



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 028 030 B4** 2006.07.27

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 028 030.4**  
(22) Anmeldetag: **09.06.2004**  
(43) Offenlegungstag: **29.12.2005**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **27.07.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01L 21/314** (2006.01)  
**H01L 21/762** (2006.01)  
**H01L 21/283** (2006.01)  
**C23C 16/40** (2006.01)

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

(73) Patentinhaber:  
**Infineon Technologies AG, 81669 München, DE**

(74) Vertreter:  
**PAe Reinhard, Skuhra, Weise & Partner GbR,  
80801 München**

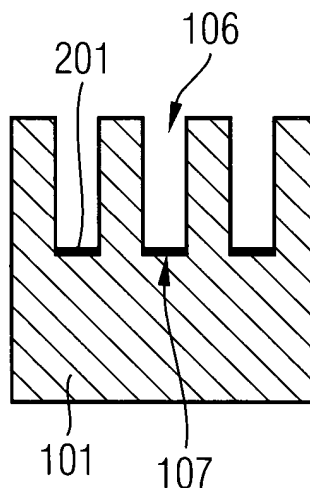
(72) Erfinder:  
**Jakschik, Stefan, 01309 Dresden, DE; Schröder,  
Uwe, 01099 Dresden, DE; Hecht, Thomas, 01099  
Dresden, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
**US 2003/0 15 764 A1**  
**US 2002/0 64 592 A1**  
**WO 03/0 83 167 A1**  
**WO 01/0 78 123 A1**  
**HAUSMANN, D., u.a.: Rapid Vapor deposition of  
highly Conformal silica nanolaminates. In:  
Science, 2002, Vol. 298, No. 5592, S. 402-406;**

(54) Bezeichnung: **Katalytisches Beschichtungsverfahren für strukturierte Substratoberflächen und mit einer Siliziumdioxid-Dünnschicht beschichtetes Substrat mit einer strukturierten Oberfläche**

(57) Hauptanspruch: Beschichtungsverfahren für strukturierte Substratoberflächen, mit den folgenden Schritten:

- Bereitstellen eines Substrats (101), welches eine in einem Substratstrukturierungsbereich (102) strukturierte Oberfläche (105) mit einem oder mehreren auf eine vorbestimmte Füllhöhe (205) zu füllenden Gräben (106) aufweist;
- Einbringen einer Katalysatorschicht (201) nur auf Bodenbereichen (107) der zu füllenden Gräben (106) des Substratstrukturierungsbereichs (102), wobei die Katalysatorschicht (201) als eine Lewis-Säure bereitgestellt wird;
- Katalytisches Abscheiden einer Reaktionsschicht (202) in den zu füllenden Gräben (106) des Substratstrukturierungsbereichs (102), das ein Abscheiden einer Siliziumdioxid-Dünnschicht umfasst;
- Verdichten der katalytisch abgeschiedenen Reaktionsschicht (202) in den zu füllenden Gräben (106), um eine verdichtete Reaktionsschicht (203) zu erhalten; und
- Wiederholen der Schritte b) bis d), bis die vorbestimmte Füllhöhe (205) der zu füllenden Gräben (106) erreicht ist.



**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Katalytisches schichtungsverfahren für strukturierte Substratoberflächen, und betrifft insbesondere Füllprozesse für Strukturen mit einem hohen Aspektverhältnis, sowie ein mit einer Siliziumdioxid-Dünnschicht beschichtetes Substrat mit einer strukturierten Oberfläche.

**[0002]** Spezifisch betrifft die vorliegende Erfindung Beschichtungsverfahren für ein Substrat, welches eine in einem Substratstrukturierungsbereich strukturierte Oberfläche mit einem oder mehreren auf eine vorbestimmte Füllhöhe zu füllenden Gräben aufweist, wobei hier bei dem Füllprozess keine mechanischen Spannungen auftreten und keine Löcher ausgebildet werden dürfen.

**Stand der Technik**

**[0003]** Die WO 03/083167 A1 beschreibt eine Abscheidung von Siliziumoxid in Gräben, um diese zu füllen. Mittels einer Atomlagenabscheidung wird die Oberfläche eines Substrats mit Aluminiumoxid beschichtet. Nach einem Einbringen von Silanol reagiert dieses katalytisch mit der Aluminiumoxidschicht und bildet eine gleichmäßige Siliziumoxidschicht. Eine Wiederholung einer Abscheidung von Aluminiumoxid und eines Einbringens von Silanol ermöglicht dickere Siliziumoxidschichten. Beim Einbringen des Silanolgases wird das Substrat zum Verdichten erhitzt. Das Aluminiumoxid weist Eigenschaften einer Lewis-Säure auf.

**[0004]** Die WO 01/78123 A1 beschreibt ein Verfahren zum Bilden von Kupferleitungen in Gräben eines Siliziumsubstrates. In einem ersten Schritt wird Jod abgeschieden, das oberflächenkatalytische Eigenschaften aufweist, die eine Abscheidung von Kupfer auf Isolationsschichten ermöglicht. Nachfolgend wird selektiv das Kupfer auf der Jodschicht abgeschieden.

**[0005]** Die US 2003/0015764 A1 beschreibt ein Verfahren zum Füllen von Gräben mit Siliziumoxid und/oder Aluminiumoxid unter Verwendung eines Atomlagenabscheidungsverfahrens. Während eines Abscheidungszyklusses werden etwa 0,02 nm bis 0,03 nm abgeschieden.

**[0006]** Dennis Hausmann u.a. beschreiben in „Rapid vapor deposition of highly conformal silica nanolaminates“ in: Science, 2002, Bd. 298, Nr. 5592, Seiten 402–406 die Abscheidung von uniformen Silicium-Nano-Laminaten auf Oberflächen und in Gräben. Hierbei wird zyklisch eine Abscheidung von Aluminium mittels eines ALD-Verfahrens und Einbringens von Silanol wiederholt. Das abgeschiedene Aluminium in den Gräben katalysiert die Polymerisation von Silanol-Molekülen.

**[0007]** Die US 2002/0064592 A1 beschreibt eine katalytische Abscheidung von Kupfer oder Metallen auf einem Halbleitersubstrat oder in Gräben des Halbleitersubstrats.

**[0008]** In der Halbleiterfertigung müssen häufig Strukturen mit einem hohen Aspektverhältnis mit vorbestimmten Materialien gefüllt werden. Derartige Strukturen umfassen Inter-Word-Lines, STIs, Grabenkondensatoren, Schichtkondensatoren etc. In der Halbleiterfertigung können Herstellungsprozesse oft dadurch vereinfacht werden, dass eine selektive Abscheidung eines als eine Dünnschicht bereitgestellten Materials vorgenommen wird. Auf diese Weise ist es möglich, sogenannte "selbstjustierende" Integrationsprozesse bereitzustellen. In hohem Maße gleichförmige und konformale Schichten, insbesondere Dünnschichten, können durch die sogenannte "atomare Schichtdeposition (ALD, Atomic Layer Deposition)" erzeugt werden.

**[0009]** Üblicherweise weist eine derartige atomare Schichtdeposition äußerst geringe Depositionsraten auf, derart, dass in einem Abscheidezyklus lediglich Schichtdicken im Bereich eines Nanometers (nm) abscheidbar sind. Zur Erhöhung der Depositionsraten ist in dem oben aufgeführten Artikel von Dennis Hausmann et al. ein Katalytischer Mechanismus vorgeschlagen worden. Derartige atomare Beschichtungsprozesse sind deshalb für die Halbleiterfertigung von Bedeutung, da eine Stöchiometrie auf einem atomaren Niveau gesteuert werden kann.

**[0010]** Die Dicke eines Films kann durch ein Zählen der Anzahl von Reaktionszyklen in üblicher Weise eingestellt werden und hängt im allgemeinen nicht von Variationen ab, die durch eine nicht-gleichförmige Verteilung von Gas oder Temperatur in der Reaktionszone herbeigeführt werden. Somit können Dünnschichten einer gleichförmigen Dickenverteilung über großen Flächen auf einfache Weise abgeschieden werden. Viele Anwendungen, in welchen die atomare Schichtdeposition vorteilhaft eingesetzt werden könnte, scheitern jedoch an den äußerst geringen Abscheideraten von nur wenigen Nanometern (nm) pro Zyklus. In der oben erwähnten Publikation von Hausmann et al. wird vorgeschlagen, eine katalytische Abscheidung auf der Grundlage der atomaren Schichtdeposition einzusetzen, wobei einige zehn Nanometer (nm) pro Zyklus erreicht werden können.

**[0011]** Zwar wurde durch das von Hausmann et al. vorgeschlagene Abscheidungsverfahren eine für atomare Beschichtungsprozesse hohe Depositionsrate erreicht, eine Strukturierung der Schicht kann durch das von Hausmann et al. vorgeschlagene Verfahren jedoch nicht bereitgestellt werden.

**[0012]** Fig. 1(a), Fig. 1(b) und Fig. 1(c) veran-

schaulichen herkömmliche Beschichtungsverfahren für strukturierte Substratoberflächen, mit welchen eine teilweise Füllung der in die Substratoberfläche eingebrachten Vertiefungen ermöglicht wird. **Fig. 1(a)** zeigt ein Substrat **101**, welches einen Substratstrukturierungsbereich **102** mit einem vorgegebenen Aspektverhältnis aufweist. Die mit dem Bezugszeichen **106** bezeichneten Gräben sind teilweise mit einem Material aufzufüllen. Üblicherweise sind die Gräben **106** derart ausgelegt, dass diese nach oben hin eine zunehmende Breite aufweisen, d.h. die in dem Substratstrukturierungsbereich **102** angeordneten Strukturen verschlanken sich nach oben hin geringfügig.

**[0013]** In **Fig. 1(b)** ist das in **Fig. 1(a)** gezeigte Substrat **101** nach einem ersten Beschichtungsschritt gezeigt, wobei eine Funktionsschicht **103** auf sämtlichen Oberflächen innerhalb des Substratstrukturierungsbereichs **102** aufgebracht ist. Wird eine atomare Abscheidung mittels eines atomaren Schichtdepositionsprozesses (ALD = Atomic Layer Deposition) eingesetzt, so wird eine äußerst konforme Schichtabscheidung erreicht und es entsteht wegen des gleichmäßigen Schichtwachstums kein Loch. Oftmals ist es jedoch nachteilig, wenn die Deposition einer Funktionsschicht **103** an den Seitenwänden der Gräben **106** bereitgestellt wird. Es kann nur gewünscht sein, dass ein Bodenbereich **107** der Gräben **106** des Substrats **101** beschichtet wird. Zu diesem Zweck werden, wie in **Fig. 1(c)** veranschaulicht, die erhabenen Strukturen mit einer Schutzschicht **104** versehen, derart, dass der Bodenbereich **107** des Substratstrukturierungsbereichs **102** frei bleibt.

**[0014]** Weiterhin ist es möglich, eine Schutzschicht **104** auf sämtlichen Innenflächen des Grabens **106** abzuscheiden und die Schutzschicht dann im Bodenbereich **107** des Grabens **106** zu öffnen bzw. zu entfernen. Desweiteren kann die Schutzschicht auch nur auf den Seitenwänden abgeschieden werden.

**[0015]** Herkömmliche Beschichtungsprozesse weisen den Nachteil auf, dass die Depositionsraten äußerst gering sind. Insbesondere die zur Vermeidung von Löchern und Spannungen in vorteilhafter Weise einsetzbare atomare Schichtdeposition weist den Nachteil auf, dass pro Beschichtungszyklus Schichtdicken im Bereich von nur wenigen Nanometern erreichbar sind.

#### Aufgabenstellung

**[0016]** Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Beschichtungsverfahren für strukturierte Substratoberflächen zu schaffen, durch welches Strukturen mit einem großen Aspektverhältnis gefüllt werden können, ohne dass Spannungen und/oder Löcher gebildet werden.

**[0017]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein in dem Patentanspruch 1 angegebenes Verfahren gelöst.

**[0018]** Ferner wird die Aufgabe durch ein strukturiertes Substrat mit den Merkmalen des Patentanspruchs 19 gelöst.

**[0019]** Weitere Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

**[0020]** Ein wesentlicher Gedanke der Erfindung besteht darin, die in einer strukturierten Substratoberfläche bereitgestellten Gräben mittels einer katalytisch abgeschiedenen Reaktionsschicht zu füllen, wobei zunächst eine Katalysatorschicht in die zu füllenden Gräben des Substratstrukturierungsbereichs eingebracht wird, anschließend eine Reaktionsschicht abgeschieden wird, die Reaktionsschicht schließlich verdichtet wird und der Prozess eines Einbringens einer Katalysatorschicht, eines katalytischen Abscheidens einer Reaktionsschicht und eines Verdichtens zyklisch wiederholt wird, bis die Gräben auf eine vorgegebene Füllhöhe gefüllt sind.

**[0021]** Es ist somit ein Vorteil der vorliegenden Erfindung, dass ein atomarer Schichtdepositionsprozess zum Füllen von Strukturen mit hohem Aspektverhältnis eingesetzt werden kann. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, tiefe Gräben spannungsfrei und ohne eine Ausbildung von Löchern aufzufüllen. Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann ein katalytischer atomarer Schichtdepositionsprozess (ALD = Atomic Layer Deposition) zyklisch wiederholt werden, derart, dass eine vorbestimmte Füllhöhe erreicht wird.

**[0022]** Bevorzugtermaßen werden Substratbereiche bzw. Oberflächenbereiche eines Materials bereitgestellt, auf welchen eine hohe Depositionsrate ermöglicht wird.

**[0023]** Das erfindungsgemäße Beschichtungsverfahren für strukturierte Substratoberflächen weist im Wesentlichen die folgenden Schritte auf:

- a) Bereitstellen eines Substrats, welches eine in einem Substratstrukturierungsbereich strukturierte Oberfläche mit einem oder mehreren auf eine vorbestimmte Füllhöhe zu füllenden Gräben aufweist;
- b) Einbringen einer Katalysatorschicht in die zu füllenden Gräben des Substratstrukturierungsbereichs;
- c) katalytisches Abscheiden einer Reaktionsschicht in den zu füllenden Gräben des Substratstrukturierungsbereichs;
- d) Verdichten der katalytisch abgeschiedenen Reaktionsschicht in den gefüllten Gräben; und
- e) Wiederholen der Schritte b) bis d), bis die vorbestimmte Füllhöhe der zu füllenden Gräben er-

reicht ist.

**[0024]** Erfindungsgemäß wird die Reaktionsschicht als eine Siliziumdioxidschicht ( $\text{SiO}_2$ ) ausgebildet.

**[0025]** Die Katalysatorschicht wird als eine Lewis-Säure bereitgestellt.

**[0026]** Die Katalysatorschicht wird nur auf Bodenbereichen der zu füllenden Gräben abgeschieden.

**[0027]** In den Unteransprüchen finden sich vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des jeweiligen Gegenstandes der Erfindung.

**[0028]** Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird das Einbringen der Katalysatorschicht in die zu füllenden Gräben des Substratstrukturierungsbereichs mittels einer physikalischen Gasphasenabscheidung durchgeführt.

**[0029]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird der Schritt eines katalytischen Abscheidens der Reaktionsschicht in den zu füllenden Gräben des Substratstrukturierungsbereichs durch die folgenden Teilschritte bereitgestellt:

(i) Leiten eines gasförmigen Precursormittels über die Oberfläche der zu füllenden Gräben, die mit der Katalysatorschicht beschichtet sind, derart, dass das Precursormittel und die Katalysatorschicht miteinander katalytisch reagieren;

(ii) Leiten eines gasförmigen Beschichtungsmittels über die Oberfläche der zu füllenden Gräben, die mit der Katalysatorschicht beschichtet sind, derart, dass eine Reaktionsschicht katalytisch abgeschieden wird; und

(iii) Wiederholen der obigen Schritte (i) und (ii), bis die durch die Schritte (i) und (ii) bereitgestellten katalytischen Reaktionen beendet sind.

**[0030]** Gemäß noch einer weiteren bevorzugten Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird eine einmalige Ausführung der Sequenz der Schritte (i) und (ii), die oben bezeichnet sind, die Reaktionsschicht mit einer Dicke von mehreren Nanometern (nm) vorzugsweise mit einer Dicke von bis zu 100 Nanometern (nm) katalytisch abgeschieden.

**[0031]** Gemäß noch einer weiteren bevorzugten Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird die aus den Schritten (i) und (ii), die oben bezeichnet sind, bestehende Schrittsequenz zyklisch durchgeführt, wobei die Anzahl der Zyklen vorzugsweise in einem Bereich zwischen 0 und 200 liegt.

**[0032]** Es ist vorteilhaft, das Substrat aus einem Siliziummaterial oder einem Isolationsmaterial auszuführen.

**[0033]** Gemäß noch einer weiteren bevorzugten Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird das katalytische Abscheiden der Reaktionsschicht in den zu füllenden Gräben des Substratstrukturierungsbereichs als eine atomare Schichtdeposition durchgeführt.

**[0034]** Es ist vorteilhaft, das Beschichtungsverfahren für strukturierte Substratoberflächen in der Form eines Niederdruck-Beschichtungsprozesses durchzuführen, welcher in einem Niederdruckreaktor bei einem Innendruck in einem Druckbereich von vorzugsweise einigen 133mPa bis einigen 133Pa ausgeführt wird.

**[0035]** Gemäß noch einer weiteren bevorzugten Weiterbildung der vorliegenden Erfindung beträgt die Temperatur des strukturierten Substrats bei dem Beschichtungsprozess  $50^\circ\text{C}$  bis  $700^\circ\text{C}$ .

**[0036]** Gemäß noch einer weiteren bevorzugten Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird das Einbringen der Katalysatorschicht in die zu füllenden Gräben des Substratstrukturierungsbereichs durch ein selektives Abscheiden bereitgestellt.

**[0037]** Es ist vorteilhaft, ein selektives Abscheiden der Katalysatorschicht in den zu füllenden Gräben des Substratstrukturierungsbereichs in einem chemischen Gasphasenabscheidungsprozess (CVD = Chemical Vapor Deposition oder ALD = Atomic Layer Deposition) durchzuführen.

**[0038]** Gemäß noch einer weiteren bevorzugten Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird das katalytische Abscheiden der Reaktionsschicht in den zu füllenden Gräben des Substratstrukturierungsbereichs mittels eines anisotropen Depositionsprozesses durchgeführt.

**[0039]** Gemäß noch einer weiteren bevorzugten Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird das Verdichten der katalytisch abgeschiedenen Reaktionsschicht in den gefüllten Gräben thermisch durchgeführt. Hierbei ist es vorzuziehen, das Verdichten der katalytisch abgeschiedenen Reaktionsschicht in den gefüllten Gräben thermisch in einem Temperaturbereich durchzuführen, der zwischen  $500^\circ\text{C}$  und  $1300^\circ\text{C}$  liegt.

**[0040]** Gemäß noch einer weiteren bevorzugten Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird das Verdichten der katalytisch abgeschiedenen Reaktionsschicht in den gefüllten Gräben thermisch und in einer Umgebungsatmosphäre durchgeführt, die aus Stickstoff und/oder Ammoniak und/oder aus Edelgasen und/oder sauerstoffhaltigen Gasen ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2 + \text{O}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) besteht.

**[0041]** Es ist vorteilhaft, als Lewis-Säure für die Ka-

talysatorschicht eines oder mehrere der Elemente A1, La, Zr, Hf, Ti, B und/oder In einzusetzen.

**[0042]** Das erfindungsgemäße Beschichtungsverfahren für strukturierte Substratoberflächen ermöglicht es, in dem Substratstrukturierungsbereich der Oberfläche, insbesondere in den im Substratstrukturierungsbereich ausgebildeten Gräben, eine Schicht zu deponieren, die frei von Spannungen und Lochbildungen innerhalb der Schicht ist.

**[0043]** Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

#### Ausführungsbeispiel

**[0044]** In den Zeichnungen zeigen:

**[0045]** **Fig. 1(a)**, **(b)** und **(c)** herkömmliche Beschichtungsverfahren für in einem Substratstrukturierungsbereich ausgebildete Gräben eines Substrats;

**[0046]** **Fig. 2** eine Abscheidung einer Katalysatorschicht anisotrop in dem Bodenbereich und auf den Oberflächen der erhabenen Strukturen eines Substratstrukturierungsbereichs; und

**[0047]** **Fig. 3(a)** bis **3(d)** eine Prozessabfolge zum Füllen von Gräben in einem Substratstrukturierungsbereich eines Substrats auf eine vorbestimmte Füllhöhe.

**[0048]** In den Figuren bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder funktionsgleiche Komponenten oder Schritte.

**[0049]** **Fig. 2** zeigt ein Substrat **101**, das einen Substratstrukturierungsbereich **102** aufweist. Es sei darauf hingewiesen, dass der Substratstrukturierungsbereich **102** nur beispielhaft dargestellt ist und komplexere Strukturen als diejenigen in **Fig. 2** aufgezeigten aufweisen kann. Eine Katalysatorschicht **201** wird anisotrop nur in dem Bodenbereich **107** der Gräben **106** des Substrats **101** abgeschieden, um eine katalytische Reaktion einer darauf aufzubringenden Reaktionsschicht mit der Katalysatorschicht **201** (untenstehend unter Bezugnahme auf **Fig. 3** beschrieben) bereitzustellen.

**[0050]** Die **Fig. 3(a)** bis **(d)** zeigen eine Prozessabfolge zum Füllen der Gräben **106** in dem Substrat **101** auf eine Füllhöhe **205** gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung schematisch. Wie in **Fig. 3(a)** gezeigt, wird ein Substrat **101** mit einem vorgegebenen Substratstrukturierungsbereich **102** bereitgestellt. Das Substrat **101** ist in einem Oberflächenbereich **105** mit Gräben strukturiert. Um einen katalytischen atomaren Schichtdepositionsprozess bereitzustellen (ALD =

Atomic Layer Deposition), wird in dem Bodenbereich **107** der Gräben **106** eine Katalysatorschicht **201** abgeschieden, um eine katalytische Reaktion mit einer darauf aufzubringenden Reaktionsschicht **202** (**Fig. 3(c)**) bereitzustellen. In dem in **Fig. 3(b)** gezeigten Zustand ist die Katalysatorschicht **201** auf den Bodenbereich **107** der Gräben **106** in dem Bereich der strukturierten Oberfläche **105** des Substrats abgeschieden. Eine katalytische Reaktion wird beispielsweise durch das Vorhandensein einer sogenannten Lewis-Säure ausgelöst. Lewis-Säuren sind Materialien, die ein Elektron aufnehmen können. Ein Precursor reagiert mit diesem Katalysator, wodurch eine Schicht abgeschieden wird. Vorzugsweise liegen die Wachstumsraten hierbei in einem Bereich von einigen Nanometern (nm) bis einigen zehn Nanometern (nm) pro Beschichtungszyklus. Die Temperaturen des Substrats **101** sind dabei vorzugsweise in einem Bereich von 50°C bis 700°C einzustellen. Vorzugsweise wird ein Niederdruck-Beschichtungsreaktor eingesetzt, dessen Innendruck in einem Bereich zwischen einigen 133mPa bis einigen 133Pa liegt.

**[0051]** Sobald eine katalytisch aufgewachsene Schicht eine Dicke erreicht hat, bei welcher der Katalysator keine Wirkung mehr auf den über die Oberfläche geleiteten Precursor hat, wird eine katalytische Reaktion abgeschwächt oder angehalten.

**[0052]** Erfindungsgemäß wird nunmehr eine neue katalytische Schicht aufgebracht, derart, dass eine Prozessschritt-Wiederholung (Pfeil **204** in **Fig. 3**) bereitgestellt wird, so dass eine erneute Katalysatorschicht **201** auf den bisher abgeschiedenen Schichtstapel abgeschieden wird.

**[0053]** **Fig. 3(c)** zeigt das Substrat **101** mit einer in den Gräben **106** abgeschiedenen Reaktionsschicht **202**, die durch ein katalytisches Abscheiden erzeugt worden ist. Die katalytisch abgeschiedene Reaktionsschicht **202** wird in einem anschließenden, in **Fig. 3(d)** veranschaulichten Prozess verdichtet, derart, dass eine verdichtete Reaktionsschicht **203** gebildet wird. Ist eine vorbestimmte Füllhöhe **205** erreicht worden, stoppt der Prozess nach dem in **Fig. 3(d)** gezeigten Schritt. Sollen die Gräben **106**, die in dem Substratstrukturierungsbereich **102** angeordnet sind, weiter aufgefüllt werden, so kehrt die Beschichtungsprozedur zu dem in **Fig. 3(b)** gezeigten Prozessschritt zurück, was in der **Fig. 3** durch einen Pfeil einer Prozessschritt-Wiederholung **204** angezeigt ist. Die in den **Fig. 3(b)** bis **3(d)** gezeigten Prozessschritte werden wiederholt, bis eine vorbestimmte Höhe **205** in den zu füllenden Gräben **106** erreicht ist.

**[0054]** Vorzugsweise wird das erfindungsgemäße Schichtverfahren zum Füllen von Gräben in Substratstrukturierungsbereichen eingesetzt, die ein hohes Aspektverhältnis aufweisen. Als Materialien für die

Katalysatorschicht **201** werden vorzugsweise Metalle eingesetzt, welche eine Lewis-Säure darstellen. Vorzugsweise finden als Materialien für die Katalysatorschicht **201** die Metalle Al, Lanthanide, Zr, Hf, Ti, B und Ni Verwendung.

**[0055]** Als Reaktionsschicht, die vorzugsweise mittels einer atomaren Schichtdeposition aufgebracht wird, wird Siliziumoxid ( $\text{SiO}_2$ ) eingesetzt.

**[0056]** Um eine Katalysatorschicht **201** selektiv in einem Bodenbereich **107** eines Grabens **106** abzuscheiden, kann eine Schutzschicht an den übrigen Oberflächenbereichen des Grabens **106** vorgesehen sein, wie bereits unter Bezugnahme auf **Fig. 1(b)** bei der Darstellung des herkömmlichen Verfahrens beschrieben. Auf der Schutzschicht wird keine Katalysatorschicht **201** abgeschieden, während die Katalysatorschicht **201** in dem Bodenbereich **107** der Gräben **106** abgeschieden wird. Durch ein katalytisches Abscheiden des Füllungsmaterials wächst dieses selektiv vom Bodenbereich **107** der Gräben **106** auf. Dieser Prozess wird so lange fortgesetzt, bis der Graben auf eine vorbestimmte Füllhöhe **205** aufgefüllt ist.

**[0057]** Es ist vorteilhaft, die Katalysatorschicht **201** gerichtet auf den Bodenbereich **107** der Gräben **106** abzuscheiden. Hierfür sind die folgenden technologischen Prozesse geeignet:

- (i) Sputtern einer Lewis-Säure;
- (ii) Aufdampfen einer Lewis-Säure;
- (iii) Diffusion eines Katalysators bzw. einer Katalysatorschicht **201** durch einen thermischen Prozess vom Bodenbereich **107** der Gräben **106** an die Oberfläche, beispielsweise unter Verwendung des Elements Bor in einem Siliziumoxid-Material ( $\text{SiO}_2$ -Material);
- (iv) Plasma-Abscheidung einer Lewis-Säure; und
- (v) CVD (Chemical Vapor Deposition, chemische Gasphasenabscheidung) oder ALD einer Lewis-Säure.

**[0058]** Es ist vorteilhaft, dass die oben genannten Prozesse (i) bis (v) in-situ in einer Beschichtungskammer für katalytische atomare Schichtdeposition durchgeführt werden können.

**[0059]** Spannungen in den eingebrachten Füllmaterialien können durch zwischengeschaltete Heizschritte minimiert werden, d.h. durch eine Prozessabfolge: erste Füllschicht – Ausheizen – zweite Füllschicht – Ausheizen – etc.

**[0060]** Weiterhin ist es vorteilhaft, zur Vermeidung von "Corner Devices" bei STI und Inter-Word-Line-Füllungen eine einwandfreie Oberfläche durch eine vorherige thermische Oxidation der Wände der Gräben **106** bereitzustellen.

**[0061]** Durch Verwendung eines homogenen Ab-

scheideverfahrens in Form der katalytischen atomaren Schichtdeposition können Strukturen mit einem hohen Aspektverhältnis bei einer hohen Depositionsrate aufgefüllt werden.

**[0062]** Das Abscheideverfahren kann durch eine Auswahl des Bereichs, in welchem eine Katalysatorschicht **201** abgeschieden wird, selektiv ausgeführt werden. Durch die sehr gleichmäßige atomare Schichtdeposition werden Spannungsprobleme (Stressprobleme), die zu einem Verbiegen von Grabenwänden führen können, weitestgehend vermieden. Durch den Einsatz von Lewis-Säuren wie beispielsweise in das Substrat eingebrachten Dotanden wie Bor, Aluminium, Gallium, Indium und Titan wird eine selektive katalytische atomare Schichtdeposition ermöglicht. Insbesondere ist es vorteilhaft, dass der Einsatz eines Reaktionsbeschleunigungsmittels wie einer Lewis-Säure die Möglichkeit schafft, die atomare Schichtdeposition (ALD = Atomic Layer Deposition), die infolge des Reaktionsbeschleunigungsmittels eine hohe Depositionsrate aufweist, mit einer selektiven Strukturierung und/oder Füllung einer Substratoberfläche **105** zu verknüpfen. Auf diese Weise ist es möglich, eine selektive atomare Schichtdeposition mit einer hohen Füllrate bereitzustellen.

**[0063]** Die in dem Substratstrukturierungsbereich **102** des Substrats **101** bereitgestellten Gräben weisen typischerweise eine Breite zwischen 50 Nanometern und 500 Nanometern und eine Tiefe zwischen 500 Nanometern und 2,5 Mikrometern ( $\mu\text{m}$ ) auf. Somit ist es möglich, die Gräben durch die katalytische atomare Schichtdeposition rasch zu füllen, wobei durch eine einmalige Ausführung der Schrittsequenzen der atomaren Schichtdeposition eine Dicke von mehreren Nanometern, vorzugsweise eine Dicke der Grabenfüllung von bis zu 20 Nanometern erreicht wird. Auf diese Weise ist es möglich, die in dem Substratstrukturierungsbereich **102** des Substrats **101** bereitgestellten Gräben **106** rasch mit einem vorgegebenen Füllmaterial zu füllen.

**[0064]** Ein katalytisches Abscheiden einer Reaktionsschicht **202** in den zu füllenden Gräben **106** des Substratstrukturierungsbereichs **102** wird dann beendet, wenn die abgeschiedene Reaktionsschicht **202** so dick ist, dass die darunter liegende Katalysatorschicht **201** eine katalytische Reaktion mit der Reaktionsschicht **202** nicht mehr herbeiführen kann. Dies ist typischerweise bei der atomaren Schichtdeposition dann der Fall, wenn eine Schichtdicke von einigen Nanometern bis ca. 20 Nanometern (nm) erreicht ist. Erfindungsgemäß wird dann der Prozess eines katalytischen Abscheidens mittels atomarer Schichtdeposition dadurch wiederholt, dass erneut eine Katalysatorschicht in die – zum Teil – aufgefüllten Gräben **106** des Substratstrukturierungsbereichs **102** eingebracht wird und erneut eine Reaktionsschicht abgeschieden wird.

**[0065]** Bezüglich der in den Fig. 1(a), 1(b) und 1(c) gezeigten herkömmlichen Schichtstrukturen wird auf die Beschreibungseinleitung verwiesen.

**[0066]** In den Figuren bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder funktionsgleiche Komponenten oder Schritte.

#### Bezugszeichenliste

<b>101</b>	Substrat
<b>102</b>	Substratstrukturierungsbereich
<b>103</b>	Funktionsschicht
<b>104</b>	Schutzschicht
<b>105</b>	Strukturierte Oberfläche
<b>106</b>	Graben
<b>107</b>	Bodenbereich
<b>201</b>	Katalysatorschicht
<b>202</b>	Reaktionsschicht
<b>203</b>	Verdichtete Reaktionsschicht
<b>204</b>	Prozessschritt-Wiederholung
<b>205</b>	Füllhöhe

#### Patentansprüche

1. Beschichtungsverfahren für strukturierte Substratoberflächen, mit den folgenden Schritten:

- Bereitstellen eines Substrats (**101**), welches eine in einem Substratstrukturierungsbereich (**102**) strukturierte Oberfläche (**105**) mit einem oder mehreren auf eine vorbestimmte Füllhöhe (**205**) zu füllenden Gräben (**106**) aufweist;
- Einbringen einer Katalysatorschicht (**201**) nur auf Bodenbereichen (**107**) der zu füllenden Gräben (**106**) des Substratstrukturierungsbereichs (**102**), wobei die Katalysatorschicht (**201**) als eine Lewis-Säure bereitgestellt wird;
- Katalytisches Abscheiden einer Reaktionsschicht (**202**) in den zu füllenden Gräben (**106**) des Substratstrukturierungsbereichs (**102**), das ein Abscheiden einer Siliziumdioxid-Dünnschicht umfasst;
- Verdichten der katalytisch abgeschiedenen Reaktionsschicht (**202**) in den zu füllenden Gräben (**106**), um eine verdichtete Reaktionsschicht (**203**) zu erhalten; und
- Wiederholen der Schritte b) bis d), bis die vorbestimmte Füllhöhe (**205**) der zu füllenden Gräben (**106**) erreicht ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Einbringen der Katalysatorschicht (**201**) in die zu füllenden Gräben (**106**) des Substratstrukturierungsbereichs (**102**) mittels einer physikalischen Gasphasenabscheidung (PVD) durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt c) eines katalytischen Abscheidens der Reaktionsschicht (**202**) in den zu füllenden Grä-

ben (**106**) des Substratstrukturierungsbereichs (**102**) die folgenden Teilschritte umfasst:

- Leiten eines gasförmigen Precursormittels über die Oberfläche der zu füllenden Gräben (**106**), die mit der Katalysatorschicht (**201**) beschichtet sind, derart, dass das Precursormittel (**201**) durch die Katalysatorschicht (**201**) auf der Oberfläche reagiert und zu einer Beschichtung aus Bestandteilen des Precursormittels führt;
- Leiten eines gasförmigen Beschichtungsmittels über die Oberfläche der zu füllenden Gräben (**106**), die mit der Katalysatorschicht (**201**) beschichtet sind, derart, dass eine Reaktionsschicht (**202**) katalytisch abgeschieden wird; und
- Wiederholen der Schritte (i) und (ii), bis die durch die Schritte (i) und (ii) bereitgestellten katalytischen Reaktionen beendet sind.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass durch eine einmalige Ausführung der Sequenz der Schritte (i) und (ii) die Reaktionsschicht (**202**) mit einer Dicke von mehreren Nanometern (nm), vorzugsweise mit einer Dicke von bis zu 20 Nanometern (nm) katalytisch abgeschieden wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die aus den Schritten (i) und (ii) bestehende Schrittsequenz zyklisch durchgeführt wird, wobei die Anzahl der Zyklen vorzugsweise in einem Bereich zwischen 0 und 200 liegt.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (**101**) aus einem Siliziummaterial ausgebildet ist.

7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (**101**) aus einem Isolationsmaterial ausgebildet ist.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zu füllenden Gräben (**106**) in dem Substratstrukturierungsbereich (**102**) ein hohes Aspektverhältnis aufweisen.

9. Verfahren nach Anspruch 1 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass das katalytische Abscheiden der Reaktionsschicht (**202**) in den zu füllenden Gräben (**106**) des Substratstrukturierungsbereichs (**102**) als eine atomare Schichtdeposition (ALD) durchgeführt wird.

10. Verfahren nach einem oder mehreren der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Beschichtungsverfahren für strukturierte Substratoberflächen als ein Niederdruck-Beschichtungsprozess mittels eines Niederdruckreaktors bei einem Innendruck in einem Druckbereich von vorzugsweise einigen 133mPa bis einigen 133 Pa durchgeführt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur des Substrats (**101**) bei dem Beschichtungsprozess in einem Bereich von 50 °C bis 700 °C eingestellt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Einbringen der Katalysatorschicht (**201**) in die zu füllenden Gräben (**106**) des Substratstrukturierungsbereichs (**102**) durch ein selektives Abscheiden bereitgestellt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das selektive Abscheiden der Katalysatorschicht (**201**) in den zu füllenden Gräben (**106**) des Substratstrukturierungsbereichs (**102**) mittels chemischer Gasphasenabscheidung, z.B. CVD oder ALD, durchgeführt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das katalytische Abscheiden der Reaktionsschicht (**202**) in den zu füllenden Gräben (**106**) des Substratstrukturierungsbereichs (**102**) mittels eines atomaren Schichtdepositionsprozesses durchgeführt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das katalytische Abscheiden der Reaktionsschicht (**202**) in den zu füllenden Gräben (**106**) des Substratstrukturierungsbereichs (**102**) mittels eines anisotropen Depositionsprozesses durchgeführt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Verdichten der katalytisch abgeschiedenen Reaktionsschicht (**202**) in den gefüllten Gräben (**106**) thermisch durchgeführt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Verdichten der katalytisch abgeschiedenen Reaktionsschicht (**202**) in den gefüllten Gräben (**106**) thermisch in einem Temperaturbereich zwischen 500 °C und 1300 °C durchgeführt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Verdichten der katalytisch abgeschiedenen Reaktionsschicht (**202**) in den gefüllten Gräben (**106**) in einer Umgebungsatmosphäre durchgeführt wird, die aus Stickstoff und/oder aus Ammoniak und/oder aus Edelgasen und/oder sauerstoffhaltigen Gasen besteht.

19. Substrat (**101**) mit einer strukturierten Oberfläche (**105**), die Gräben (**106**) in einem Substratstrukturierungsbereich (**102**) aufweist, welche mit einer wenigstens einmalig wiederholten Schichtfolge, die eine Katalysatorschicht (**201**) und eine verdichtete Reaktionsschicht (**203**) enthält, gefüllt sind, wobei die Katalysatorschicht (**201**) nur parallel zu einem Bodenbereich (**107**) der Gräben (**106**) verläuft und eine

Lewis-Säure aufweist und die verdichtete Reaktionsschicht (**203**) eine Siliziumdioxid-Dünnschicht aufweist.

20. Substrat (**101**) nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Katalysatorschicht (**201**) aus einem oder mehreren der Elemente Al, La, Zr, Hf, Ti, B und In besteht.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen



Anhängende Zeichnungen

FIG 1A

Stand der Technik

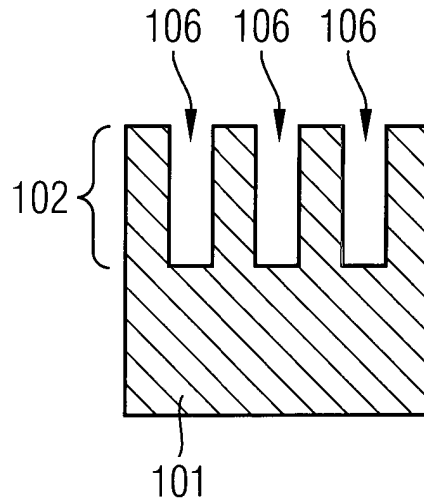
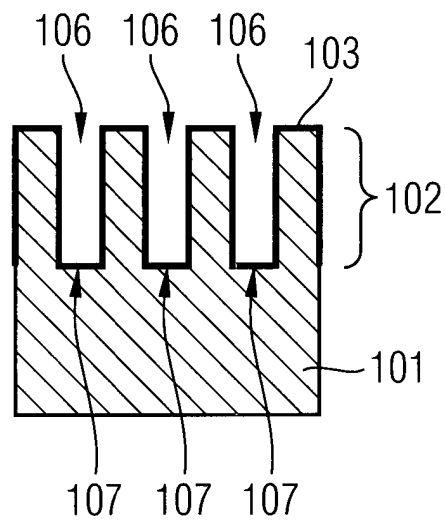


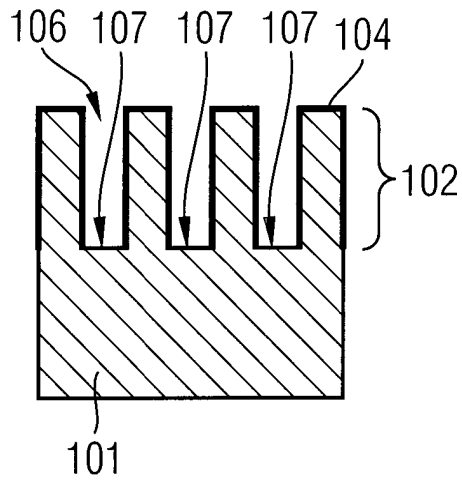
FIG 1B

Stand der Technik



**FIG 1C**

Stand der Technik



**FIG 2**

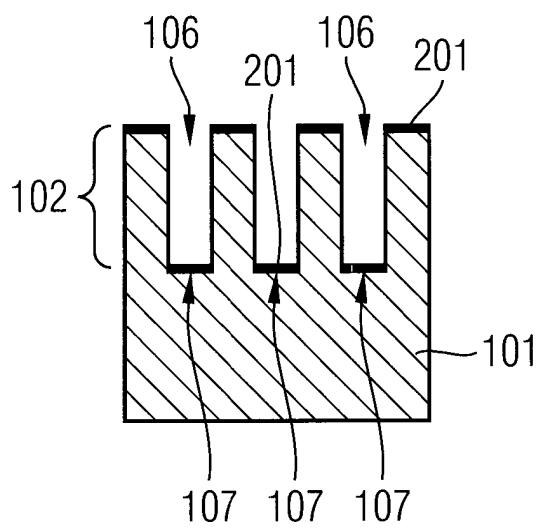


FIG 3A

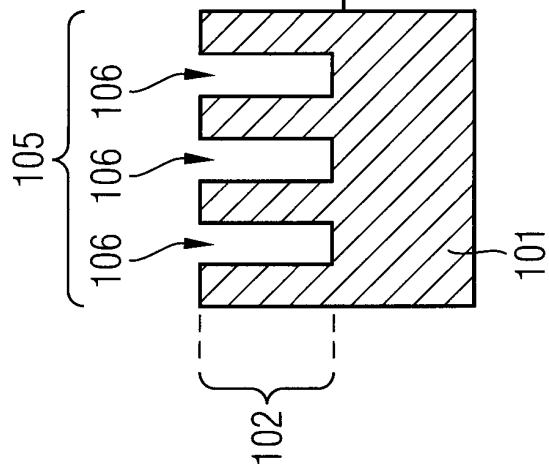


FIG 3B

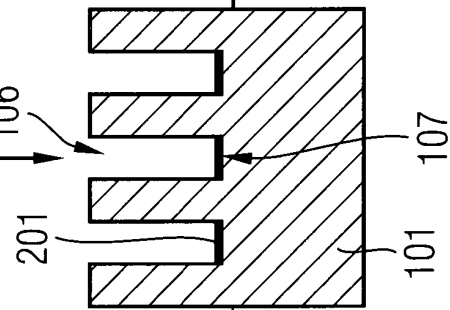


FIG 3C

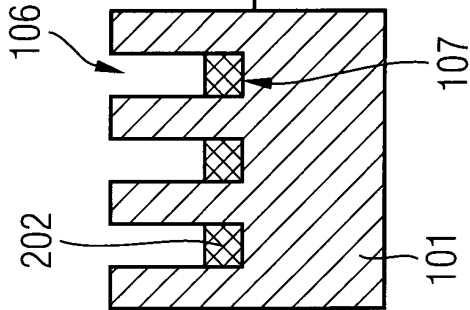


FIG 3D

