



(10) **DE 11 2011 103 146 B4** 2015.02.26

(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2011 103 146.7**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2011/047152**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2012/039850**
(86) PCT-Anmeldetag: **10.08.2011**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **29.03.2012**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **25.07.2013**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **26.02.2015**

(51) Int Cl.: **H01L 23/532 (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).

(30) Unionspriorität:
12/885,596 **20.09.2010** **US**

(73) Patentinhaber:
**International Business Machines Corporation,
Armonk, N.Y., US**

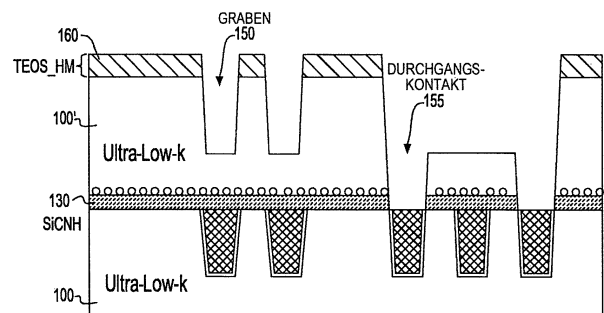
(74) Vertreter:
**Richardt Patentanwälte Part GmbH, 65185
Wiesbaden, DE**

(72) Erfinder:
**Bao, Junjing, Hopewell Junction, N.Y., US; Lustig,
Naftali E., Hopewell Junction, N.Y., US; Cheng,
Tien-jen J., Hopewell Junction, N.Y., US**

(56) Ermittelter Stand der Technik:
US 2008 / 0 122 103 A1
US 2008 / 0 166 506 A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Verbessern der mechanischen Eigenschaften von Halbleiterzwischenverbindungen mit Nanopartikeln**

(57) Hauptanspruch: Mehrschichtige Halbleiterstruktur, die aufweist:
eine dielektrische Ultra-low-k(ULK)-Schicht (100), wobei die dielektrische ULK-Schicht eine Vielzahl darin gebildeter Gräben (180) und Durchgangskontakte (150) aufweist, die mit Metall gefüllt sind;
eine Deckschicht (130), worauf die dielektrische ULK-Schicht (100) angeordnet ist; und
Nanopartikel (120), die eine Monoschicht an einer Grenzfläche zwischen der dielektrischen ULK-Schicht und der Deckschicht bilden.



Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein integrierte Halbleiterschaltkreise und -einheiten und insbesondere die Verwendung von Nanopartikeln bei der Bearbeitung von Halbleiterzwischenverbindungen.

HINTERGRUND

[0002] Auf der Grundlage von Halbleitern hergestellte Einheiten und Schaltkreise bestehen aus aktiven Einheiten, üblicherweise Transistoren, auf einer Silicium-Wafer-Oberfläche und einem Satz von Leitungen, die diese miteinander verbinden. Dieser Satz von Leitungen wird üblicherweise als Back-end-of-line (BEOL) bezeichnet, während die aktiven Transistoren als Front-end-of-line (FEOL) bezeichnet werden. Ein komplexes Netz leitender Zwischenverbindungen ist nötig, um die große Anzahl von Einheiten elektrisch miteinander zu verbinden und so funktionsfähige Schaltkreise zu erzeugen. Dies wird dadurch erreicht, dass eine Mehrschichtstruktur aufgebaut wird, die aus metallischen Leitungen besteht, die in ein isolierendes dielektrisches Medium eingebettet sind. Moderne Hochgeschwindigkeits-Zwischenverbindungen bestehen üblicherweise aus Kupferleitungen (Cu), die durch Stoffe mit niedriger Dielektrizitätskonstante (Low-k) voneinander isoliert werden. Die Zwischenverbindungsstruktur kann aus bis zu fünfzehn vertikal übereinander gestapelten Metallebenen bestehen, zwischen denen Durchgangskontakte eine leitende Verbindung herstellen. Die Leitungen sind durch ihre Linienbreite und den Abstand zu ihrem nächsten Nachbarn gekennzeichnet. Die Summe aus dieser Linienbreite und dem Abstand wird als Rasterweite bezeichnet. Die ersten paar Verdrahtungsebenen werden mit der technologisch kleinstmöglichen Rasterweite hergestellt, die durch die Lithografie vorgegeben ist. Die kleine Rasterweite ermöglicht das Erstellen der dichtest gepackten Verschaltung, während die höheren Ebenen mit einem Vielfachen der Mindest rasterweite erstellt werden. Diese hierarchische Struktur ermöglicht dicke breite Leitungen, die auch als dicke Drähte bezeichnet werden, in den höheren Ebenen, die üblicherweise zur Verbreitung von Signalen auf dem Chip und zur Versorgung mit elektrischem Strom verwendet werden. Das dielektrische Material dient nicht nur als elektrischer Isolator, sondern unterstützt die Mehrschichtstruktur auch mechanisch.

[0003] Gegenwärtig werden Mehrschichtstrukturen aus Cu/Low-k-Dielektrikum üblicherweise durch einen Dual-Damaszener-Prozess wie folgt gebildet: das Dielektrikum wird flächendeckend als Dünnschicht abgeschieden, lithografisch strukturiert und dann einem reaktiven Ionenätzprozess (RIE) unter-

zogen, um sowohl Gräben als auch Durchgangskontakte zu erzeugen. Die Struktur wird dann mit einer Sperrschicht aus hochschmelzendem Metall wie beispielsweise Ta und TaN_x und anschließend durch Sputtern mit einer dünnen Schicht aus Kupferkeimen beschichtet. Die Keimschicht ermöglicht die elektrochemische Abscheidung (electrochemical deposition, ECD) einer dicken Kupferschicht, die die Löcher ausfüllt. Durch mechanisch-chemisches Polieren (CMP) wird das überschüssige Kupfer entfernt und die Oberfläche planarisiert. Abschließend wird oberhalb der strukturierten Kupferleitungen eine dünne dielektrische Schicht abgeschieden, die auch als „Deckschicht“ bekannt ist. Dieser Dual-Damaszener-Prozess wird auf jeder der gebildeten höheren Ebenen wiederholt.

[0004] Gemäß der Vorhersage durch das Moore'sche Gesetz werden die Halbleitereinheiten immer mehr verkleinert, um die Leistungsfähigkeit der Einheiten zu verbessern und mehr Transistoren auf dem Substrat unterzubringen. Die entsprechende Verkleinerung der Zwischenverbindungsstruktur verursacht eine Zunahme des parasitären Widerstands (R) und der parasitären Kapazität (C), die auf die Cu/Low-k-Zwischenverbindungen zurückzuführen sind. Das Produkt RC stellt ein Maß für die Verzögerungszeit dar, die durch die BEOL in die Schaltlogik eingeführt wird. Um die RC-Verzögerung zu verringern, werden Low-k- und Ultra-low-k(ULK)-Materialien als Dielektrika verwendet.

[0005] Eine typische Variante für ein Low-k-Dielektrikum ist ein Organo-Silikatglas-Material, das auch als SiCOH bezeichnet wird. Es besteht aus einem Gerüst aus vernetzten SiO₂-analogen Tetraederstrukturen und beispielsweise -CH₃ oder -H als terminale Gruppe oder Seitenkette, um die Polarisierbarkeit zu verringern, die Porosität zu erhöhen und die Volumendichte zu verringern. Die Low-k-Dielektrika werden üblicherweise durch einen plasmagestützten chemischen Abscheidungsprozess aus der Gasphase (PECVD) abgeschieden, bei dem das organische Ausgangsmaterial für die porenbildende Opfersubstanz (z. B. Cyclohexan und Ähnliches) mit dem Matrix-Ausgangsmaterial für die Low-k-Gerüststruktur (z. B. Decamethylcyclopentasiloxan, Diethoxymethylsilan, Dimethyldimethoxysilan, Tetramethylcyclotetrasilan, Octamethylcyclotetrasilan und Ähnliches) gemischt wird. Auf den Abscheidungsschritt folgt ein Ultraviolett(UV)-Härtungsprozess, um den flüchtigen organischen Porenbildner zu entfernen, der nur locker an dem Low-k-Gerüst haftet. Das führt dazu, dass das Low-k-Dielektrikum porös wird. Außerdem bewirkt der UV-Härtungsprozess eine Vernetzung des Low-k-Dielektrikums und verbessert dessen mechanische Festigkeit. Es ist jedoch bekannt, dass ULK-Dünnschichten mechanisch schwächer als deren nicht poröse Low-k-Analoga sind. Die Porosität und die verringerte Dielektrizitätskonstante geht mit

einer Verringerung des Elastizitätsmoduls der Dünnschicht einher. Typische ULK-Moduln liegen je nach Porositätsgrad im Bereich von 2 bis 8 GPa, wodurch die ULK-Dünnschichten während der BEOL-Verarbeitung und der Kapselung der Chips besonders anfällig gegen mechanische Spannungen werden.

[0006] Die dielektrische Dünnschicht, welche die Oberseite der metallischen Damaszenerstruktur bedeckt, verhindert das Ausdiffundieren von Kupfer in das umgebende Low-k-Dielektrikum. In Hinblick auf die Leistungsfähigkeit und Beständigkeit sind die physikalischen und elektrischen Eigenschaften der dielektrischen Deckschicht wie beispielsweise die Durchbruchspannung, die Haftung am darunter liegenden Metall und den Dielektrika, die Dichtheit, die inneren Spannungen und der Elastizitätsmodul besonders wichtig. Im Allgemeinen tragen mechanisch unter Druckspannung stehende Dünnschichten mit einer guten Haftung auf Kupfer dazu bei, die Elektromigration von Cu zu unterdrücken, und erzeugen eine mechanisch stabile Struktur. Dichtere unter Druckspannung stehende Dünnschichten neigen auch zu einer höheren Durchbruchspannung und bieten eine höhere Dichtheit und Passivierung der Kupferleitungen. Als typische dielektrische Sperrschicht wird in der modernen Halbleiterfertigung ein amorphes nitrifiziertes Siliciumcarbid (SiCNH) verwendet.

[0007] Die im Härtingsprozess von ULK-Dielektrika verwendete UV-Strahlung liegt in einem Wellenlängenbereich von 200 nm bis 600 nm und wird durch eine UV-Lampe erzeugt, die im Folgenden unter Bezug auf **Fig. 1** dargestellt wird. Die Strahlung kann die ULK-Dünnschicht durchdringen und schädigt die SiCNH-Deckschicht, wodurch sich deren mechanischer Spannungszustand von Druckspannung in Zugspannung ändert. Dies wiederum kann zum spontanen Reißen des porösen ULK-Materials oberhalb der Deckschicht und einer geringen Beständigkeit während der Kapselung des Chips führen. Eine bereits verfügbare Lösung besteht darin, eine herkömmliche SiCHN-Einzelschicht durch eine zweischichtige Low-k-Deckschicht zu ersetzen. Diese Lösung weist zwei Probleme auf: erstens ändert sich der Spannungszustand der Deckschicht auch dann noch, wenngleich in geringerem Maße. Die Dünnschicht bleibt nur dann unter Druckspannung, wenn die UV-Härtungszeit kurz ist (< 70 s). Typische ULK-Härtungszeiten sind größer als 100 s. Bei diesen längeren Härtingszeiten geht der Spannungszustand der zweischichtigen Deckschicht in Zugspannung über; und zweitens neigt die zweischichtige Deckschicht mit einem stickstoffreichen SiCNH im unteren Teil und einem kohlenstoffreichen SiCNH im oberen Teil unter UV-Strahlung zum Schrumpfen. Eine grobe Schätzung beläuft sich auf ungefähr 2% der Dicke bei 70 s UV-Bestrahlung, während die Dickenänderung von (standardmäßigem) High-k-SiCNH unter denselben Strahlungsbedingungen ungefähr gleich null ist.

Dieses Schrumpfen der Deckschicht ist unerwünscht und kann zu zusätzlichen mechanischen Spannungen auf der BEOL-Struktur führen.

[0008] Unter Bezugnahme auf **Fig. 2** wird nunmehr die (in MPa gemessene) Änderung der inneren Spannung einer SiCHN-Deckschicht als Folge der UV-Belichtung während der ULK-Härtung veranschaulicht. Die Spannungsmessung wird für verschiedene Deckschichtmaterialien bei verschiedenen UV-Härtungszeiten gezeigt. Insbesondere zeigt die Spannungsänderung als Folge der UV-Belichtung während des ULK-Härtungsprozesses, dass sich die innere Spannung von einem negativen Wert (Druckspannung) mit zunehmender UV-Härtungszeit zu einem positiven Wert (Zugspannung) ändert. Die mit SiCNH High-k bezeichnete Kurve steht für einen herkömmlichen Abscheidungsprozess, während die mit SiCNH Low-k bezeichnete zweite Kurve den Abscheidungsprozess der Doppelschicht darstellt. Obwohl die zweischichtige Deckschicht die Spannungsänderung verlangsamen kann, geht die Dünnschicht letztlich in Zugspannung über (d. h. die x-Achse wird von negativen zu positiven Werten überschritten). Dieser Übergang von Druckspannung zu Zugspannung kann durch ein Aufbrechen der Bindungen in der SiCNH-Dünnschicht als Folge der Absorption der hochenergetischen UV-Photonen erklärt werden. Die entstandenen aufgebrochenen bzw. freien Bindungen führen zu einer Zunahme der inneren freien Hohlräume und zu einer verringerten Druckspannung. Unter Zugspannung stehende Dünnschichten neigen stärker zum Reißen und zum Verlust der Haftung auf der darunter liegenden Struktur.

[0009] **Fig. 3** zeigt die Dicke der zweischichtigen Low-k-Deckschicht, die bei Belichtung mit UV-Strahlung geschrumpft ist. Diese Deckschicht verliert ungefähr 2% ihrer Anfangsdicke als Folge des Verlustes an gebundenem Wasserstoff und gebundenen Kohlenstoffgruppen in der Dünnschicht. Herkömmliche High-k-SiCNH-Schichten zeigen bei vergleichbarer Belichtung mit UV-Strahlung keine Dickschrumpfung.

[0010] Unter Bezugnahme auf **Fig. 4** werden die UV-VIS-Absorptionseigenschaften eines typischen Metalloxids gezeigt, z. B. von ZnO, das zusammen mit geeigneten Reaktionspartnern in bidestilliertem Wasser dispergiert wurde. Die Kurven **1**, **2** und **3** entsprechen PVP (Polyvinylpyrrolidon, das zum Verhindern des Zusammenklumpens verwendet wurde), ZnO-Nanopartikel bzw. $Zn(NO_3)_2$. ZnO-Nanopartikel können aus unterschiedlichen alkoholischen Lösungen wie beispielsweise Methanol, Ethanol, Propanol oder höheren Alkoholen synthetisiert werden.

[0011] Zum Nachweis der Bildung von ZnO-Nanopartikel werden Röntgenbeugung, TEM und EDAX eingesetzt. Der Absorptionspeak für die ZnO-Parti-

kel wird bei einer Wellenlänge von 262 nm beobachtet, die unterhalb der Wellenlänge der Bandlücke (in Fig. 4 als gestrichelte Linie dargestellt) von 388 nm ($E_g = 3,2$ eV) von massivem ZnO liegt. Die Verschiebung der Absorptionskante zu kürzeren Wellenlängen ist eine grundlegende Eigenschaft von Nanopartikeln und wird auf die Verbreiterung der Bandlücke bei geringerer Partikelgröße zurückgeführt.

[0012] Unter Bezugnahme auf Fig. 5 wird der Effekt der Nanopartikelgröße auf die Wellenlänge des Absorptionsspeaks für verschiedene Partikeldurchmesser veranschaulicht. Die ZnO-Nanopartikel zeigen einen Absorptionsspeak bei ungefähr 262 nm, wenn die mittlere Partikelgröße 2,1 nm beträgt. Der runde Punkt in Fig. 5 zeigt den aus der TEM-Untersuchung ermittelten Wert der mittleren Partikelgröße an. Aus dem oben Gesagten zeigt sich, dass ZnO-Nanopartikel mit einem Partikeldurchmesser von weniger als ungefähr 8 nm deutliche Eingrenzungseffekte zeigen.

[0013] Die US20080122103A1 offenbart eine Halbleiterzwischenverbindung und ein Verfahren zur deren Herstellung. Dabei kommt ein UV Licht blockierender Film zum Einsatz.

[0014] Die US20080166506A1 offenbart eine Substanz, die Metallnanopartikeln und ein Dielektrikum aufweist. Die Metallnanopartikeln absorbieren und blockieren UV Licht.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0015] Die beiliegenden Zeichnungen, die in die Beschreibung einbezogen sind und einen Teil derselben darstellen, veranschaulichen die gegenwärtig bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung, die in Verbindung mit der oben dargelegten allgemeinen Beschreibung und der detaillierten Beschreibung der im Folgenden dargelegten bevorzugten Ausführungsformen dazu dienen, die Grundgedanken der Erfindung zu erläutern, wobei gleiche Bezugszeichen gleiche Elemente und Teile bezeichnen, wobei:

[0016] Fig. 1 ein Diagramm der Strahlungsleistung als Funktion von der Wellenlänge ist, das die spektrale Ausgangsleistung einer UV-Lampe nach dem Stand der Technik zeigt;

[0017] Fig. 2 ein Diagramm ist, das die Änderung der inneren Spannung einer einschichtigen und einer zweischichtigen SiCHN-Deckschicht infolge der Belichtung mit UV-Strahlung während eines ULK-Härtungsprozesses nach dem Stand der Technik zeigt;

[0018] Fig. 3 einen Graphen zeigt, in dem die prozentuale Schrumpfung der Schichtdicke einer zweischichtigen Low-k-Deckschicht als Funktion der Zeit der UV-Härtung aufgetragen ist. Diese Schrumpfung wird nach dem Stand der Technik auf den Verlust an

gebundenem Wasserstoff und Kohlenstoff zurückgeführt;

[0019] Fig. 4 die UV-VIS-Absorptionseigenschaften von ZnO-Nanopartikeln nach dem Stand der Technik zeigt;

[0020] Fig. 5 die Auswirkung der Größe von Nanopartikeln (z. B. ZnO-Nanokolloid) auf die Wellenlänge des Absorptionsspeaks nach dem Stand der Technik veranschaulicht;

[0021] Fig. 6 eine seitliche Querschnittsansicht einer Struktur gemäß einer Ausführungsform veranschaulicht, die Nanopartikel unterschiedlicher Größe zwischen einem Ultra-low-k(ULK)-Dielektrikum und einer SiCNH-Deckschicht zeigt, welche das Absorbieren von UV-Strahlen in einem breiten Wellenlängenbereich ermöglichen;

[0022] Fig. 7 eine seitliche Querschnittsansicht der Umwandlung der Struktur in eine Konfiguration mit mehreren Zwischenverbindungsebenen durch Abscheidung einer zweiten ULK-Ebene mit UV-Härtung zeigt;

[0023] Fig. 8 eine seitliche Querschnittsansicht einer Ausführungsform ist, die die Bildung einer TEOS-HM-Schicht für lithografische Zwecke und das nachfolgende Ätzen der ULK-Schicht zeigt, um Gräben und Durchgangskontakte zu bilden und anschließend die Nanopartikel selektiv zu entfernen;

[0024] Fig. 9 zeigt eine seitliche Querschnittsansicht, die eine in-situ-Abscheidung von Cu-Keimen und einer TaN/Ta-Zwischenschicht und eine darauffolgende galvanische Kupferabscheidung veranschaulicht, durch die die Gräben und Durchgangskontakte **155** ausgefüllt werden (Fig. 8).

[0025] Fig. 10 ist eine seitliche Querschnittsansicht, die einen fertiggestellten BEOL-Stapel gemäß einer Ausführungsform zeigt, der die in der Grenzfläche zwischen dem ULK-Dielektrikum und der SiCNH-Deckschicht angeordneten Nanopartikel in einer Mehrschichtstruktur veranschaulicht.

KURZDARSTELLUNG

[0026] Gemäß einem Aspekt beschreibt die Erfindung das Einfügen von Nanopartikeln zwischen das Material der Deckschicht, die die metallischen Zwischenverbindungen und das darüber liegende isolierende dielektrische ULK-Material bedeckt. Die Verwendung von Nanopartikeln führt zu einer verringerten Schädigung durch UV-Strahlung während der Verarbeitung. Wenn keine Strahlenschäden vorliegen, verbleibt das Material der Deckschicht im Zustand der Druckspannung und festigt somit die BEOL-Struktur. Die gemäß einer Ausführungsform

der vorliegenden Erfindung verwendete ultraviolette Strahlung wird vorzugsweise durch eine UV-Lampe mit einem Spektrum im Bereich von 200 nm bis 600 nm erzeugt, wobei ein großer Anteil der Wellenlänge vorzugsweise unterhalb 400 nm liegt.

[0027] Zwischen die Deckschicht und die ULK-Schicht wird eine Schicht unterschiedlich großer Nanopartikel eingefügt, um während des ULK-Härtungsprozesses UV-Strahlung zu absorbieren. Die Nanopartikel werden vorzugsweise aus einem Metalloxid mit einem Durchmesser im Bereich von 1 nm bis 4 nm hergestellt. Dieser Größenbereich der Nanopartikel stellt eine starke Absorption der UV-Strahlung bis zu ungefähr 375 nm sicher. Die Absorptionskante für SiCNH-Dünnschichten als Funktion des Kohlenstoffgehalts liegt für 26% Kohlenstoff bei ungefähr 400 nm. Gemäß einer Ausführungsform liegt der durch RBS ermittelte Kohlenstoffgehalt der Dünnschichten zwischen 20 und 26%. Strahlung mit einer größeren Wellenlänge als 400 nm wird durch die SiCNH-Dünnschichten durchgelassen und kann keine Schädigung bewirken, die die Dünnschichten in Zugspannung versetzt. Andererseits werden ungefähr 90% des Spektrums der UV-Lampe, das zwischen 200 nm und 400 nm liegt und die SiCNH-Dünnschichten schädigen kann, durch die Nanopartikel absorbiert.

[0028] Die Bildung einer Monolage Nanopartikel ist entscheidend für die Bereitstellung einer stabilen Struktur, die insbesondere während der Herstellung der Endbearbeitung des Halbleiters (BEOL) und der nachfolgenden Kapselung mit mechanischen Spannungen fertig wird. Eine Monolage Nanopartikel wird bereitgestellt, die vorzugsweise aus Metalloxid wie beispielsweise ZnO oder TiO₂ hergestellt werden und die bei der Bildung von Ultra-low-k-Dielektrika verwendete UV-Strahlung dämpfen und absorbieren können.

[0029] Gemäß einem weiteren Aspekt werden die Nanopartikel bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zwischen eine SiCNH-Deckschicht und ein Ultra-low-k-Dielektrikum eingefügt, damit UV-Strahlung absorbiert wird, sodass die Deckschicht vor Schädigung durch UV-Strahlung und vor dem damit verbundenen Übergang von Druckspannung in Zugspannung geschützt wird. (Zur Beachtung: die Deckschicht gehört zur nächsten Ebene und dient als Unterlage für die nächste Abscheidung von Nanopartikeln, da der Schutz gegen UV-Strahlung durch die Nanopartikel auf jeder ULK-Ebene der im Aufbau befindlichen Mehrschichtstruktur gewährleistet werden soll.) Die Größe der Nanopartikel wird so gewählt, dass diese die UV-Strahlung gezielt bei bestimmten Wellenlängen absorbieren.

[0030] Gemäß einem weiteren Aspekt stellt die Erfindung Nanopartikel bereit, die auf die Deckschicht durch Rotationsbeschichtung aufgebracht und durch

Entfernen der Lösung getrocknet werden, wobei die Lösung aus Methanol oder anderen organischen Alkoholen hergestellt wird.

[0031] Gemäß noch einem weiteren Aspekt beinhaltet eine Ausführungsform der Erfindung: a) Aufbringen von Nanopartikeln im Rotationsverfahren mittels einer organischen Lösung und Trocknen derselben, wobei die Lösung aus Methanol oder anderen Alkoholen hergestellt wird; b) Abscheiden der ULK-Schicht der nächsten Ebene und Aushärten derselben mittels UV-Strahlung; c) Ätzen der ULK-Schicht und anschließend Entfernen der Nanopartikel mit organischen Lösemitteln auf den durch Ätzen erzeugten freien Flächen mittels DHF, um Lösemittel und weitere Rückstände zu entfernen; d) Abscheiden einer TaN/Ta-Zwischenschicht und von Cu-Keimen in situ und anschließend galvanisches Abscheiden von Kupfer und Tempern; und e) entfernen von überschüssigem Cu/Zwischenschicht durch CMP und anschließend Abscheiden einer SiCNH-Deckschicht.

[0032] Gemäß noch einem weiteren Aspekt verhindert die Erfindung die durch UV-Strahlung verursachte Schädigung der Deckschicht, deren Spannungszustand durch den Einfluss von UV-Strahlung in höheren Ebenen in Zugspannung übergeht, was zur Bildung von Rissen an der Grenzfläche zwischen ULK und Deckschicht führt. Durch das Einführen einer Zweifachschicht wird die Low-k-Deckschicht nur unter bestimmten UV-Bedingungen wirksam, deren Dicke unter dem Einfluss von UV-Strahlung schrumpft. Darüber hinaus können Dimensionsänderungen die Integrität der BEOL-Struktur infrage stellen.

[0033] Gemäß einem weiteren Aspekt stellt eine Ausführungsform der Erfindung eine Mehrschichtstruktur bereit, die beinhaltet: eine oder mehrere dielektrische Ultra-low-k(ULK)-Schichten, wobei jede aufeinander folgende dielektrische ULK-Schicht eine Vielzahl in derselben gebildeter, mit Metall gefüllter Gräben und Durchgangskontakte aufweist; eine Deckschicht zum Bedecken und Abdichten der dielektrischen ULK-Schichten, die eine Vielzahl mit Metall gefüllter Gräben und Durchgangskontakte aufweisen; und Nanopartikel, die an der Grenzfläche zwischen den dielektrischen ULK-Schichten und den Deckschichten eine Monolage bilden.

[0034] Gemäß noch einem weiteren Aspekt stellt die Erfindung ein Verfahren zum Bilden einer Mehrschichtstruktur bereit, das beinhaltet: Bilden einer oder mehrerer dielektrischer Ultra-low-k(ULK)-Schichten, wobei jede aufeinander folgende dielektrische ULK-Schicht eine Vielzahl in derselben gebildeter mit Metall gefüllter Gräben und Durchgangskontakte aufweist, Bilden einer Deckschicht zum Bedecken und Abdichten der dielektrischen ULK-Schichten, welche die Vielzahl mit Metall gefüllter Gräben und Durchgangskontakte aufweisen; und abdecken-

des Aufbringen von Nanopartikeln durch Rotationsbeschichtung, die an einer Grenzfläche zwischen den dielektrischen ULK-Schichten und jeder der Deckschichten eine Monolage bilden.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0035] Die vorliegende Erfindung wird nunmehr im Rahmen der folgenden Erörterung unter Bezugnahme auf die der vorliegenden Anmeldung beiliegenden Zeichnungen näher beschrieben. Es wird darauf hingewiesen, dass die Zeichnungen der vorliegenden Anmeldung nur zur Veranschaulichung dienen.

[0036] Im Folgenden wird eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben. Zur Vereinfachung und Verdeutlichung der Darstellung sind die in den Zeichnungen gezeigten Elemente nicht notwendigerweise maßstabsgerecht dargestellt. Zum Beispiel können zur Verdeutlichung einige der Elemente gegenüber anderen Elementen hervorgehoben sein,

[0037] Fig. 6 veranschaulicht eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Struktur, die Nanopartikel **120** zeigt, die durch Rotationsbeschichtung auf die SiCNH-Deckschicht **130** oberhalb der Cu-Schicht **140** aufgebracht wurden, wobei die Nanopartikel vorzugsweise aus organischen Lösungen ausgetrocknet werden. Die SiCNH-Dünnschicht kann mit einer Dicke im Bereich zwischen 15 nm und 50 nm hergestellt werden und dient zur Bedeckung der im Folgenden beschriebenen Damaszener Kupferstruktur. Die durch Rotationsbeschichtung oberhalb der Nanopartikel abgeschiedene ULK-Schicht **100** wird vorzugsweise aus einem siliciumorganischen Low-k-Dielektrikum wie beispielsweise SiCOH mit einem Dickenbereich von 50 nm bis 1000 nm hergestellt.

[0038] Die Nanopartikel **120** bestehen vorzugsweise aus Metalloxiden, z. B. ZnO. Es ist klar, dass andere Materialien mit ähnlichen Eigenschaften wie beispielsweise TiO₂ und ähnliche vorteilhaft verwendet werden können. Der bevorzugte Durchmesser der Nanopartikel liegt im Bereich zwischen 1 nm und 4 nm. Die Nanopartikel werden durch Rotationsbeschichtung gleichmäßig abgeschieden und bilden eine Monolage. Es hat sich gezeigt, dass ZnO- oder TiO₂-Nanopartikel erfolgreich in verschiedenen Arten alkoholischer Lösungen, darunter Methanol, Ethanol und höhere Alkohole, erfolgreich synthetisiert werden können.

[0039] Die Größe der Nanopartikel kann so gewählt werden, dass sie gezielt die UV-Strahlung bei einer bestimmten Wellenlänge absorbieren. Der Zweck der Nanopartikel besteht wie oben beschrieben darin, die SiCNH-Deckschicht vor UV-Strahlung und damit die Deckschicht vor der Änderung ihres Spannungszustands von Druckspannung in Zugspannung zu schützen. Die frisch abgeschiedene Deckschicht

steht unter Druckspannung. Durch Belichtung mit UV-Strahlung ändert sich der Spannungszustand der Deckschicht wie in Fig. 2 gezeigt in Zugspannung.

[0040] Die unter Zugspannung stehende Dünnschicht neigt leichter zum Reißen als unter Druckspannung stehende Dünnschichten. Ein Riss in der Deckschicht kann Risse in der ULK-Dünnschicht mit einem kleinen Elastizitätsmodul auslösen, mit der sie in Kontakt steht. Die Größe der Nanopartikel weist eine breite Verteilung (meist von 1 nm bis 4 nm) auf, sodass der größte Teil der UV-Strahlung gezielt absorbiert werden kann.

[0041] Der Absorptionspeak, der oben unter Bezugnahme auf Fig. 5 gezeigt wurde, variiert mit der Partikelgröße. Der Absorptionspeak verschiebt sich aufgrund eines Quanteneingrenzungseffektes (quantum confinement) mit zunehmender Partikelgröße nach kürzeren Wellenlängen. Das Ziel besteht darin, Strahlung mit einer kürzeren Wellenlänge als ungefähr 400 nm zu absorbieren, bei der die oben unter Bezugnahme auf Fig. 1 gezeigte UV-Lampe den größten Teil ihrer UV-Strahlung emittiert und die SiCNH-Deckschicht eine Absorptionskante aufweist.

[0042] Die Strahlung wird durch die Nanopartikel durch Elektronenübergänge vom oberen Teil des Valenzbandes in das Leitungsband absorbiert. Die angeregten Elektronen fallen wieder in das Valenzband zurück, typischerweise durch eine Reihe von Übergängen über Defektzustände in der optischen Bandlücke. Für ZnO liegt der Peak der resultierenden Photolumineszenzspektren bei ungefähr 550 nm (sichtbares Licht).

[0043] Bezug nehmend auf Fig. 7 werden dann an ausgewählten Stellen Gräben mit einer kritischen Abmessung (critical dimension, CD) im Bereich von 40 nm bis 1.000 nm gebildet, deren Seiten mit einer Zwischenschicht **170** überzogen sind, vorzugsweise, ohne darauf beschränkt zu sein, aus Ta/TaN mit einer Dicke von ungefähr 10 nm oder weniger. Dann werden die Gräben vorzugsweise durch physikalische Gasphasenabscheidung (physical vapor deposition, PVD) mit Cu-Keimen beschichtet, vorzugsweise unter Verwendung von Sputterverfahren und mit einer Dicke in der Größenordnung von ungefähr 100 nm oder weniger. Daran schließt sich das galvanische Ausfüllen mit Kupfer **180** an.

[0044] Die somit gebildete Struktur wird in eine mehrschichtige Zwischenverbindungsconfiguration überführt. Ähnlich der vorhergehenden ULK-Schicht wird oberhalb der Monolage aus Nanopartikeln **120** (d. h. mit Abmessungen im Bereich von 1 nm bis 4 nm) vorzugsweise mittels PECVD eine neue ULK-Schicht **100'** abgeschieden und anschließend einer UV-Härtung unterzogen. Wie oben beschrieben kann die obere ULK-Ebene wiederum durch Hinzufü-

gen von Gräben und Durchgangskontakten verändert werden, um weitere Zwischenverbindungen bereitzustellen, oder durch Cu-Verbindungen mit vorhergehenden Ebenen verbunden werden.

[0045] Das oben Gesagte wird unter Bezugnahme auf **Fig. 8** deutlich, die die durch Ätzen der ULK-Schicht strukturierte oberste Ebene, das Entfernen der Nanopartikel vorzugsweise mit organischen Lösemitteln an den durch RIE-Ätzprozesse erzeugten freien Flächen und das anschließende Entfernen der Lösemittel und anderer Rückstände mittels DHF (verdünnte Flusssäure) veranschaulicht. Der Prozess wird vorzugsweise dadurch ermöglicht, dass auf der oberen Ebene für die lithografische Bearbeitung eine TEOS-Hartmaske (HM) **160** abgeschieden wird, die vorzugsweise mittels PECVD gebildet wird. Die Dicke der TEOS-HM kann vorzugsweise im Bereich von 15 nm bis 50 nm liegen. In **Fig. 8** sind auch mehrere durch Ätzen gebildete Gräben **150** und Durchgangskontakte **155** dargestellt, wobei die Nanopartikel an den Stellen selektiv entfernt wurden, wo ein Kontakt mit den galvanisch mit Cu beschichteten Gräben in dem ersten ULK-Substrat hergestellt werden soll. Aufgabe der somit gebildeten zusätzlichen Gräben ist es, die Bildung eines Netzes von Zwischenverbindungen zu schaffen, das für VLSI-Chips benötigt wird.

[0046] **Fig. 9** zeigt die oben beschriebene Abscheidung der TEOS-HM **160**, auf der in situ eine Zwischenschicht **185** aus TaN/Ta und anschließend Cu-Keime und ECP-Kupfer **190** abgeschieden wurden, die die Gräben und die Durchgangskontakte ausfüllen, und einen Tempersschritt. Die somit gebildete Struktur wird vorzugsweise mittels eines CMP-Prozesses planarisiert. Das elektrochemische Beschichten dient zum Ausfüllen der Damaszener-Gräben mit Kupfer und erfolgt üblicherweise bei Raumtemperatur (25°C). Die Schicht der Kupferkeime wird unter Verwendung physikalischer Abscheidungstechniken wie beispielsweise Sputtern abgeschieden und besteht aus Kupferlegierungen (d. h. mit Aluminium, Mangan und anderen Legierungselementen).

[0047] **Fig. 10** zeigt eine schematische Darstellung des fertigen BEOL-Stapels mit Nanopartikeln zwischen dem Low-k-Dielektrikum und der SiCNH-Deckschicht. Die Struktur wird mittels eines CMP-Prozesses poliert und planarisiert. Nach diesem Prozess wird die SiCNH-Deckschicht abgeschieden. Oberhalb jeder nachfolgenden Kombination einer ULK-Schicht mit einer darüber liegenden SiCNH-Deckschicht können weitere Monolagen von Nanopartikeln gebildet werden, sodass eine Mehrschichtstruktur entsteht.

[0048] Zusammenfassend ist zu sagen, dass die vorliegende Beschreibung eine Mehrschichtstruktur zum Erzeugen eines BEOL-Stapels mit üblicherwei-

se 15 bis 22 Ebenen erläutert. Ein bevorzugter Prozess zur Herstellung jeder Ebene, die den Stapel bildet, beinhaltet:

1. Aufbringen von Nanopartikeln mittels Rotationsbeschichtung und Austrocknen der Lösung;
2. Abscheiden der ULK-Schicht der nächsten Ebene und anschließendes UV-Härten;
3. Lithografisches Strukturieren von Leitungen oder Durchgangskontakten;
4. Übertragen von Leitungs- oder Durchgangskontaktstrukturen in das ULK-Dielektrikum durch Ätzen;
5. Entfernen der Nanopartikel am Boden der freien Flächen mit organischen Lösemitteln (d. h. der durch den RIE-Prozess gebildeten freien Flächen, wobei in der ULK-Dünnschicht Leitungsbahnen und Durchgangskontakte freigelegt werden);
6. Abspülen von Lösemitteln und RIE-Rückständen mit verdünnter HF (diluted HF, DHF);
7. Abscheiden einer TaN/Ta-Zwischenschicht und von Cu-Keimen in situ durch physikalische Gasphasenabscheidung (PVD), anschließendes galvanisches Abscheiden (electrochemical plating, ECP) von Cu und Tempern des Cu;
8. CMP von überschüssigem Material des Kupfers und der Zwischenschicht;
9. Abscheiden einer SiCNH-Deckschicht; und
10. Zurück zu Schritt 1.

[0049] Obwohl die vorliegende Erfindung insbesondere unter Bezugnahme auf deren bevorzugte Ausführungsformen gezeigt und beschrieben wird, ist dem Fachmann klar, dass das oben Beschriebene sowie weitere Änderungen von Formen und Details ausgeführt werden können, ohne vom Wesensgehalt der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

INDUSTRIELLE ANWENDBARKEIT

[0050] Die vorliegende Erfindung findet industrielle Anwendungen in der Konstruktion und Fertigung von Hochleistungs-Feldeffekttransistoren (FET) auf Halbleiterbasis, die in integrierte Schaltkreis-Chips eingebaut und in einer großen Vielfalt an elektronischen und elektrischen Vorrichtungen eingesetzt werden.

Patentansprüche

1. Mehrschichtige Halbleiterstruktur, die aufweist: eine dielektrische Ultra-low-k(ULK)-Schicht (**100**), wobei die dielektrische ULK-Schicht eine Vielzahl darin gebildeter Gräben (**180**) und Durchgangskontakte (**150**) aufweist, die mit Metall gefüllt sind; eine Deckschicht (**130**), worauf die dielektrische ULK-Schicht (**100**) angeordnet ist; und Nanopartikel (**120**), die eine Monoschicht an einer Grenzfläche zwischen der dielektrischen ULK-Schicht und der Deckschicht bilden.

2. Mehrschichtige Struktur nach Anspruch 1, wobei die Nanopartikel mehrere Größen aufweisen.

3. Mehrschichtige Struktur nach Anspruch 2, wobei die zwischen die Deckschicht und die ULK-Schicht eingefügten Nanopartikel die UV-Strahlung während des ULK-Härtens dämpfen und absorbieren.

4. Mehrschichtige Struktur nach Anspruch 1, wobei die Nanopartikel in einer chemischen Lösung synthetisiert und anschließend durch Entfernen der Lösung getrocknet werden.

5. Mehrschichtige Struktur nach Anspruch 4, wobei die Lösung organische Verbindungen, darunter Methanol, Ethanol und höhere Alkohole, aufweist.

6. Mehrschichtige Struktur nach Anspruch 1, wobei die Größe der Nanopartikel zwischen 1 nm und 4 nm variiert.

7. Mehrschichtige Struktur nach Anspruch 1, die ferner die Nanopartikel mit einer Größenverteilung aufweist, um UV-Strahlung mit Wellenlängenbereichen zwischen 200 nm und 600 nm zu absorbieren.

8. Mehrschichtige Struktur nach Anspruch 1, wobei die Nanopartikel das UV-Licht absorbieren, bevor die Deckschicht geschädigt wird.

9. Mehrschichtige Struktur nach Anspruch 1, wobei die Nanopartikel aus einem Metalloxid hergestellt werden.

10. Mehrschichtige Struktur nach Anspruch 9, wobei es sich bei dem Metalloxid um ZnO oder TiO₂ handelt.

11. Mehrschichtige Struktur nach Anspruch 1, wobei die Nanopartikel durch Rotationsbeschichtung gleichmäßig auf die Deckschicht aufgetragen werden.

12. Verfahren zum Bilden einer Mehrschichtstruktur, wobei das Verfahren aufweist:
Bilden einer Deckschicht (**130**);
abdeckendes Aufbringen von Nanopartikeln (**120**) durch Rotationsbeschichtung, die auf der Deckschicht (**130**) eine Monolage bilden; und
Bilden einer dielektrischen Ultra-low-k(ULK)-Schicht (**100**), wobei die Nanopartikel an einer Grenzfläche zwischen der dielektrischen ULK-Schicht und der Deckschicht (**130**) eine Monolage bilden, wobei die dielektrische ULK-Schicht eine Vielzahl darin gebildeter, mit Metall gefüllter Gräben (**180**) und Durchgangskontakte (**155**) aufweist.

13. Verfahren nach Anspruch 12, das ferner aufweist:

a. Aufbringen einer Lösung der Nanopartikel durch Rotationsbeschichtung und anschließend Austrocknen der Nanopartikel aus dem Lösemittel;

b. Abscheiden einer nächsten Ebene des ULK und UV-Härtung;

c. Ätzen des ULK und Entfernen der Nanopartikel von den geätzten freien Flächen;

d. Abscheiden einer Zwischenschicht (**185**) aus hochschmelzendem Metall und einer leitenden Schicht, anschließend Ausfüllen der freien Flächen mit galvanisch abgeschiedenem Kupfer und anschließend Tempern;

e. Polieren der Zwischenschicht und der leitenden Schicht; und

f. Abscheiden einer dielektrischen Deckschicht darauf.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die leitende Schicht aus Cu oder einer Cu-Legierung hergestellt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die dielektrische Deckschicht aus SiCN hergestellt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 13, wobei das Trocknen durch Erwärmen erfolgt.

17. Verfahren nach Anspruch 13, wobei das Austrocknen der Nanopartikel unter Verwendung eines organischen Lösemittels erfolgt.

18. Verfahren nach Anspruch 13, wobei nach dem Polieren das Entfernen der Lösemittel und weiterer Rückstände folgt.

19. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die aus hochschmelzendem Metall bestehende Zwischenschicht aus TaN, Ta, W, WN_x, TiN_x, Ru oder Co hergestellt wird

20. Verfahren nach Anspruch 18, wobei das Entfernen der Lösemittel und Rückstände unter Verwendung von verdünnter Flußsäure (DHF) erfolgt.

21. Verfahren nach Anspruch 12, wobei das Ausfüllen der Gräben durch Galvanisieren erfolgt.

22. Verfahren nach Anspruch 13, wobei das Polieren durch ein chemisch-mechanisches Polieren (CMP) erfolgt.

23. Verfahren nach Anspruch 13, das ferner das Härten der Ultra-low-k(ULK)-Dielektrika aufweist.

24. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die Strahlung das ULK-Dielektrikum durchdringt und die Deckschicht erreicht.

25. Verfahren zum Bilden eines mehrschichtigen Back-end-of-line(BEOL)-Stapels, wobei jede Ebene aufweist:

Aufbringen einer Nanopartikel (**120**) enthaltenden Lösung durch Rotationsbeschichtung und anschließendes Austrocknen der Lösung;

Bilden einer dielektrischen ULK-Schicht (**100**) und anschließend UV-Härtung;

Lithografisches Strukturieren von Leitungen oder Durchgangskontakten (**155**);

Übertragen der strukturierten Leitungen und Durchgangskontakte durch Ätzen in die dielektrische ULK-Schicht (**100**);

Entfernen der Nanopartikel (**120**) an einem Boden von freien Flächen, die durch Spülen mit organischen Lösemitteln erzeugt wurden;

Reinigen der Oberfläche mittels DHF und Abspülen der Lösemittel und der Rückstände vom Ätzen;

Bilden einer Zwischenschicht (**185**), die aus TaN, Ta, W, WN_x, TiN_x, Ru, Co hergestellt wurde, anschließend Abscheiden (**190**) von Cu oder Cu-Legierungen und dann elektrochemisches Behandeln des Cu und anschließend Härten des Cu; und

Durchführen einer chemisch-mechanischen Politur des Überschusses an Kupfer und Zwischenschicht und Abscheiden einer SiCNH-Deckschicht (**130**).

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

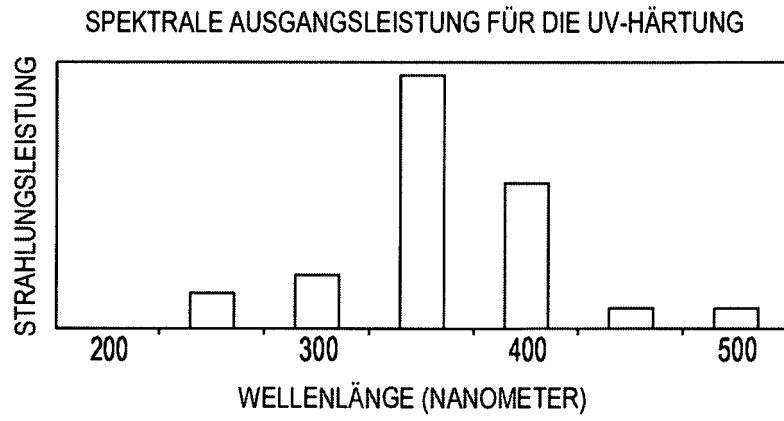


FIG. 1 (STAND DER TECHNIK)

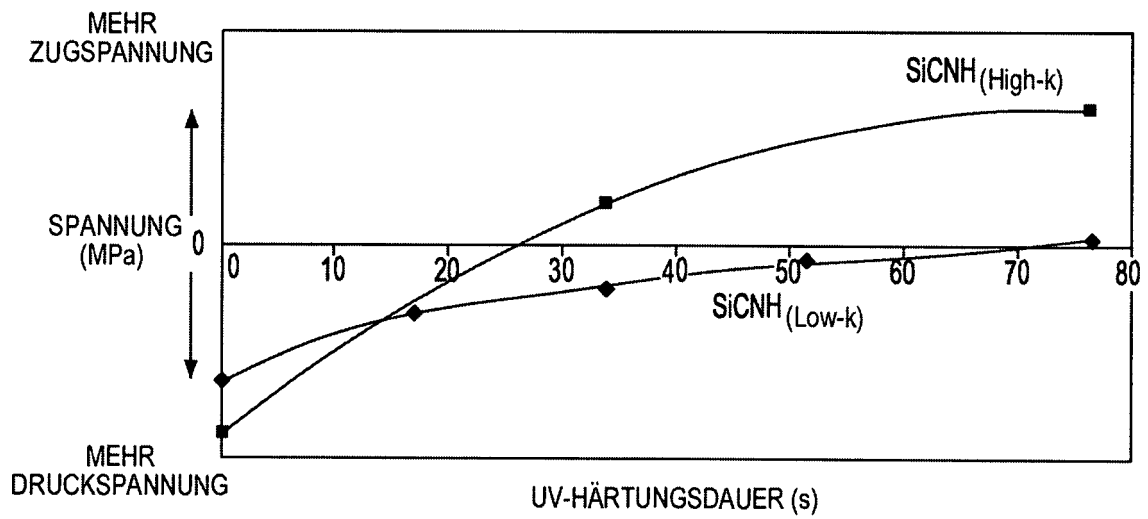


FIG. 2 (STAND DER TECHNIK)

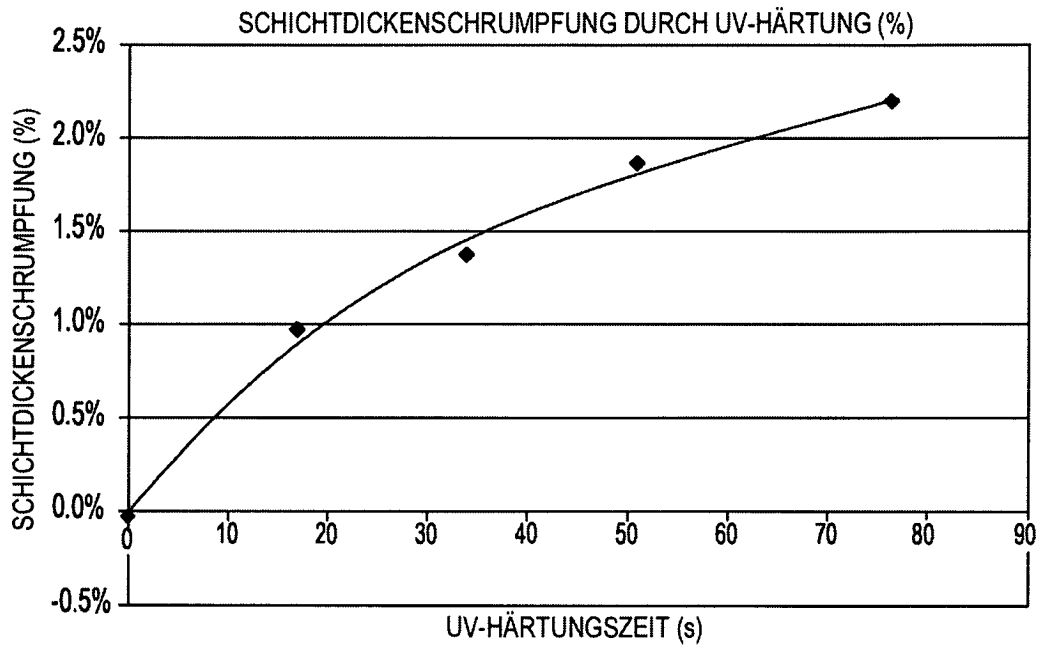


FIG. 3 (STAND DER TECHNIK)

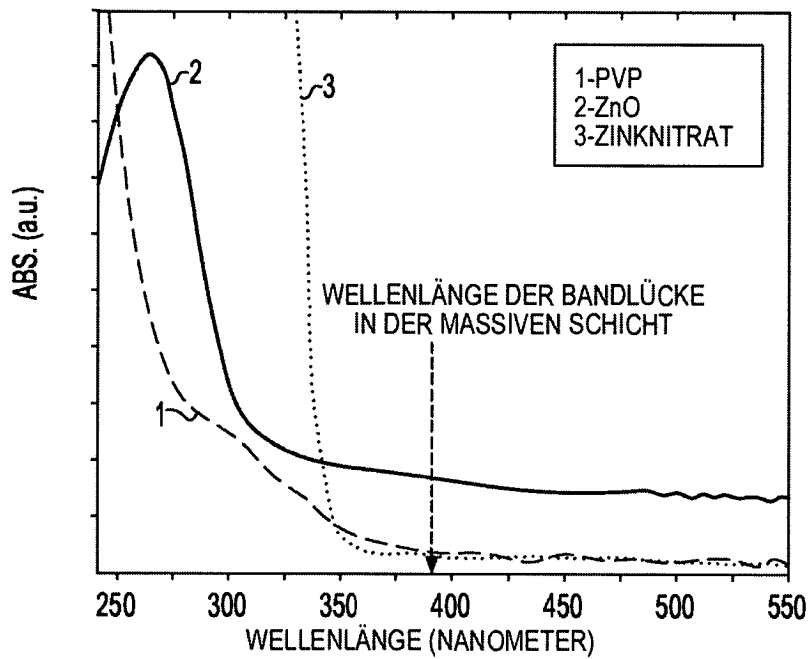


FIG. 4 (STAND DER TECHNIK)

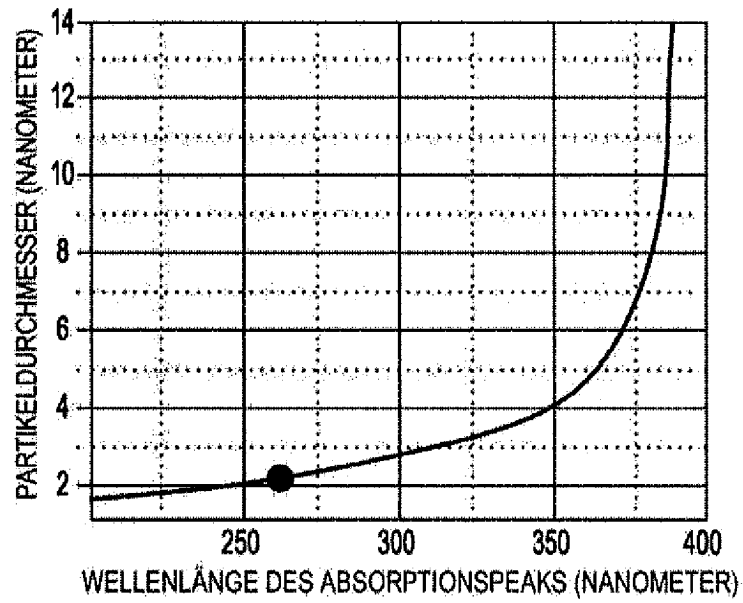


FIG. 5 (STAND DER TECHNIK)

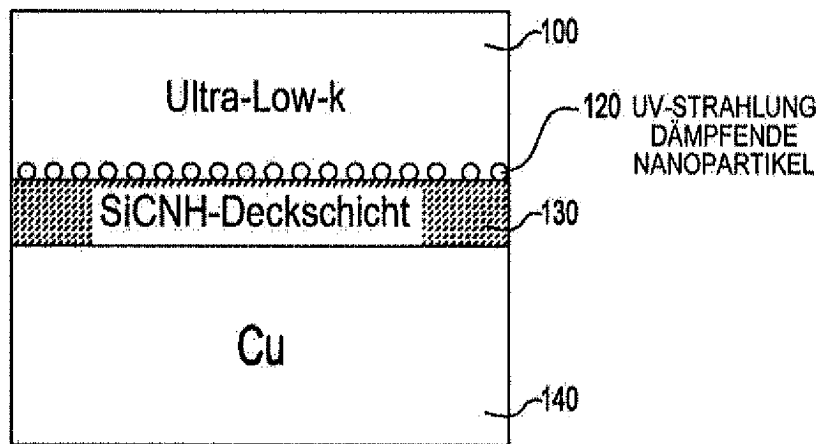


FIG. 6

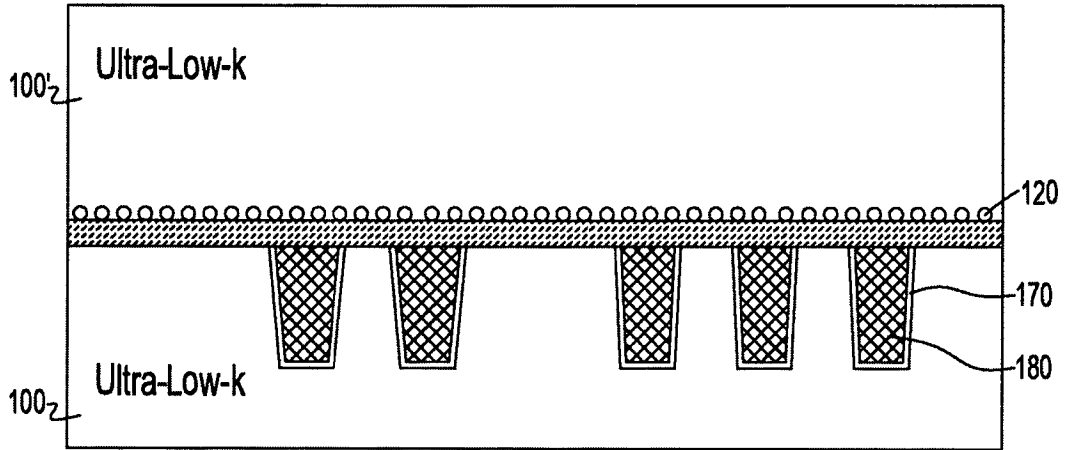


FIG. 7

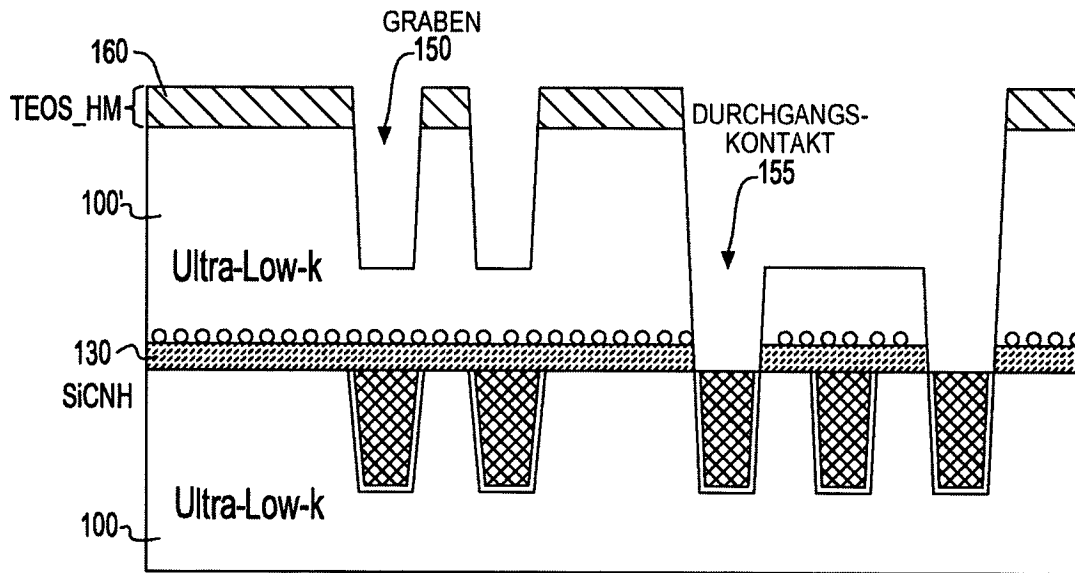


FIG. 8

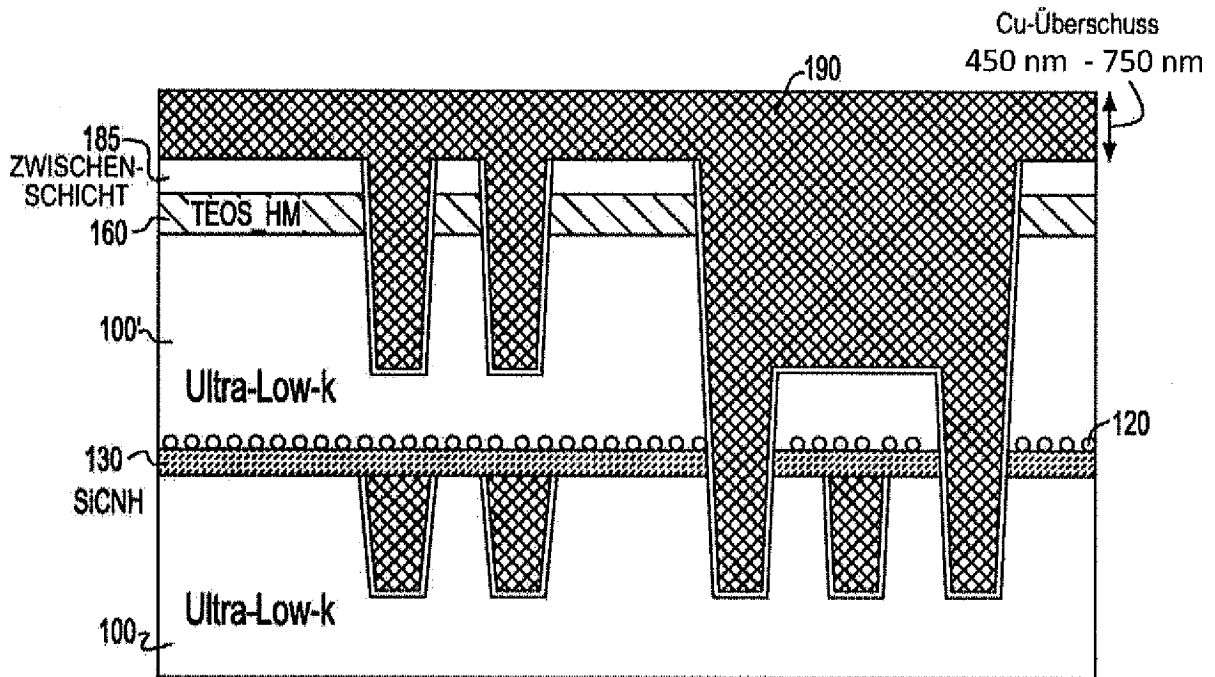


FIG. 9

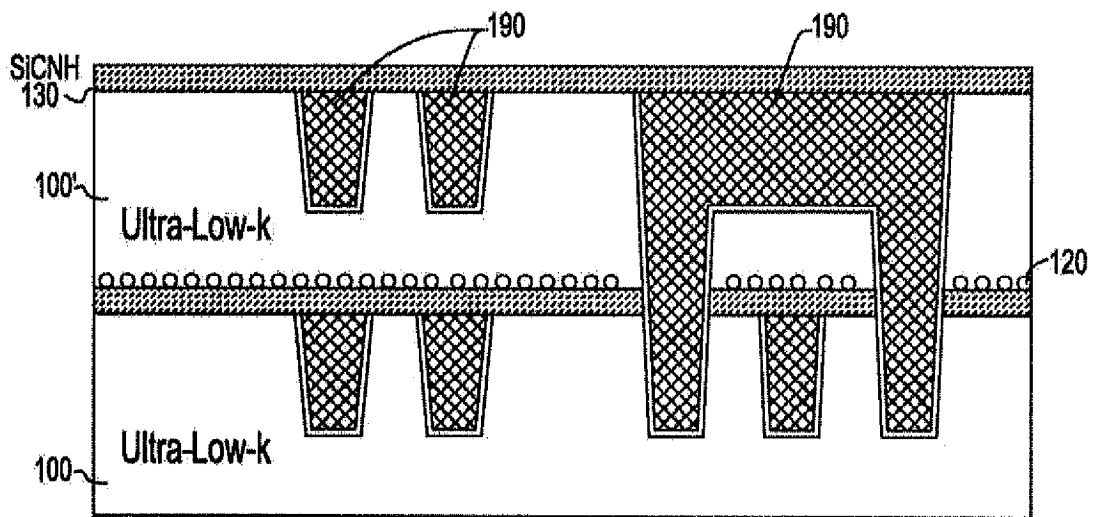


FIG. 10