

## Herstellung und Charakterisierung ultradünner nanostrukturierter Diffusionsbarrieren auf Tantal- und Wolfram-Basis für Metallisierungen in der < 0,15 µm-Technologie

### Zielsetzung

Das Ziel des Projektes besteht in der Evaluierung potentieller ultradünner ( $\leq 10$  nm), elektrisch leitfähiger Barrierschichten auf Ta- und W-Basis für die Anwendung in künftigen höchstintegrierten mikroelektronischen Schaltungen ( $\leq 0,15$  µm-Technologie). Die Herstellung erfolgt mittels PVD- und CVD-Verfahren.

Die Herabskalierung der Schichtdicke von Diffusionsbarrieren in die Nähe des atomaren Bereichs stellt sowohl an die Werkstoffauswahl / Herstellung als auch an die Barrierencharakterisierung neue und bisher noch nicht gelöste Aufgaben. Es existieren bis heute weder Werkstoffe noch Verfahren, die es erlauben, nur wenige Monolagen dicke und thermodynamisch stabile metallische Dünnschichten reproduzierbar herzustellen. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes sollen denkbare Lösungsansätze verfahrens- und werkstoffseitig betrachtet und für eine industrielle Umsetzung vorbereitet werden. Durch Zulegieren von Elementen zu den Basismaterialien Ta bzw. W soll eine Nanostruktur mit Kristallitgrößen von nur wenigen Nanometern bis hin zur Amorphisierung, mit möglichst geringer Defektdichte erzielt werden. Die Vor- und Nachteile der PVD- und CVD-Abscheidungsverfahren für diese Dünnschichten sollen bewertet werden. Dazu ist es erforderlich, die Barrierschichten sowohl strukturell als auch funktionell zu charakterisieren.

untersucht. Als Barrierematerial kam PVD Ta-Si und Ta-Si-N mit unterschiedlichem Stickstoffanteil zum Einsatz.

Im Ausgangszustand nach Abscheidung sind alle untersuchten Barrierschichten amorph. In Abhängigkeit von Barrierestruktur und Wärmebehandlung kann es zur Bildung kristalliner Phasen, zum Kornwachstum sowie zur Cu-Diffusion in bzw. durch die Barriere kommen. Mit einer Erhöhung des Stickstoffgehaltes erhöhen sich auch die thermische Stabilität und der elektrische Widerstand der ultradünnen Diffusionsbarrieren. Tabelle 1 gibt eine exemplarische Auskunft über die gefundenen Ergebnisse.

Für die industrielle Anwendung in Cu-Mehrlagenmetallisierungen wird TaSiN (2 sccm N<sub>2</sub>) favorisiert, da hier ein Optimum zwischen Barriestabilität, spezifischem elektrischen Widerstand von ca. 200 µΩcm, intrinsischen Druckspannungen von < (-400 MPa) und sehr niedriger Schichttrauhigkeit von  $R_{\text{nms}} \sim 0,15$  nm gefunden werden konnte. Abb. 1 zeigt dieses Barrierematerial auf SiO<sub>2</sub> mit Kupfer als abschließender Schicht nach einer Temperung von 450 °C / 1 h bzw. 600 °C / 1 h. In beiden Fällen bleibt die amorphe Struktur der Diffusionsbarriere erhalten. Setzt man die Temperaturbelastung bei 600 °C über 8 h fort, sind mittels Röntgenbeugung erste Reflexe von kristallinen Ta<sub>2</sub>N-Bereichen festzustellen, eine einsetzende Kupferdiffusion ist jedoch nicht nachzuweisen.

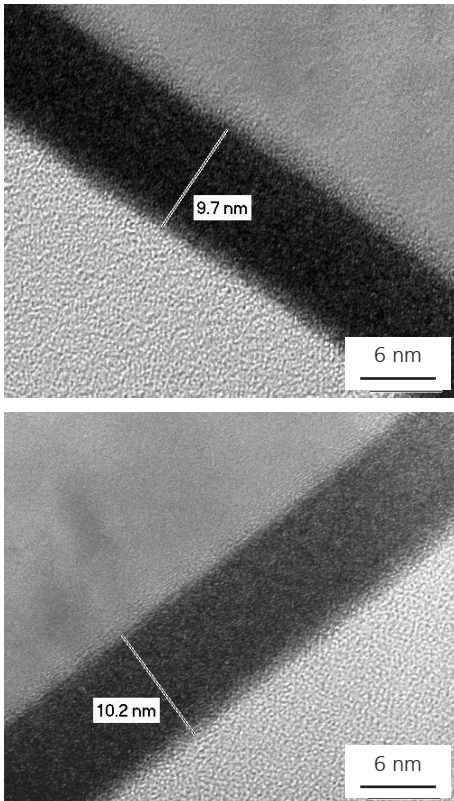


Abb. 1: 10 nm TaSiN-Diffusionsbarriere auf SiO<sub>2</sub> nach unterschiedlichen thermischen Belastungen  
oben: 450 °C / 1 h  
unten: 600 °C / 1 h  
(Bild: AMD Saxony LLC & Co. KG)

### Am Projekt beteiligte Partner:

- AMD Saxony LLC & Co. KG
- TU Dresden, Institut für Halbleiter- und Mikrosystemtechnik
- TU Chemnitz, Zentrum für Mikrotechnologien
- IFW Dresden, Institut für Festkörperanalytik und Strukturforschung

### Bisherige Ergebnisse

#### Ternäre Diffusionsbarrieren auf Ta-Basis

Struktur und thermische Stabilität von kupferbedeckten Barrierschichten mit 10 nm Schichtdicke auf SiO<sub>2</sub> wurden mit röntgenographischen, spektroskopischen und chemischen Methoden

Barriere-schichten	untersuchte Proben	Gefügezustand der Barriere	Cu-Diffusion in die Barriere / SiO <sub>2</sub> -Schicht
Ta	600 °C / 16 h 600 °C / 100 h	kristallin / amorph kristallin / amorph	nicht nachgewiesen ja
TaSi	500 °C / 1 h	kristallin / amorph	ja
TaSiN (1 sccm N <sub>2</sub> )	600 °C / 16 h 600 °C / 100 h	amorph kristallin / amorph	nicht nachgewiesen ja
TaSiN (2 sccm N <sub>2</sub> )	600 °C / 100 h	kristallin	nein
TaSiN (3 sccm N <sub>2</sub> )	600 °C / 100 h	kristallin	nein
TaSiN (4 sccm N <sub>2</sub> )	600 °C / 100 h 900 °C / 1 h	amorph amorph	nein nein
TaN	600 °C / 100 h 900 °C / 1 h	amorph kristallin	nein nein

Tab. 1: Experimentelle Ergebnisse ternärer Diffusionsbarrieren auf Ta-Basis

### Diffusionsbarrieren auf W-Basis

Zur Abscheidung der WN<sub>x</sub>-Schichten wird ein PECVD-Verfahren (plasma-enhanced CVD) mit einer WF<sub>6</sub>(Ar) / H<sub>2</sub> / N<sub>2</sub>-Gas Mischung verwendet. Durch Variation des WF<sub>6</sub> / N<sub>2</sub>-Gasverhältnisses und Änderung des Gesamtgasflusses wurden 3 verschiedene Schichten hinsichtlich des W / N-Verhältnisses (15 - 25 at% N) hergestellt. Im Ausgangszustand haben die WN<sub>x</sub>-Schichten einen Schichtwiderstand im Bereich von 200 - 220 μΩcm und sind röntgenamorph. Erst nach einer Temperung bei 600 °C im Vakuum sind Unterschiede zwischen den Schichten zu erkennen. WN<sub>x</sub>1 (x ~ 0,18) und WN<sub>x</sub>2 (x ~ 0,33) kristallisieren bei 600 °C / 1 h in α-W und β-W<sub>2</sub>N. WN<sub>x</sub>3 (x = 0,25) zeigt erst nach 600 °C / 4 h kleine Peaks der (100)-Ebenen von α-W und β-W<sub>2</sub>N auf dem amorphen Sockel. Die verzögerte Kristallisation bei WN<sub>x</sub>3 kann auf einen höheren Amorphisierungsgrad der Schichten zurückgeführt werden, der durch eine extreme Erhöhung des Gesamtflusses durch Argon erreicht wird.

Die strukturellen Untersuchungen zur Stabilität der im Ausgangszustand amorphen WN<sub>x</sub>-Barrieren zeigen, dass

bis zu einer Wärmebehandlung von 550 °C / 1 h keine Kristallisation auftritt. Abb. 2 zeigt die Schicht WN<sub>x</sub>3 nach einer Temperung 400 °C / 100 h im Vakuum. Es sind keine strukturellen Veränderungen im Vergleich zum Ausgangszustand zu erkennen. Ab 600 °C werden β-W<sub>2</sub>N und b.c.c.-W beobachtet, ohne dass eine nachweisbare Cu-Diffusion einsetzt.

Es wurden weiter Abscheidungen zu ternären Schichten W-Si-N vorgenommen. Dabei wird dem Gasgemisch Silan (SiH<sub>4</sub> / WF<sub>6</sub> = 0,5 bis 9) zugegeben. Die Ergebnisse der Röntgenuntersuchung zeigen, daß auch diese Proben im Ausgangszustand röntgenamorph sind. Nach einer Wärmebehandlung (600 °C im Vakuum) kristallisieren diese Proben mit den Verhältnissen 0,5; 1 und 1,5 vorwiegend in α-W, es sind lediglich geringe Anzeichen für β-W<sub>2</sub>N vorhanden, die für SiH<sub>4</sub> / WF<sub>6</sub> = 0,5 noch am deutlichsten sind.

Höhere Verhältnisse führen zur Bildung eines Zweischichtsystems, wobei sich zuerst eine SiON-Schicht bildet und danach erst eine WN<sub>x</sub>-Schicht. Die SiON-Schicht kann sich während der langen Inkubationszeit des WN<sub>x</sub>-Prozesses bilden, und ist auch um so dicker je höher der Silanfluss ist.

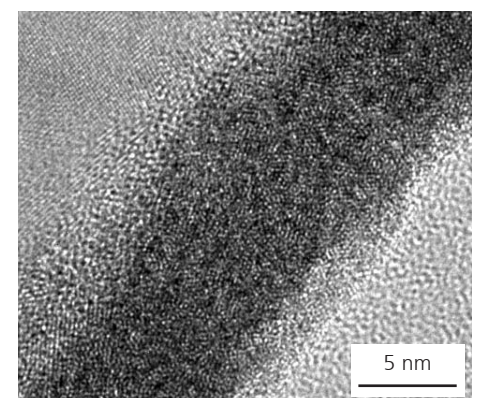
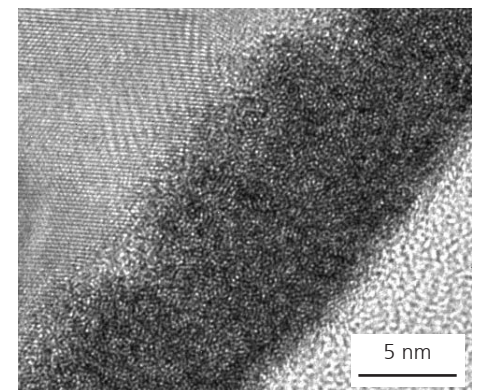


Abb. 2: Amorphe Struktur der Barriere im Ausgangszustand (oben) und nach Temperung 400 °C / 100 h (unten)  
(Bild: AMD Saxony LLC & Co. KG)

### Ihr Ansprechpartner für weitere Informationen:

TU Dresden  
Institut für Halbleiter- und Mikro-systemtechnik  
Postfach  
01062 Dresden  
Dr. Christian Wenzel  
Tel. 0351 / 463 364 13  
Fax 0351 / 463 370 21  
Mail wenzel@ihm.et.tu-dresden.de