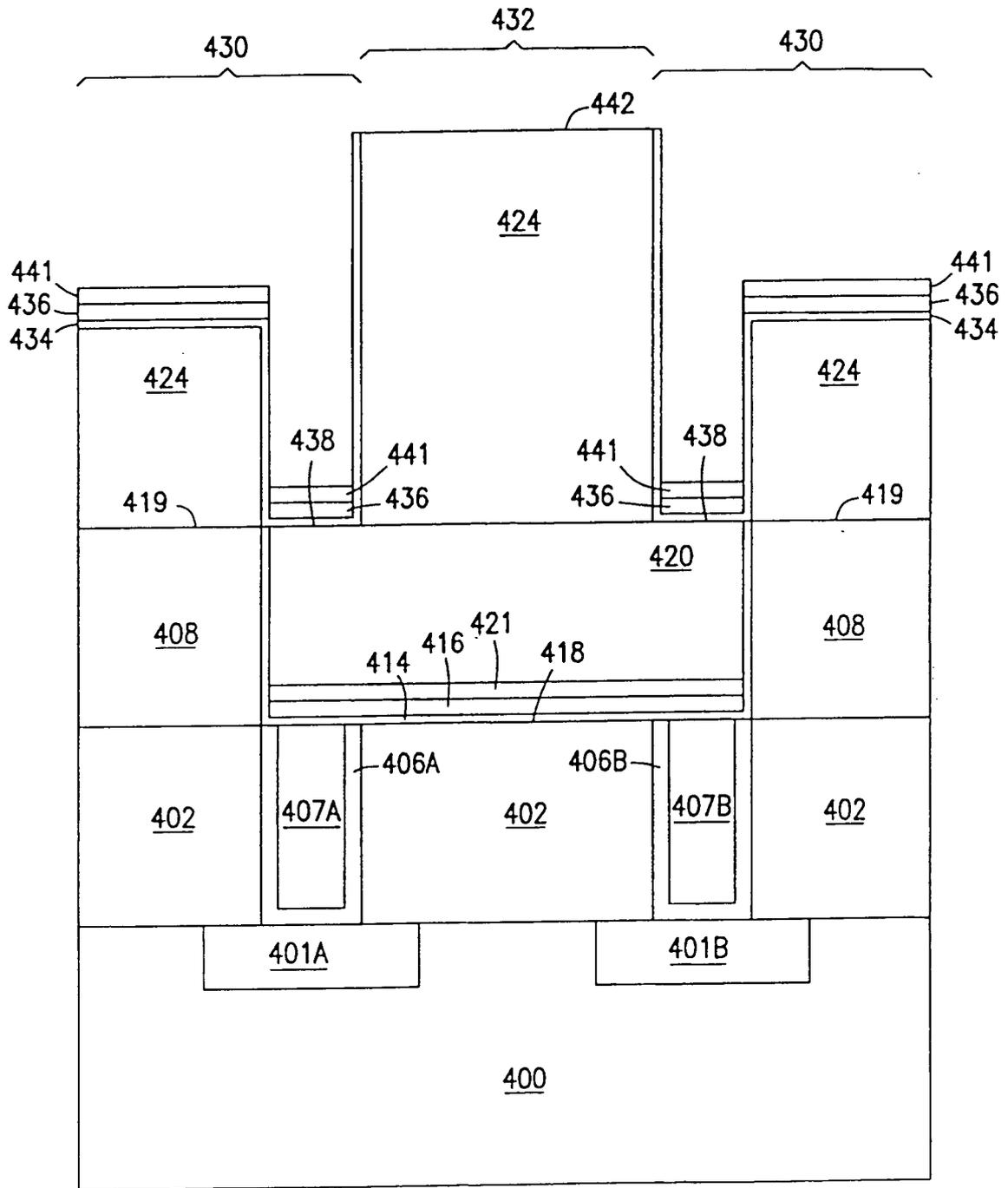


FIG. 4J

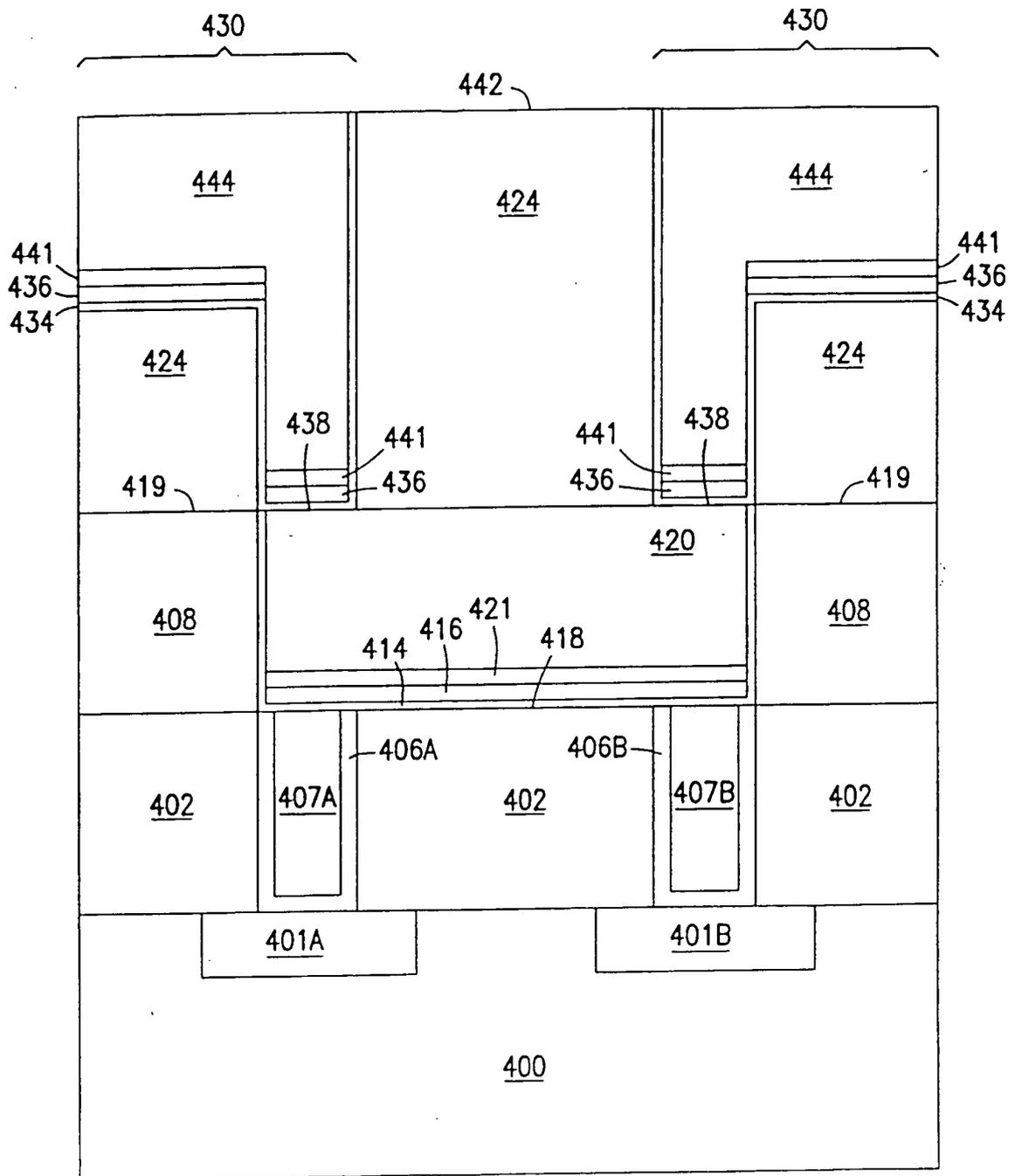


FIG. 4K

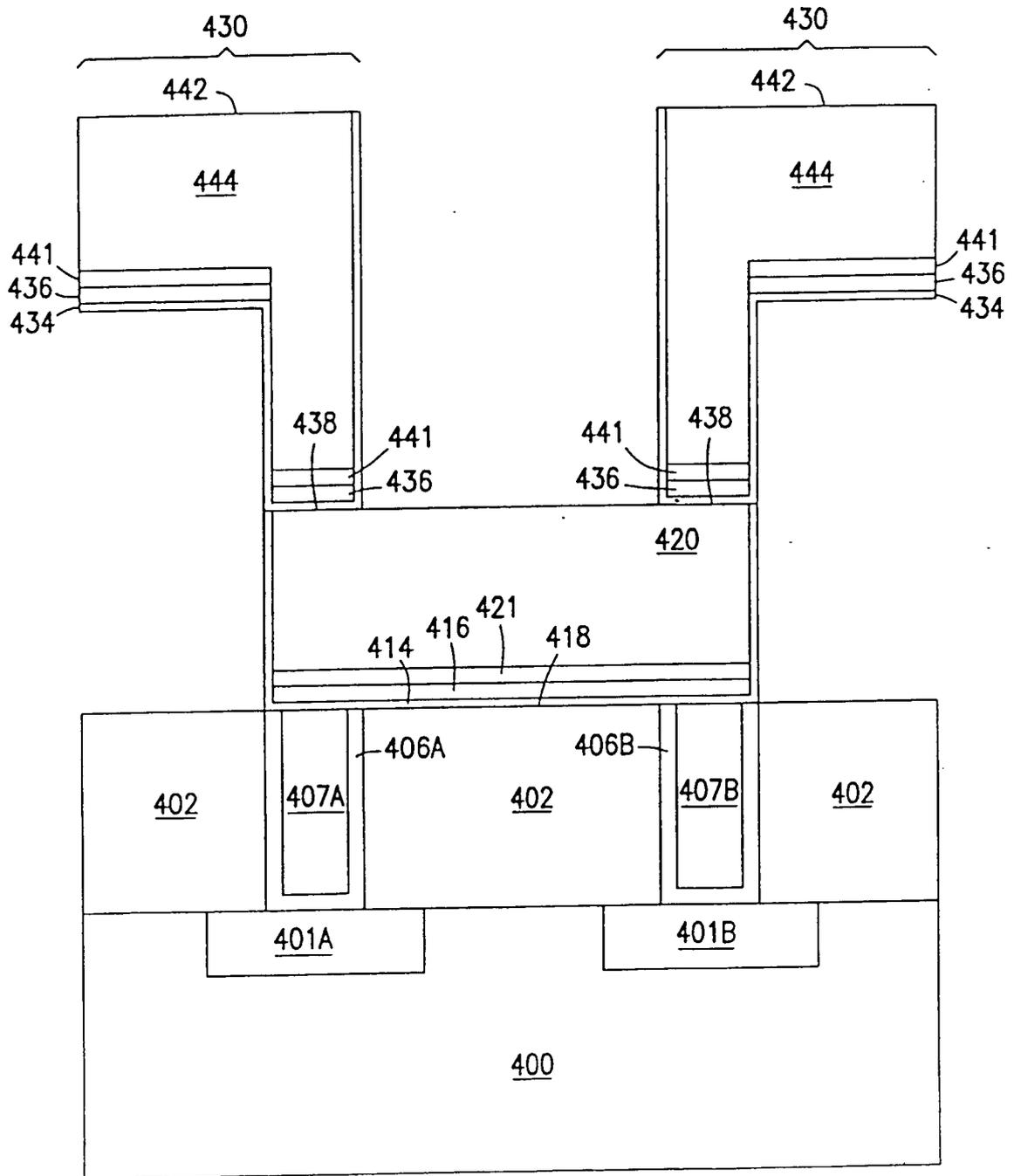


FIG. 4L

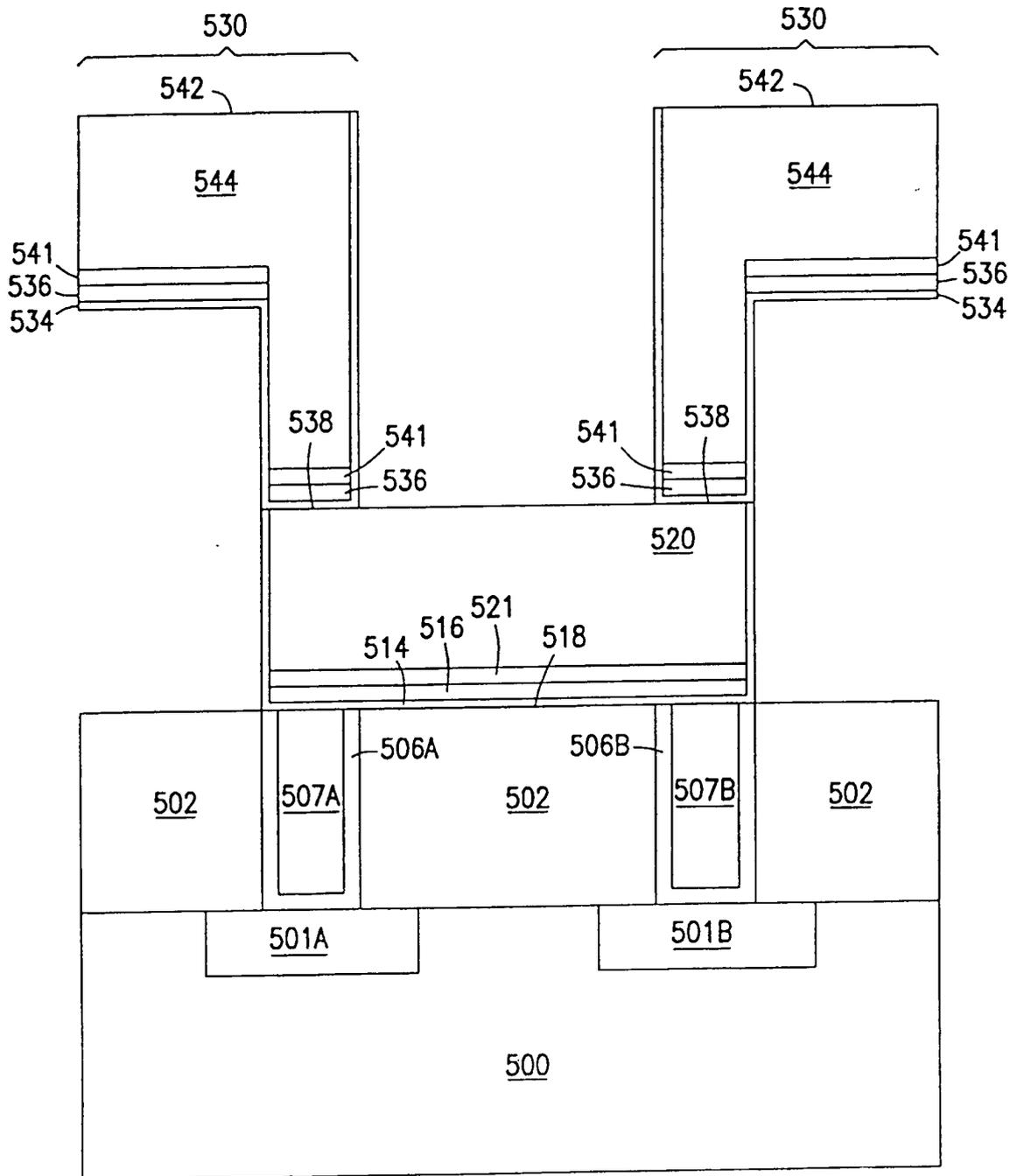


FIG. 5

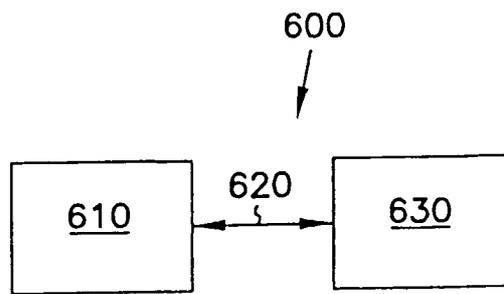


FIG. 6