



(10) **DE 10 2009 010 844 B4** 2018.10.11

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 010 844.0**  
(22) Anmeldetag: **27.02.2009**  
(43) Offenlegungstag: **02.09.2010**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **11.10.2018**

(51) Int Cl.: **H01L 21/321 (2006.01)**  
**H01L 21/3105 (2006.01)**  
**H01L 21/768 (2006.01)**

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

(73) Patentinhaber:  
**Advanced Micro Devices, Inc., Sunnyvale, Calif.,  
US; AMD Fab 36 Limited Liability Company & Co.  
KG, 01109 Dresden, DE**

(74) Vertreter:  
**Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG  
mbB, 80802 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Aubel, Oliver, 01127 Dresden, DE; Hohage,  
Joerg, 01309 Dresden, DE; Feustel, Frank, 01159  
Dresden, DE; Preusse, Axel, 01445 Radebeul, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2005 035 740	A1
DE	10 2005 057 057	A1
US	6 259 160	B1
US	6 869 878	B1
US	2007 0 287 294	A1
US	2008 0 286 966	A1

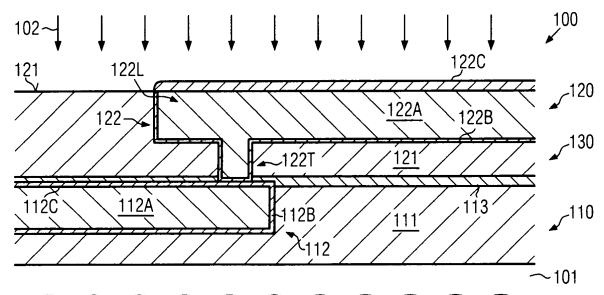
(54) Bezeichnung: **Bereitstellen eines verbesserten Elektromigrationsverhaltens und Verringern der Beeinträchtigung empfindlicher dielektrischer Materialien mit kleinem  $\epsilon$  in Metallisierungssystemen von Halbleiterbauelementen**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung einer Metallisierungsschicht (120) eines Halbleiterbauelements (100), wobei das Verfahren umfasst:

Bilden einer leitenden Deckschicht (122C) auf einer Oberfläche eines Metallgebiets (122A), das lateral in einem ersten dielektrischen Material (121) der Metallisierungsschicht (120) eingebettet ist;

Ausführen einer ersten thermo-chemischen Reinigungsbehandlung (103A) ohne Plasma auf einer freiliegenden Oberfläche (121S) des ersten dielektrischen Materials (121) in Anwesenheit der leitenden Deckschicht (122C);

Verdichten der freiliegenden Oberfläche (121S) des ersten dielektrischen Materials durch Ausführen einer zweiten thermo-chemischen Behandlung (103B) der freiliegenden Oberfläche (121S) ohne Plasma auf der Grundlage einer Silizium enthaltenden Umgebung nach dem Ausführen der ersten thermo-chemischen Behandlung (103A); und  
Bilden eines zweiten dielektrischen Materials (123) auf der freiliegenden Oberfläche (121S) des ersten dielektrischen Materials (121) und der leitenden Deckschicht (122C).



## Beschreibung

### Gebiet der vorliegenden Offenbarung

**[0001]** Im Allgemeinen betrifft die vorliegende Offenbarung Mikrostrukturen, etwa moderne integrierte Schaltungen, und betrifft insbesondere Metallisierungssysteme mit aufwändigen dielektrischen und leitenden Materialien.

### Beschreibung des Stands der Technik

**[0002]** Bei der Herstellung moderner Mikrostrukturen, etwa von integrierten Schaltungen, gibt es ein ständiges Bestreben, die Strukturgrößen von Mikrostrukturbauelementen ständig zu verringern, um die damit die Funktionsweise dieser Strukturen zu verbessern. Beispielsweise haben in modernen integrierten Schaltungen die minimalen Strukturgrößen, etwa die Kanallängen von Feldeffekttransistoren, den Bereich deutlich unter einem Mikrometer erreicht, wodurch das Leistungsverhalten dieser Schaltungen im Hinblick auf die Geschwindigkeit und/oder Leistungsaufnahme und/oder Funktionsvielfalt verbessert wird. Wenn die Größe der einzelnen Schaltungselemente in jeder neuen Schaltungsgeneration verringert wird, wodurch beispielsweise die Schaltgeschwindigkeit der Transistorelemente erhöht wird, wird auch die verfügbare Fläche für Verbindungsleitungen verringert, die elektrisch die einzelnen Schaltungselemente miteinander verbinden. Daher werden die Abmessungen dieser Verbindungsleitungen ebenfalls verringert, um dem geringeren Anteil an verfügbarer Fläche und der größeren Anzahl an Schaltungselementen, die pro Einheitschipfläche vorgesehen sind, Rechnung zu tragen, da typischerweise die Anzahl der erforderlichen Verbindungen schneller ansteigt als die Anzahl der Schaltungselemente. Daher werden für gewöhnlich eine Vielzahl gestapelter „Verdrahtungsschichten“, die auch als Metallisierungsschichten bezeichnet werden, vorgesehen, wobei einzelne Metallleitungen einer einzelnen Metallisierungsschicht mit den einzelnen Metallleitungen einer darüber liegenden oder darunter liegenden Metallisierungsschicht durch sogenannte Kontaktdurchführungen verbunden sind. Trotz des Vorsehens einer Vielzahl von Metallisierungsschichten sind geringere Abmessungen der Verbindungsleitungen erforderlich, um der enormen Komplexität von beispielsweise modernen CPUs, Speicherchips, ASICs (anwendungsspezifische ICs) und dergleichen Rechnung zu tragen.

**[0003]** Moderne integrierte Schaltungen mit Transistorelementen, die eine kritische Abmessung von 0,05  $\mu\text{m}$  und weniger besitzen, werden daher typischerweise bei deutlich erhöhten Stromdichten von bis zu mehreren  $\text{kA pro cm}^2$  in den einzelnen Verbindungsstrukturen betrieben, obwohl eine große Anzahl an Metallisierungsschichten vorgesehen ist, da

eine erhöhte Anzahl an Schaltungselementen pro Einheitsfläche vorgesehen wird. Folglich werden gut etablierte Materialien, etwa Aluminium, Kupfer und Kupferlegierungen ersetzt, d.h. durch Materialien mit einem deutlich geringeren elektrischen Widerstand und einem verbesserten Widerstandsverhalten in Bezug auf Elektromigration selbst bei deutlich höheren Stromdichten im Vergleich zu Aluminium. Das Einführen des Kupfers in den Herstellungsvorgang für Mikrostrukturen und integrierte Schaltungen geht mit einer Vielzahl schwieriger Probleme einher, die in der Eigenschaft des Kupfers begründet liegen, gut in Siliziumdioxid und einer Vielzahl von dielektrischen Materialien mit kleinem  $\epsilon$  zu diffundieren, die häufig in Verbindung mit Kupfer eingesetzt werden, um die parasitäre Kapazität in komplexen Metallisierungsschichten zu verringern. Um die erforderliche Haftung zu erreichen und um die unerwünschte Diffusion von Kupferatomen in empfindliche Bauteilgebiete zu vermeiden, ist daher für gewöhnlich erforderlich, eine Barrierenschicht zwischen dem Kupfer und dem dielektrischen Material vorzusehen, in welchem die Verbindungsstrukturen auf Kupferbasis eingebettet sind. Obwohl Siliziumnitrid ein dielektrisches Material ist, das in effizienter Weise die Diffusion von Kupferatomen unterbindet, ist die Verwendung von Siliziumnitrid als ein dielektrisches Zwischenschichtmaterial wenig wünschenswert, da Siliziumnitrid eine moderat hohe Permittivität besitzt, wodurch die parasitäre Kapazität benachbarter Kupferleitungen erhöht wird, was zu nicht akzeptablen Signalausbreitungsverzögerungen führt. Daher wird eine dünne leitende Barrierenschicht, die dem Kupfer auch die erforderliche mechanische Stabilität verleiht, für gewöhnlich so gebildet, dass das Kupferfüllmaterial von dem umgebenden dielektrischen Material getrennt ist, wodurch die Kupferdiffusion in die dielektrischen Materialien verringert und auch die Diffusion von unerwünschten Sorten, etwa von Sauerstoff, Fluor und dergleichen, in das Kupfer unterdrückt wird. Des Weiteren können die leitenden Barrierenschichten auch starke Grenzflächen mit dem Kupfer bilden, wodurch die Wahrscheinlichkeit verringert wird, dass eine merkliche Materialwanderung an der Grenzfläche stattfindet, die typischerweise ein kritisches Gebiet im Hinblick auf ausgeprägte Diffusionspfade ist, die den Strom hervorgerufenen Materialdiffusionsprozess unterstützen. Aktuell werden Tantal, Titan, Wolfram und ihre Verbindungen mit Stickstoff und Silizium und dergleichen als bevorzugte Kandidaten für eine leitende Barrierenschicht verwendet, wobei die Barrierenschicht zwei oder mehr Teilschichten mit unterschiedlicher Zusammensetzung aufweisen kann, um den Erfordernissen im Hinblick auf die Diffusionsunterdrückung und die Hafteigenschaften zu erfüllen.

**[0004]** Eine weitere Eigenschaft des Kupfers, die es deutlich von Aluminium unterscheidet, ist die Tatsache, dass Kupfer nicht in effizienter Weise in grö-

ßeren Mengen durch chemische und physikalische Dampfabseidungstechniken aufgebracht werden kann, wodurch eine Prozessstrategie erforderlich ist, die üblicherweise als Damaszener- oder Einlege-technik bezeichnet wird. In einem Damaszener-Prozess wird zunächst eine dielektrische Schicht gebildet, die dann strukturiert wird, so dass diese Gräben und/oder Kontaktöffnungen aufweist, die nachfolgend mit Kupfer befüllt werden, wobei, wie zuvor erläutert ist, vor dem Einfüllen des Kupfers eine leitende Barrierenschicht in Seitenwänden der Gräben und Kontaktöffnungen erzeugt wird. Das Abscheiden des Kupferfilmmaterials in die Gräben und Kontaktöffnungen wird für gewöhnlich für nass-chemische Abscheideprozesse, etwa Elektroplattieren oder stromloses Plattieren hergestellt, wobei das zuverlässige Füllen von Kontaktöffnungen mit einem Aspektverhältnis von 5 oder mehr bei einem Durchmesser von 0,3 µm oder weniger in Verbindung mit Gräben mit einer Breite im Bereich von 0,1 µm bis mehrere µm erforderlich ist. Elektrochemische Abscheideprozesse für Kupfer sind auf dem Gebiet der elektronischen Leiterplattenherstellung gut bekannt. Jedoch ist für Abmessung der Metallgebiete in Halbleiterbauelementen die hohlraumfreie Auffüllung von Kontaktöffnungen mit einem großen Aspektfeld zumindest eine extrem komplexe und herausfordernde Aufgabe, wobei die Eigenschaften der schließlich erhaltenen Kupfer basierten Verbindungsstruktur wesentlich von Prozessparametern, Materialien und der Geometrie der interessierenden Struktur abhängen. Da die Geometrie der Verbindungsstrukturen im Wesentlichen durch Entwurfserfordernisse festgelegt ist und daher nicht wesentlich bei einer vorgegebenen Mikrostruktur geändert werden kann, ist es von großer Wichtigkeit, den Einfluss von Materialien, etwa von leitenden und nicht leitenden Barrierenschichten, von dielektrischen Materialien und dergleichen und deren gegenseitige Wechselwirkung auf die Eigenschaften der Erfindungsstruktur als Ganzes zu bewerten und zu steuern, um damit sowohl eine hohe Ausbeute als auch die erforderliche Produktzuverlässigkeit sicherzustellen. Insbesondere ist es wichtig, beeinträchtigende Mechanismen und Auswahlmechanismen in Metallisierungssystemen für diverse Konfigurationen zu erkennen, zu überwachen und einzuschränken, um damit die Bauteilzuverlässigkeit für die neue Bauteilgeneration oder jeden neuen Technologiestandard beizubehalten.

**[0005]** Es werden daher große Anstrengungen unternommen beim Untersuchen der Beeinträchtigung von Kupferverbindungsstrukturen, insbesondere in Verbindung mit dielektrischen Materialien mit kleinem  $\epsilon$  oder mit Materialien mit ultrakleinem  $\epsilon$  (ULK), die eine relative Permittivität von 3,0 oder weniger aufweisen, um damit neue Materialien und Prozessstrategien zu ermitteln, um Kupfer basierte Leitungen und Kontaktdurchführungen mit einer geringen Gesamt-

permittivität und einer erhöhten Zuverlässigkeit herzustellen.

**[0006]** Ein Ausfallmechanismus, von dem angenommen wird, dass er wesentlich zu einem vorzeitigen Bauteilausfall führt, ist der durch die Elektromigration hervorgerufene Materialtransport insbesondere entlang einer Grenzfläche, die zwischen dem Kupfer und einer dielektrischen Deckschicht gebildet ist, die nach dem Einfüllen des Kupfermaterials in die Gräben und Kontaktöffnungen vorgesehen wird, deren Seitenwände durch die leitenden Barrierenmaterialien abgedeckt sind. Zusätzlich zu dem Beibehalten der Kupferintegrität kann die dielektrische Deckschicht auch als eine Netzstoppschicht während der Herstellung der Kontaktdurchführungen in dem Zwischenschichtdielektrikum dienen. Häufig verwendete Materialien sind beispielsweise Siliziumnitrid, Stickstoff enthaltendes Karbid, die eine moderat hohe Ätzselektivität für typischerweise eingesetzte Zwischenschichtdielektrika besitzen, etwa für eine Vielzahl dielektrischer Materialien mit kleinem  $\epsilon$ , und die auch die Diffusion von Kupfer in das Zwischenschichtdielektrikum unterdrücken. Jüngste Untersuchungsergebnisse scheinen jedoch anzudeuten, dass die zwischen dem Kupfer und der dielektrischen Deckschicht gebildete Grenzfläche ein wesentlicher Diffusionspfad für die Materialwanderung während des Betriebs der Metallverbindung ist.

**[0007]** Folglich wurden eine Vielzahl von Alternativen in dem Versuch entwickelt, die Grenzflächeneigenschaften zwischen dem Kupfer und der Deckschicht zu verbessern, die die Fähigkeit hat, das Kupfer zuverlässig einzuschließen und dessen Integrität zu bewahren. Beispielsweise wurde vorgeschlagen, leitende Materialien selektiv auf der Oberseite des Kupfer enthaltenden Gebiets vorzusehen, die eine bessere Elektromigrationsverhaltensweise zeigen, ohne dass der Gesamtwiderstand der entsprechenden Metallleitung in unnötiger Weise verringert wird. Beispielsweise erweisen sich diverse Legierungen, etwa eine Verbindung aus Kobalt/Wolfram/Phosphor (CoWP), eine Verbindung aus Nickel/Molybdän/Phosphor (NiMoP) und dergleichen als vielversprechende Kandidaten für leitende Deckschichten, die deutlich die Elektromigrationswirkungen innerhalb einer entsprechenden Metallleitung verringern können.

**[0008]** Obwohl diese Verbindungen für ein besseres Elektromigrationsverhalten sorgen, ist das Einrichten eines geeigneten Fertigungsablaufes in die gut etablierten Prozessstrategien zur Herstellung komplexer Metallisierungssysteme mit deutlichem Aufwand im Hinblick auf das Vorbereiten der freiliegenden Oberfläche für den entsprechenden elektrochemischen Abscheideprozess verknüpft. Ferner können häufig ernsthafte Defekte in Metallisierungssystemen mit Kupferleitungen einer leitenden Deckschicht beob-

achtet werden, die auf der Grundlage elektrochemischer Abscheidetechniken hergestellt ist, da erhöhte Leckströme und Spannungsüberschläge in derartigen Bauelementen im Vergleich zu Bauelementen auftreten können, die ein Metallisierungssystem auf der Grundlage einer dielektrischen Deckschicht besitzen.

**[0009]** In anderen Strategien wird der Einbau gewisser Sorten in die Kupferoberfläche als geeignete Technik betrachtet, um das gesamte Elektromigrationsverhalten, beispielsweise in Verbindung mit einer entsprechenden Deckschicht oder Ätzstoppschicht, zu verbessern. Daher wird in einigen konventionellen Prozessschemata die freiliegende Oberfläche der Kupferleitungen der Einwirkung einer reaktiven Umgebung ausgesetzt, um damit Silizium, Stickstoff und dergleichen einzubauen, um die Oberflächeneigenschaften der Metallleitungen vor dem Abscheiden des Deckmaterials oder Ätzstoppmaterials zu verbessern. Beispielsweise wird eine Silizium enthaltende und/oder Stickstoff enthaltende Sorte in die reaktive Umgebung eines Plasma basierten Reinigungsprozesses eingeführt, um die Diffusion von Silizium, Stickstoff und dergleichen in Gang zu setzen, wodurch eine entsprechende Kupferverbindung gebildet wird, die deutlich die gesamten Oberflächeneigenschaften verbessern kann. Beispielsweise kann Silan in einer entsprechenden Plasmabehandlung angewendet werden, um eine Silizium/Kupferverbindung herzustellen, die auch als Kupfersilizid bezeichnet wird und die für bessere Elektromigrationseigenschaften sorgt.

**[0010]** Obwohl das Elektromigrationsverhalten der Kupferoberfläche in Verbindung mit einer dielektrischen Deckschicht verbessert werden kann, indem eine Silizium/Stickstoffdiffusion in den Oberflächenbereich des Kupfermaterials initiiert wird, zeigt sich dennoch, dass der Grad der Diffusion sehr steuerbar ist und dass auch die reaktive Plasmaumgebung zu einer ausgeprägten Schädigung freiliegender Oberflächenbereiche empfindlicher dielektrischer Materialien führen kann, insbesondere, wenn ULK-Materialien in komplexen Anwendungen verwendet werden. Aus diesem Grunde werden auch thermo-chemische Behandlungen, beispielsweise zum Reinigen der freiliegenden Kupferoberfläche und zum Initiieren einer Siliziumdiffusion in die Kupferoberfläche eingesetzt, um damit das verbesserte Elektromigrationsverhalten zu erreichen, wobei die Schädigung der empfindlichen dielektrischen Materialien vermieden oder zumindest verringert wird. Andererseits kann die Kupfer/Siliziumverbindung, die sich in und unter der Kupferoberfläche bildet, eine negative Auswirkung auf die Gesamtleitfähigkeit der Metallleitung, insbesondere in Metallisierungssystemen ausüben, in denen hohe Stromdichten bei kleinem Querschnitt erforderlich sind, was zu deutlich ausgeprägten Signalausbreitungsverzögerungen führen kann.

**[0011]** In der US 2007 0 287 294 A1 wird ein Verfahren zum Ausführen einer Oberflächenbehandlung auf einem Substrat, das Metallverbindungen enthält, beschrieben, wobei die Oberflächenbehandlung eine thermische Aufheiztechnik darstellt. Deckschichten werden selektiv über den Metallverbindungen ausgebildet.

**[0012]** In der US 2008 0 286 966 A1 wird das Reinigen einer freigelegten Oberfläche einer kupferbasierten Metallregion mit Hilfe einer thermochemischen Behandlung und das Modifizieren der gereinigten Oberfläche durch eine thermische Behandlung beschrieben. Nachfolgend wird eine Deckschicht auf der freigelegten Oberfläche abgeschieden und es wird ebenso gelehrt, dass die thermochemische Behandlung zum Behandeln der Oberfläche derart verwendet wird, dass eine freigelegte Kupfer enthaltende Oberfläche zum Aufnehmen einer Deckschicht bereitgestellt werden kann.

**[0013]** Angesichts der zuvor beschriebenen Situation betrifft die vorliegende Offenbarung Techniken zur Herstellung komplexer Metallisierungsschichten mit verbessertem Elektromigrationsverhalten und verbessertem elektrischen Verhalten und hohen Durchschlagsspannungen der dielektrischen Materialien, wobei eines oder mehrere der oben erkannten Probleme vermieden oder zumindest deren Auswirkungen reduziert werden.

#### Überblick über die Offenbarung

**[0014]** Im Allgemeinen betrifft die folgende Offenbarung Prozesstechniken, in denen ein verbessertes Verhalten im Hinblick auf die Elektromigration erreicht wird, wobei gleichzeitig das gesamte elektrische Leistungsverhalten des Metallisierungssystems verbessert werden kann. Zu diesem Zweck werden die Materialeigenschaften sehr empfindlicher Materialien mit kleinem  $\epsilon$  oder von ULK-Materialien nicht in unnötiger Weise beeinträchtigt, oder werden sogar nach gewissen Prozessschritten auf der Grundlage einer thermisch-chemischen Behandlung wiederhergestellt. Es wurde erkannt, dass für viele anspruchsvolle dielektrische Materialien mit kleinem  $\epsilon$  das Gesamtverhalten dieser Materialien entscheidend von dem Kohlenstoffanteil abhängt, der deutlich bei Einwirkung reaktiver Plasmaumgebungen verringert wird, wie sie typischerweise während entsprechender Reinigungsprozesse angewendet werden, und wie häufig auch während des Einbaus einer Siliziumsorte in freiliegende Oberflächenbereichen angewendet werden. In einigen anschaulichen hierin offenbarten Aspekten wird folglich eine thermo-chemische Behandlung eingesetzt, die zu einem deutlich geringeren Grad an Kohlenstoffverarmung bei Wechselwirkung mit empfindlichen dielektrischen Materialien mit kleinem  $\epsilon$  führt, während ein Kupfer enthaltendes Metallgebiet eine darauf ausgebildete leitende

Deckschicht aufweisen kann, die zu einem besseren Elektromigrationsverhalten führt und auch als eine effiziente Maske während der thermo-chemischen Behandlung dienen kann. Folglich können die Vorteile eines verbesserten Elektromigrationsverhaltens ohne Beeinträchtigung der Gesamtleitfähigkeit erreicht werden, indem die leitende Deckschicht vorgesehen wird, während gleichzeitig die thermochemische Behandlung zu besseren Eigenschaften des dielektrischen Materials mit kleinem  $\epsilon$  führt, wobei in einigen anschaulichen hierin offenbarten Ausführungsformen eine weitere thermo-chemische Behandlung ausgeführt werden kann auf der Grundlage einer geeigneten Prozessumgebung, etwa einer Silizium enthaltenden Umgebung, die zu einer entsprechenden Verbesserung der Oberflächeneigenschaften des dielektrischen Materials führt. Beispielsweise kann ein gewisser Grad an durch Ätzen verursachten Schäden des empfindlichen dielektrischen Materials mit kleinem  $\epsilon$  „repariert“ werden, wodurch die Oberflächenbedingungen für die weitere Bearbeitung des Halbleiterbauelements verbessert werden, beispielsweise im Hinblick auf das Abscheiden eines weiteren dielektrischen Materials, etwa eines Ätzstoppmaterials oder einer anderen Übergangsmaterialschicht, um darauf ein weiteres dielektrisches Material mit kleinem  $\epsilon$  herzustellen.

**[0015]** Ein anschauliches, hierin offenbartes Verfahren betrifft das Bilden einer Metallisierungsschicht für ein Halbleiterbauelement. Das Verfahren umfasst das Bilden einer leitenden Deckschicht auf einer Oberfläche eines Metallgebiets, die lateral in einem ersten dielektrischen Material der Metallisierungsschicht eingebettet ist. Des Weiteren umfasst das Verfahren das Ausführen einer ersten thermo-chemischen Reinigungsbehandlung an einer freiliegenden Oberfläche des ersten dielektrischen Materials in Anwesenheit der leitenden Deckschicht. Das Verfahren umfasst ferner das Verdichten der freiliegenden Oberfläche des ersten dielektrischen Materials durch Ausführen einer zweiten thermo-chemischen Behandlung der freiliegenden Oberfläche ohne Plasma auf der Grundlage einer Silizium enthaltenden Umgebung nach dem Ausführen der ersten thermo-chemischen Behandlung und das Bilden eines zweiten dielektrischen Materials auf der freiliegenden Oberfläche des ersten dielektrischen Materials und der leitenden Deckschicht.

**[0016]** Ein weiteres anschauliches hierin offenbartes Verfahren umfasst das Bilden eines leitenden Deckmaterials auf einer Kupfer enthaltenden Oberfläche eines Metallgebiets einer Metallisierungsschicht eines Halbleiterbauelements, wobei das Metallgebiet in einem dielektrischen Material mit kleinem  $\epsilon$  der Metallisierungsschicht gebildet ist. Das Verfahren umfasst ferner das Ausführen einer ersten thermo-chemischen Behandlung ohne Plasma an einer freiliegenden Oberfläche des dielektrischen Materials mit

kleinem  $\epsilon$  auf der Grundlage eines Kupferoxid reduzierenden Prozessgases und nach dem Bilden des leitenden Deckmaterials. Das Verfahren umfasst ferner das Ausführen einer zweiten thermo-chemischen Behandlung ohne Plasma an der freiliegenden Oberfläche auf der Grundlage einer Silizium enthaltenden Prozessumgebung nach dem Ausführen der ersten thermo-chemischen Behandlung. Ferner umfasst das Verfahren das Bilden einer dielektrischen Materialschicht auf der leitenden Deckschicht und der freiliegenden Oberfläche des dielektrischen Materials mit kleinem  $\epsilon$ .

**[0017]** Ein noch weiteres anschauliches hierin offenbartes Verfahren betrifft das Bilden einer Metallisierungsschicht eines Halbleiterbauelements. Das Verfahren umfasst das Bilden einer Öffnung in einer dielektrischen Schicht mit kleinem  $\epsilon$  und das Füllen der Öffnung mit einem Kupfer enthaltenden Material, um ein Metallgebiet zu erzeugen. Eine leitende Deckschicht wird auf der Oberfläche des Metallgebiets gebildet und wird ein Reinigungsprozess auf der Grundlage einer Kupfer reduzierenden Gasumgebung in Abwesenheit eines Plasmas und nach dem Bilden des leitenden Deckmaterials ausgeführt. Des Weiteren umfasst das Verfahren das Ausführen eines Oberflächenmodifizierungsprozesses auf der Grundlage einer Silizium enthaltenden Prozessumgebung in Abwesenheit eines Plasmas in der Silizium enthaltenden Prozessumgebung.

#### Figurenliste

**[0018]** Weitere Ausführungsformen des hierin offenbarten Gegenstands sind in den angefügten Patentansprüchen definiert und gehen deutlich aus der folgenden detaillierten Beschreibung hervor, wenn diese mit Bezug zu den begleitenden Zeichnungen studiert wird, in denen:

**Fig. 1a, Fig. 1b** und **Fig. 1d** schematisch Querschnittsansichten eines Halbleiterbauelements während diverser Fertigungsphasen bei der Herstellung von Metallisierungsschichten zeigen, in denen eine thermo-chemische Behandlung auf der Grundlage einer leitenden Deckschicht gemäß anschaulicher Ausführungsformen ausgeführt wird; und

**Fig. 1c** schematisch das Halbleiterbauelement gemäß einer weiteren anschaulichen Ausführungsform zeigt, in der eine zusätzliche thermo-chemische Behandlung ausgeführt wird, um die Eigenschaften eines empfindlichen dielektrischen Materials mit kleinem  $\epsilon$  gemäß noch weiterer anschaulicher Ausführungsformen weiter zu verbessern.

## Detaillierte Beschreibung

**[0019]** Im Allgemeinen stellt die vorliegende Offenbarung Techniken bereit, in denen verbesserte Elektromigrationseigenschaften für Metallgebiete in komplexen Metallisierungssystemen auf der Grundlage eines leitenden Deckmaterials erreicht werden, wobei zusätzliche eine unerwünschte Beeinträchtigung empfindlicher dielektrischer Materialien mit kleinem  $\epsilon$ , etwa eine Kohlenstoffverarmung, ätzabhängige Schädigungen und dergleichen, reduziert werden, so dass das Gesamtverhalten des Metallisierungssystems aufgrund der besseren Elektromigrationseigenschaften mit einer gewünschten hohen Leitfähigkeit bei stabileren und gleichmäßigeren Eigenschaften des dielektrischen Materials, etwa im Hinblick auf eine höhere Durchschlagsspannung und dergleichen, verbessert werden kann. Zu diesem Zweck wird nach dem Herstellen der leitenden Deckschicht in selektiver Weise auf einem freiliegenden Metallgebiet zumindest ein Reinigungsprozess als eine thermo-chemische Behandlung ausgeführt, die als eine Behandlung verstanden werden kann, die in einer Prozessumgebung ausgeführt wird, die ohne Plasma eingerichtet wird, d.h. ohne einen hohen Anteil an ionisierten Teilchen. Es sollte in dieser Hinsicht beachtet werden, dass eine thermo-chemische Prozessumgebung als eine Umgebung zu verstehen ist, in der der Anteil ionisierter Teilchen im Wesentlichen einem Anteil entspricht, der durch die thermische Bewegung von Molekülen und Atomen gemäß spezifizierten Druck- und Temperaturbedingungen erreicht wird. Somit ist ein höherer Anteil an ionisierten Teilchen, wie er durch Wechselwirkung mit einem elektromagnetischen Feld hervorgerufen wird, nicht als eine thermo-chemische Prozessumgebung zu betrachten.

**[0020]** In einigen hierin offenbarten anschaulichen Ausführungsformen wird der thermisch-chemische Reinigungsprozess auf der Grundlage eines Oxid reduzierenden Gases, entweder mit Ammoniakgas und/oder einem Stickstoffgas ausgeführt und führt zu einer effizienten Entfernung von Kontaminationsstoffen, die während der vorhergehenden Prozesse, etwa der Kupferabscheidung, dem chemisch-mechanischen Polieren von überschüssigen Materialien, dem Abscheiden der leitenden Deckschicht und dergleichen, erzeugt werden, wobei auch die Wahrscheinlichkeit in den empfindlichen dielektrischen Materialien mit kleinem  $\epsilon$  verringert wird, dass Kohlenstoff heraus diffundiert, die wesentlich die Gesamteigenschaften des Materials mit kleinem  $\epsilon$  beeinflusst. Während der weiteren Bearbeitung, beispielsweise während des Abscheidens eines weiteren dielektrischen Materials, was auf der Grundlage eines In-situ-Prozesses bewerkstelligt werden kann, in Verbindung mit der vorhergehenden thermo-chemischen Behandlung, können folglich bessere Oberflächenbedingungen geschaffen werden, die zu einer verbes-

serten Isolationsfestigkeit des dielektrischen Materials führen, was wiederum zu einer höheren Zuverlässigkeit des resultierenden Metallisierungssystems beiträgt. In anderen anschaulichen Ausführungsformen wird eine weitere Thermobehandlung auf der Grundlage der Silizium enthaltenden Prozessumgebung ausgeführt, in der ein gewisser Grad an Oberflächenmodifizierung erreicht wird, indem beispielsweise freiliegende Oberflächenbereiche des empfindlichen dielektrischen Materials mit kleinem  $\epsilon$  gehärtet oder verdichtet werden, wodurch noch bessere Oberflächenbedingungen während der weiteren Bearbeitung erreicht werden, oder wodurch der Grad an Schädigung von zuvor ausgeführten Ätz- und Lackabtragungsprozessen reduziert wird, wodurch ebenfalls zu einer besseren Zuverlässigkeit und damit Isolationsfestigkeit beigetragen wird. In einigen anschaulichen Ausführungsformen wird die thermo-chemische Behandlung somit als eine In-situ-Prozessessequenz in Verbindung mit einem Reinigungsschritt und einem nachfolgenden „Siliziumdiffusionsschritt“ ausgeführt, möglicherweise in Verbindung mit einem Abscheideprozess zur Herstellung eines weiteren dielektrischen Materials, etwa eines Siliziumnitridmaterials, eines Stickstoff enthaltenden Siliziumkarbidmaterials und dergleichen. Folglich können in komplexen Metallisierungssystemen, die noch geringere parasitäre Kapazitätswerte für dicht liegende Metallgebiete erfordern, empfindliche dielektrische Materialien mit einer Dielektrizitätskonstanten von 3,0 oder von 2,0 und weniger eingesetzt werden, wobei eine entsprechende Prozesssequenz zu einem ausgeprägten Grad an Schädigung der Materialien führen kann, wodurch zu einer geringeren Zuverlässigkeit im Hinblick auf die Isolationsfestigkeit und dergleichen beigetragen wird. Somit kann eine effiziente Siliziumdiffusion in die freiliegenden Oberflächenbereiche auf der Grundlage einer Plasma freien Behandlung zu einem gewissen Grad der Wiederherstellung der gewünschten Molekularstruktur führen oder kann eine erhöhte Härtedichte des Oberflächenbereichs erzeugen, die wiederum teilweise die mechanische Stabilität dieser Materialien verbessern kann, die häufig in Form eines porösen Materialsystems vorgesehen sind. Beispielsweise kann der Grad der Porosität an den freiliegenden Oberflächenbereichen dieser empfindlichen dielektrischen Materialien verringert werden, indem eine Prozessumgebung während der thermisch-chemischen Behandlung auf der Grundlage von Silizium enthaltenden Substanzen in Form von HMDS (Hexamethyldisilazan) und dergleichen eingerichtet wird. In einigen anschaulichen Ausführungsformen wird die thermo-chemische Behandlung auch vor dem eigentlichen Bilden der Metallgebiete in dem empfindlichen dielektrischen Material ausgeführt, d.h. nach dem Strukturieren des dielektrischen Materials und vor dem Herstellen eines leitenden Barrierenmaterials und dem Abscheiden eines Kupfer enthaltenden Metalls. Auch in diesem Falle kann ein negativer Effekt Plasma basierter Prozes-

se vermieden werden, wobei dennoch bessere Oberflächenbedingungen für die nachfolgenden Prozessschritte erreicht werden.

**[0021]** Mit Bezug zu den begleitenden Zeichnungen werden nunmehr weitere anschauliche Ausführungsformen detaillierter beschrieben.

**[0022]** Fig. 1a zeigt schematisch eine Querschnittsansicht eines Halbleiterbauelements **100** mit einem Substrat **101**, in und über welchem Schaltungselemente, etwa Transistoren und dergleichen, hergestellt sind, die dies für den gesamten Schaltungsaufbau des Bauelements **100** erforderlich ist. Wie zuvor angegeben ist, erfordert die kontinuierliche Verringerung der kritischen Strukturgröße in der Transistorebene des Bauelements, die aktuell bei ungefähr 50 nm und weniger liegen, auch eine entsprechende Anpassung der Strukturgrößen von Metallleitungen und Kontaktdurchführungen in einem Metallisierungssystem **130** des Bauelements **100**. In der in Fig. 1a gezeigten Ausführungsform ist das Metallisierungssystem **130** durch eine erste Metallisierungsschicht **110** und eine zweite Metallisierungsschicht **120** repräsentiert. Es sollte doch beachtet werden, dass das Metallisierungssystem **120** eine beliebige Anzahl an Metallisierungsschichten aufweisen kann, die dies im Hinblick auf die gesamte Komplexität des Bauelements **100** erforderlich ist. Der Einfachheit halber sind derartige weitere Metallisierungsschichten, die über der Schicht **120** ausgebildet sein können, oder die unter der Metallisierungsschicht **110** angeordnet sein können, nicht gezeigt. Die Metallisierungsschicht **110** umfasst ein dielektrisches Material **111**, etwa ein dielektrisches Material mit kleinem  $\epsilon$  mit einer Dielektrizitätskonstanten von 3,0 oder weniger, während in anspruchsvolleren Anwendungen die Dielektrizitätskonstante ungefähr 2,0 oder weniger beträgt, in welchem Falle die entsprechenden Materialien auch als Material mit ultrakleinem  $\epsilon$  (ULK) bezeichnet wird. Die Metallisierungsschicht **110** umfasst ferner ein Metallgebiet oder eine Metallleitung **112**, wobei zu beachten ist, dass typischerweise eine große Anzahl geeigneter Metallgebiete in der Metallisierungsschicht **110** vorgesehen sind. Die Metallleitung oder das Metallgebiet **112** enthält ein gut leitendes Kernmaterial **112a** auf der Grundlage von Kupfer, Silber und dergleichen, während ein leitendes Barrierenmaterial **112b** das Kernmaterial **112a** einschließt, beispielsweise im Hinblick auf die Diffusion in das umgebende dielektrische Material und im Hinblick auf den Einbau reaktiver Komponenten, etwa Sauerstoff, Fluor und dergleichen, in dem dielektrischen Material **111** vorhanden sein können. Wie zuvor erläutert ist, sorgt auch das leitende Barrierenmaterial **112b** für die gewünschte Haftung des Kernmaterials **112a** an dem umgebenden dielektrischen Material **111** und bildet auch eine starke Grenzfläche mit dem gut leitenden Kernmaterial **112a**, um damit das gewünschte Elektromigrationsverhalten zu errei-

chen. Beispielsweise sind Tantal, Tantalnitrid und dergleichen gut etablierte Barrierenmaterialien. In der gezeigten Ausführungsform ist ferner eine leitende Deckschicht **112c** auf dem Kernmaterial **112a** gebildet und ist aus einem beliebigen geeigneten Material aufgebaut, etwa aus einer CoWP-Verbindung und dergleichen, wie dies beispielsweise zuvor erläutert ist. Es sollte jedoch beachtet werden, dass in anderen anschaulichen Ausführungsformen (nicht gezeigt) die leitende Deckschicht **112c** nicht vorgesehen ist, wenn dies für die Metallisierungsschicht als geeignet erachtet wird, während jedoch in anderen Metallisierungsschichten, etwa der Schicht **120**, ein verbessertes Elektromigrationsverhalten in Verbindung mit einer hohen Leitfähigkeit erforderlich ist. Ferner kann eine dielektrische Ätzstoppdeckschicht **113**, die aus Siliziumkarbid, Stickstoff enthaltendem Siliziumkarbid, Siliziumnitrid und dergleichen, aufgebaut sein kann, auf dem dielektrischen Material **111** und auf dem Metallgebiet **112**, beispielsweise auf der leitenden Deckschicht **112c**, gebildet sein, während in anderen Fällen die dielektrische Schicht **113** auch für den erforderlichen Kupfereinschluss und das Elektromigrationsverhalten sorgt.

**[0023]** Die Metallisierungsschicht **120** enthält ein dielektrisches Material **121**, das auch ein dielektrisches Material mit kleinem  $\epsilon$  oder ein ULK-Material repräsentieren kann, das eine mehr oder minder porösen Zustand aufweisen kann, wie dies zuvor erläutert ist. Des Weiteren ist ein Metallgebiet **122** lateral in dem dielektrischen Material **121** eingebettet und enthält ein Kernmaterial **122a**, etwa Kupfermaterial, in Verbindung mit einem leitenden Barrierenmaterial **122b**. In der gezeigten Ausführungsform enthält das Metallgebiet **122** eine Metallleitung **122i** und eine Kontaktöffnung **122v**, die eine Verbindung mit dem Metallgebiet **112** der Metallisierungsschicht **110** herstellt. In dieser Fertigungsphase ist ferner eine leitende Deckschicht **122c**, die aus einem beliebigen geeigneten Metall oder einer Metallverbindung aufgebaut ist, zumindest auf dem Kernmaterial **122a** ausgebildet, so dass für ein verbessertes elektrisches Elektromigrationsverhalten gesorgt wird, ohne dass die Gesamtleitfähigkeit des Metallgebiets **122** unnötig beeinflusst wird.

**[0024]** Das in Fig. 1a gezeigte Halbleiterbauelement **100** kann auf der Grundlage der folgenden Prozesse hergestellt werden. Nach der Herstellung entsprechender Schaltungselemente, etwa Transistoren, in einem Halbleitermaterial, das über dem Substrat **101** vorgesehen ist, wird eine Kontaktstruktur (nicht gezeigt) auf der Grundlage gut etablierter Prozesstechniken gebildet, um damit eine Schnittstelle zwischen den Schaltungselementen, die in und über dem Halbleitermaterial hergestellt sind, und dem Metallisierungssystem **120** zu schaffen. Danach werden einige oder mehrere Metallisierungsschichten hergestellt, etwa die Schicht **110**. Zu diesem Zweck wird

das dielektrische Material **111** auf der Grundlage einer beliebigen geeigneten Abscheidetechnik aufgebracht, etwa durch CVD, Aufschleuderverfahren und dergleichen, wobei dies von der Art des abzuschheidenden Materials abhängt. Wie zuvor erläutert ist, kann das Material **111** einen gewissen Anteil an Kohlenstoff aufweisen, der die gesamten Materialeigenschaften wesentlich beeinflusst. Beispielsweise werden Materialien auf der Grundlage von Silizium, Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff häufig in einem mehr oder minder porösen Zustand verwendet, während in anderen Fällen Polymermaterialien und dergleichen eingesetzt werden. Daraufhin wird das dielektrische Material **111** auf der Grundlage aufwändiger Lithografie- und Ätzstrategien strukturiert, wie dies auch mit Bezug zu der Metallisierungsschicht **120** erläutert wird. Schließlich werden entsprechende Öffnungen, die dem Metallgebiet **122** entsprechen, mit einem Metall enthaltenden Material gefüllt und überschüssiges Material wird entfernt, etwa durch CMP (chemisch-mechanisches Polieren), um elektrisch isolierte Metallgebiete in dem dielektrischen Material **111** zu schaffen. Danach wird die leitende Deckschicht **122c** hergestellt bei Bedarf, woran sich das Abscheiden des dielektrischen Schicht **111** anschließt. Daraufhin wird das dielektrische Material **121** aufgebracht, wie dies zuvor mit Bezug zu dem Material **111** erläutert ist und es wird eine entsprechende Strukturierungssequenz ausgeführt, um einen Graben und eine Kontaktöffnung für die Metallleitung **122i** und die Kontaktöffnung **122t** zu erzeugen. Nach dem Strukturieren des dielektrischen Materials **121** auf der Grundlage gut etablierter Ätztechniken wird in einigen anschaulichen Ausführungsformen (nicht gezeigt) eine geeignete thermochemische Behandlung ausgeführt, wie sie auch nachfolgend mit Bezug zu den **Fig. 1b** und **Fig. 1c** erläutert wird. Daraufhin wird das leitende Barrierenmaterial **122b** abgeschieden, woran sich das Abscheiden des Kernmaterials **122a** und das Entfernen von überschüssigem Material davon anschließt. Als nächstes wird das Bauelement **100** der Einwirkung einer Abscheideumgebung **102** ausgesetzt, die eine beliebige elektrochemische Abscheideumgebung oder eine Gasumgebung repräsentiert, beispielsweise eine CVD-Abscheideumgebung, eine Umgebung für die physikalische Dampfabscheidung, etwa die Sputter-Abscheidung und dergleichen. Zum Beispiel können eine Vielzahl von Metallmaterialien effizient auf der Grundlage elektrochemischer Abscheidungsverfahren aufgebracht werden, beispielsweise durch stromloses Plattieren, in welchem eine freiliegende Oberfläche des Kernmaterials **122a** als ein Katalysatormaterial dient, um ein Abscheiden des Materials aus einer geeigneten Elektrolytlösung in Gang zu setzen. Folglich wird eine sehr selektive Materialabscheidung erreicht, ohne dass zusätzliche Strukturierungsmaßnahmen zum Beschränken der leitenden Deckschicht **122c** auf der Metallleitung **122i** erforderlich sind. In anderen Fällen wird ein anderes geeignetes Abscheideregime ange-

wendet, beispielsweise selektive CVD-ähnliche Abscheidungsverfahren, in denen das Kernmaterial **122a** eine deutlich höhere Abscheiderate im Vergleich zu freiliegenden Oberflächenbereichen **121s** des dielektrischen Materials **121** besitzt.

**[0025]** **Fig. 1b** zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **100**, wenn es einer Prozessumgebung einer ersten thermo-chemischen Behandlung **103a** ausgesetzt ist. Die Prozessumgebung der Behandlung **103a** kann in einer beliebigen geeigneten Prozessanlage eingerichtet werden, etwa einer Abscheidekammer und dergleichen, wenn beispielsweise eine Abscheidung eines weiteren dielektrischen Materials als ein In-situ-Prozess ausgeführt wird. In einer anschaulichen Ausführungsform wird die Prozessumgebung der Behandlung **103a** auf der Grundlage eines Kupfer reduzierenden Gases errichtet, das beispielsweise auf der Grundlage von Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Stickstoff (N<sub>2</sub>) mit einem Druck von ungefähr 1-6 Torr bewerkstelligt werden kann. Zum Beispiel liegt das Verhältnis von Ammoniak zu Stickstoffgas in einem Bereich von ungefähr 1:400-1:1, während in anderen Fällen im Wesentlichen reiner Ammoniak als das reduzierende Gas verwendet wird. Des Weiteren kann das Substrat **101** auf ungefähr 250-500 °C aufgeheizt werden, beispielsweise auf ungefähr 350 °C, um damit eine gewünschte Prozessumgebung für die Behandlung **103a** zu schaffen. Folglich wird ein thermisch induzierter chemischer Reinigungsprozess an der Oberfläche der Deckschicht **122c** und auch an der Oberfläche **121s** des dielektrischen Materials **121** in Gang gesetzt. Wie zuvor angegeben ist, führt die Behandlung **103a** zum Entfernen von Metallresten, die während der vorhergehenden Prozesssequenzen erzeugt wurden, beispielsweise beim Abscheiden der Materialien **122a**, **122b** und beim entsprechenden Entfernen von überschüssigem Material. Auch während des nachfolgenden Prozesses zum Abscheiden der leitenden Deckschicht **122c** können Reste auf der freiliegenden Oberfläche **121s** abgelagert worden sein, die effizient entfernt wurden, wobei auch der Grad an Kohlenstoffverarmung verringert wird, der typischerweise bei Plasma basierten Reinigungsprozessen beobachtet wird.

**[0026]** **Fig. 1c** zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **100** gemäß einer weiteren anschaulichen Ausführungsform, in der das Bauelement **100** zusätzlich zu der thermo-chemischen Behandlung **103a** einer weiteren thermo-chemischen Behandlung **103b** unterzogen wird. Beispielsweise werden die Behandlungen **103a**, **103b** auf der Grundlage einer geeigneten Prozessumgebung ausgeführt, ohne dass das Bauelement **100** der Umgebungsatmosphäre zwischen den Behandlungen **103a** und **103b** ausgesetzt wird. Eine entsprechende Sequenz aus Prozessen wird auch als eine In-situ-Prozesssequenz bezeichnet, unabhängig davon, ob die Prozesse der Sequenz in der gleichen oder unterschiedlichen Pro-

zesskammern ausgeführt werden, solange eine unerwünschte Einwirkung der Umgebungsluft vermieden wird. Die thermisch-chemische Behandlung **103b** kann auf der Grundlage einer Gasumgebung ausgeführt werden, die in einer anschaulichen Ausführungsform eine Silizium enthaltende Gaskomponente, etwa Silan oder Derivate davon, etwa Trimethylsilan (3MS), Tetramethylsilan (4MS), HMDS, und dergleichen, enthält. Auf der Grundlage einer geeigneten Temperatur, etwa bei 250 bis 500 °C für Silan oder Derivate davon, kann somit eine entsprechende Siliziumdiffusion in die freiliegende Oberfläche **121s** initiiert werden, wodurch ein gewisser Grad an Härtung oder Verdichtung der Oberfläche **121s** erreicht wird. In anderen Fällen wird HMDS eingesetzt, um den Oberflächenzustand des Materials **121** zu verbessern, wodurch eine gewünschte Struktur der Oberfläche **121s** sogar „wiederhergestellt“ wird, die zuvor in den vorhergehenden Prozessschritten geschädigt wurde. Es sollte beachtet werden, dass ein erforderlicher Grad an Siliziumdiffusion in die Oberfläche **121s** effizient auf der Grundlage entsprechender Testmessungen ermittelt werden kann, in denen unterschiedliche dielektrische Materialien auf der Grundlage unterschiedlicher Parametereinstellungen für die Behandlung **103b** behandelt werden und indem die Oberflächenzustände nach den diversen Behandlungen ermittelt werden. Folglich kann die freiliegende Oberfläche **121s** so modifiziert werden, dass bessere Oberflächenbedingungen während der weiteren Bearbeitung erreicht werden, beispielsweise während des Abscheidens eines weiteren dielektrischen Materials, wodurch die Wahrscheinlichkeit verringert wird, dass die Eigenschaften des Materials **121** beeinflusst werden, woraus sich somit eine bessere Zuverlässigkeit ergibt, wie dies zuvor erläutert ist. Gleichzeitig kann die Deckschicht **121c** als eine Schutzschicht dienen, um damit eine unerwünschte Siliziumdiffusion in das Kernmaterial **122a** zu verhindern, was ansonsten zu einer geringeren Gesamtleitfähigkeit führen würde, wie dies auch zuvor erläutert ist.

**[0027]** Fig. 1d zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **100**, wenn es der Einwirkung einer Abscheideumgebung **104** nach Ausführen der Behandlung **103a** (siehe Fig. 1b) und, in einigen anschaulichen Ausführungsformen, auch der Behandlung **103b** (siehe Fig. 1c) unterliegt. Die Abscheideumgebung **104** kann auf der Grundlage beliebiger geeigneter Prozessparameter und Vorstufenmaterialien eingerichtet werden, um eine gewünschte Zusammensetzung einer dielektrischen Schicht **123** zu erhalten, die als ein Ätzstoppmaterial oder als geeignete Übergangsschicht dient, um darauf ein weiteres dielektrisches Material zu bilden. In einer anschaulichen Ausführungsform repräsentiert der Abscheideprozess **104** einen einzelnen Prozess einer Prozesssequenz, die zumindest die Behandlung **103a** (siehe Fig. 1b) umfasst, wobei die Prozesssequenz als ein In-situ-Pro-

zess in dem vordefinierten Sinne ausgeführt wird. In anderen anschaulichen Ausführungsformen wird zusätzlich die Behandlung **103b** (siehe Fig. 1c) ausgeführt und repräsentiert ebenfalls einen Teil der Prozesssequenz, wobei die Abscheideumgebung **104** in der gleichen Prozesskammer wie die Prozessumgebung der Behandlung **103b** eingerichtet wird. Zu diesem Zweck wird in einigen anschaulichen Ausführungsformen ein Plasma eingerichtet, um das Abscheiden von Silizium, Stickstoff und Kohlenstoff in Gang zu setzen, um somit die dielektrische Schicht **123** zu bilden. Während des Abscheidens der Materialschicht **123** führt somit die verbesserte Oberfläche **121s**, die während der vorhergehenden einen oder mehreren thermo-chemischen Behandlungen erhalten wird, zu einer besseren Abscheidegleichmäßigkeit und damit stabilen und zuverlässigen Gesamteigenschaften, etwa einer verbesserten Isolationsfestigkeit und dergleichen. Es sollte beachtet werden, dass eine beliebige gewünschte Materialzusammensetzung während des Prozesses **104** aufgebracht werden kann, etwa in Form zweier oder mehrerer unterschiedlicher Materialschichten in Form von Siliziumkarbid, Siliziumnitrid, Stickstoff enthaltendem Siliziumkarbid und dergleichen.

**[0028]** Danach kann die weitere Bearbeitung fortgesetzt werden, in dem ein weiteres dielektrisches Material, etwa ein ULK-Material und dergleichen, aufgebracht wird und darin geeignete Metallleitungen und Kontaktdurchführungen hergestellt werden, wie dies auch mit Bezug zu den Metallisierungsschichten **110** und **120** beschrieben ist.

**[0029]** In einigen anschaulichen Ausführungsformen werden die thermo-chemischen Behandlungen **103a**, **103b**, wie sie mit Bezug zu den Fig. 1b und Fig. 1c beschrieben sind, auch als eine Prozesssequenz nach dem Strukturieren des dielektrischen Materials **121** angewendet, wie dies zuvor erläutert ist. Beispielsweise ist während des Strukturierens des dielektrischen Materials **121** eine komplexe Ätzstrategie anzuwenden, wobei die Herstellung einer Lackmaske erforderlich ist, möglicherweise in Verbindung mit einem Hartmaskenmaterial, um durch die dielektrische Schicht **121** zu ätzen und um einen entsprechenden Graben für die Metallleitung **122i** zu bilden (siehe Fig. 1a). Nach dieser komplexen Strukturierungssequenz kann die wiederholte Einwirkung einer reaktiven Umgebung, etwa von anisotropen Ätzrezepten, Lackabtragungsprozessen und dergleichen, daher zu einem deutlichen Grad an Schädigung freiliegender Oberflächenbereiche des dielektrischen Materials **121** führen. In diesem Falle führt das Anwenden der Sequenz aus Behandlungen **103a**, **103b** der Fig. 1b und Fig. 1c zu einem effizienten Abtragen von Kontaminationsstoffen und auch zu einer entsprechenden „Verstärkung“ der freiliegenden Oberflächenbereiche des dielektrischen Materials **121**. Folglich kann die Kohlenstoffverarmung

während der weiteren Bearbeitung verringert werden und es können auch die Oberflächenbedingungen verbessert werden, indem etwa die freiliegenden Oberflächenbereiche gehärtet oder verdichtet werden. Beim Abscheiden des leitenden Barrierenmaterials **122b** wird somit eine zuverlässigere Abdeckung erreicht, da der Grad an Porosität und die Ätزشädigung an den Oberflächenbereichen des Materials **121** deutlich verringert sind. Aufgrund des Vermeidens eines Plasma in der Sequenz **103a**, **103b** können zusätzliche Schäden vermieden werden.

**[0030]** Es gilt also: die vorliegende Offenbarung stellt Techniken bereit, in denen ein verbessertes Elektromigrationsverhalten auf der Grundlage einer leitenden Deckschicht erreicht wird, wobei zusätzlich bessere Materialeigenschaften empfindlicher dielektrischer Materialien erhalten werden, in dem ein Plasma freier Reinigungsprozess möglicherweise in Verbindung mit einem Oberflächenmodifizierungsprozess auf der Grundlage von beispielsweise einer Silizium enthaltenden Prozessumgebung angewendet wird.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Metallisierungsschicht (120) eines Halbleiterbauelements (100), wobei das Verfahren umfasst:

Bilden einer leitenden Deckschicht (122C) auf einer Oberfläche eines Metallgebiets (122A), das lateral in einem ersten dielektrischen Material (121) der Metallisierungsschicht (120) eingebettet ist;

Ausführen einer ersten thermo-chemischen Reinigungsbehandlung (103A) ohne Plasma auf einer freiliegenden Oberfläche (121S) des ersten dielektrischen Materials (121) in Anwesenheit der leitenden Deckschicht (122C);

Verdichten der freiliegenden Oberfläche (121S) des ersten dielektrischen Materials durch Ausführen einer zweiten thermo-chemischen Behandlung (103B) der freiliegenden Oberfläche (121S) ohne Plasma auf der Grundlage einer Silizium enthaltenden Umgebung nach dem Ausführen der ersten thermo-chemischen Behandlung (103A); und

Bilden eines zweiten dielektrischen Materials (123) auf der freiliegenden Oberfläche (121S) des ersten dielektrischen Materials (121) und der leitenden Deckschicht (122C).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste thermo-chemische Reinigungsbehandlung (103A) unter Anwendung Oxid reduzierender Gase ausgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Oxid reduzierenden Gase Ammoniakgas und/oder Stickstoffgas enthalten.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste thermo-chemische Behandlung (103A) bei einer Pro-

zesstemperatur von ungefähr 250 °C bis 500 °C ausgeführt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das erste dielektrische Material (121) ein Kohlenstoff enthaltendes Material mit einer Dielektrizitätskonstanten von ungefähr 2,7 oder weniger ist.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste thermo-chemische Behandlung (103A), die zweite thermo-chemische Behandlung (103B) und das Abscheiden des zweiten dielektrischen Materials (123) als eine Prozesssequenz ausgeführt werden, ohne dass das Halbleiterbauelement der Einwirkung der Umgebungsatmosphäre ausgesetzt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Silizium enthaltende Umgebung auf der Grundlage von Silan und/oder Trimethylsilan und/oder Tetramethylsilan und/oder Hexamethyldisilazan (HMDS) eingerichtet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Metallgebiet (122A) Kupfer und ein leitendes Barrierenmaterial aufweist.

9. Verfahren mit:  
Bilden eines leitenden Deckmaterials (122C) auf einer Kupfer enthaltenden Oberfläche eines Metallgebiets (122A) einer Metallisierungsschicht (120) eines Halbleiterbauelements,  
wobei das Metallgebiet (122A) in einem dielektrischen Material (121) mit kleinem  $\epsilon$  der Metallisierungsschicht (120) hergestellt ist;  
Ausführen einer ersten thermo-chemischen Behandlung (103A) ohne Plasma an einer freiliegenden Oberfläche (121S) des dielektrischen Materials (121) mit kleinem  $\epsilon$  auf der Grundlage eines Kupferoxid reduzierenden Prozessgases und nach dem Bilden des leitenden Deckmaterials;  
Ausführen einer zweiten thermo-chemischen Behandlung (103B) ohne Plasma an der freiliegenden Oberfläche (121S) auf der Grundlage einer Silizium enthaltenden Prozessumgebung nach dem Ausführen der ersten thermo-chemischen Behandlung (103A); und  
Bilden einer dielektrischen Materialschicht (123) auf der leitenden Deckschicht (122C) und der freiliegenden Oberfläche (121S) des dielektrischen Materials (121) mit kleinem  $\epsilon$ .

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die Silizium enthaltende Prozessumgebung auf der Grundlage von Silan und/oder Trimethylsilan und/oder Tetramethylsilan und/oder Hexamethyldisilazan (HMDS) eingerichtet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9, wobei das reduzierende Prozessgas Ammoniakgas und/oder Stickstoffgas aufweist.

12. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die erste und zweite thermo-chemische Behandlung (103A, 103B) bei einer Prozesstemperatur von ungefähr 250 °C bis 500 °C ausgeführt werden.

13. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die zweite thermo-chemische Behandlung und das Bilden der dielektrischen Materialschicht (123) als eine kontinuierliche Prozesssequenz ausgeführt werden, ohne dass das Halbleiterbauelement der Einwirkung der Umgebungsatmosphäre ausgesetzt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die erste thermo-chemische Behandlung (103A), die zweite thermo-chemische Behandlung (103B) und das Bilden der dielektrischen Materialschicht (123) als eine zusammenhängende Prozesssequenz ausgeführt werden, ohne dass das Halbleiterbauelement der Einwirkung der Umgebungsatmosphäre ausgesetzt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 9, das ferner umfasst: Bilden eines Grabens in dem dielektrischen Material mit kleinem  $\epsilon$  und eines Grabens mit einem Kupfer enthaltenden Material, um das Metallgebiet (122A) herzustellen, wobei mindestens eine weitere thermo-chemische Behandlung vor dem Füllen des Grabens ausgeführt wird.

16. Verfahren zur Herstellung einer Metallisierungsschicht (120) eines Halbleiterbauelements, wobei das Verfahren umfasst:  
Bilden einer Öffnung in einer dielektrischen Schicht (121) mit kleinem  $\epsilon$ ;  
Füllen der Öffnung mit einem Kupfer enthaltenden Material, um ein Metallgebiet (122A) herzustellen;  
Bilden einer leitenden Deckschicht (122C) auf einer Oberfläche des Metallgebiets (122A);  
Ausführen eines Reinigungsprozesses (103A) auf der Grundlage einer Kupfer reduzierenden Gasumgebung in Abwesenheit eines Plasmas und nach dem Bilden der leitenden Deckschicht; und  
Ausführen eines Oberflächenmodifizierungsprozesses auf der Grundlage einer Silizium enthaltenden Prozessumgebung in Abwesenheit eines Plasmas in der Silizium enthaltenden Prozessumgebung.

17. Verfahren nach Anspruch 16, das ferner umfasst: Bilden einer dielektrischen Materialschicht auf dem dielektrischen Material (121) mit kleinem  $\epsilon$  und der leitenden Deckschicht (122C).

18. Verfahren nach Anspruch 16, wobei das dielektrische Material (121) mit kleinem  $\epsilon$  Kohlenstoff aufweist.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

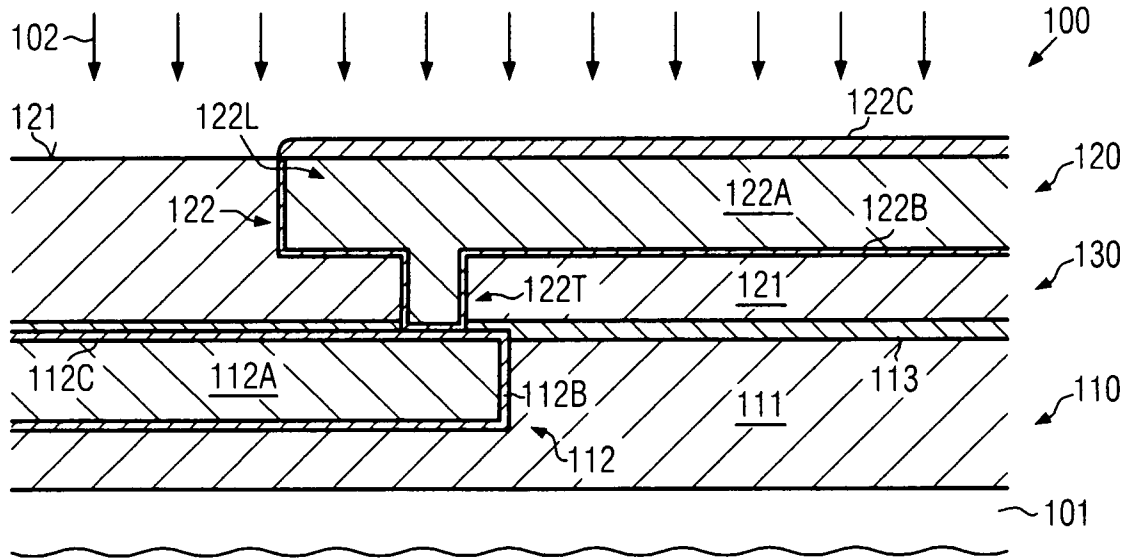


FIG. 1a

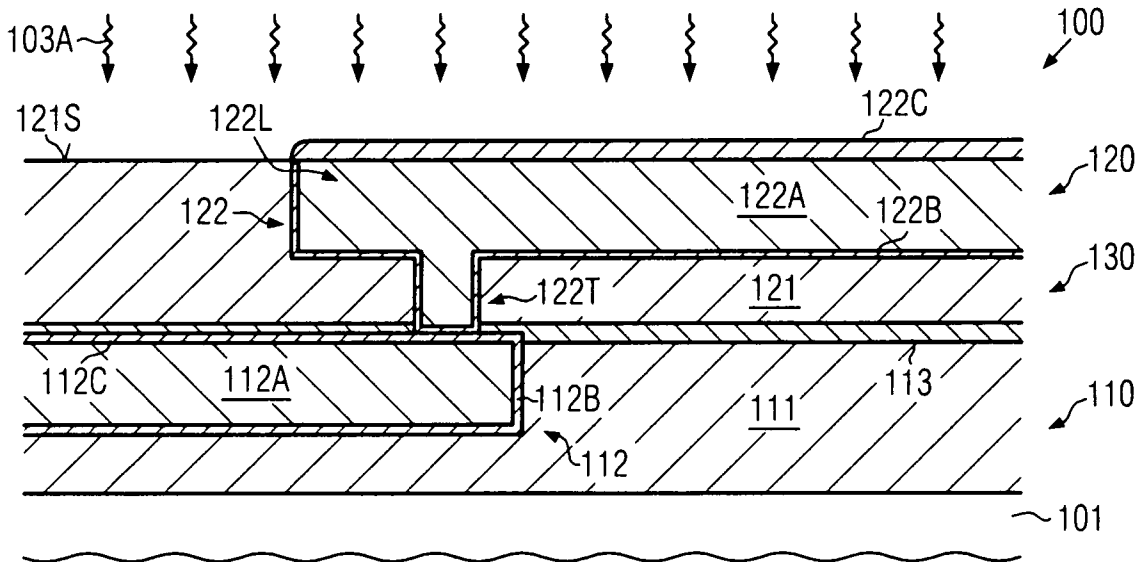


FIG. 1b

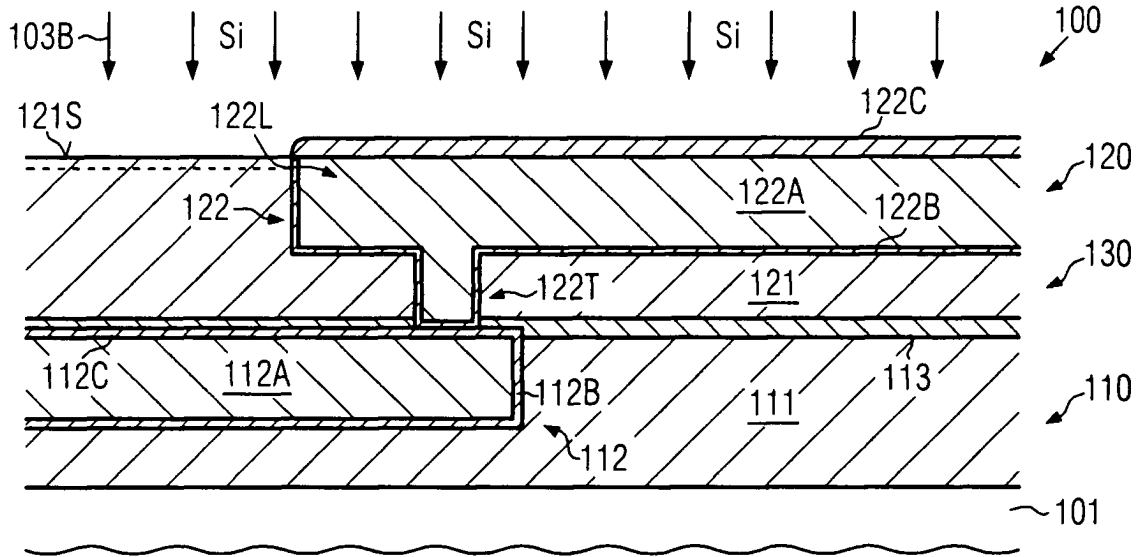


FIG. 1c

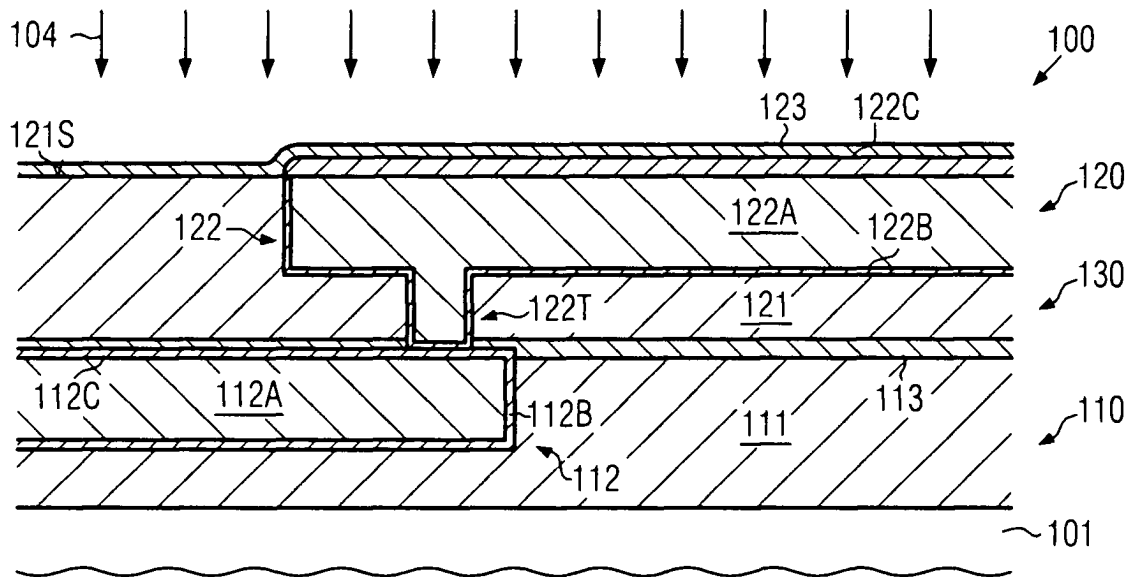


FIG. 1d