

# Kapazitiv gekoppelte Mehrfrequenzplasmen zur Abscheidung keramischer und ferromagnetischer Schichten

Stefan Bienholz

Die Arbeit beschäftigt sich mit großflächigen kapazitiv gekoppelten Mehrfrequenzplasmaquellen (MFCCPs) zur Abscheidung diverser Schichtsysteme. Durch Verwendung eines Targets als getriebene Elektrode werden kapazitiv gekoppelte Plasmen seit Jahrzehnten als Quellen für PVD-Beschichtungen genutzt. Die Verwendung mehrerer Frequenzen zur Plasmaerzeugung ermöglicht in gewissen Grenzen die unabhängige Kontrolle von Ionenenergie und Ionenfluss auf das Target. Wohingegen typischerweise nur zwei verschiedene Anregungsfrequenzen verwendet werden, werden hier Vorteile von weiteren Anregungsfrequenzen herausgearbeitet. Da die verwendeten Anpassnetzwerke für einige der anderen verwendeten Frequenzen nur unzureichende Filtereigenschaften aufweisen, wurde ein zusätzliches Filternetzwerk am Ausgang der Anpassnetzwerke entwickelt, welches die Leistungsanpassung bei den entsprechenden Frequenzen nicht verändert.

Um großflächige Plasmen charakterisieren zu können, sind orts aufgelöste Messungen, beispielsweise mit Langmuirsonden oder Multipolresonanzsonden, erforderlich. Diese Diagnostikverfahren haben den Nachteil, dass ihre Oberfläche in beschichtenden Plasmen nicht vor Beschichtungen geschützt ist. Die Änderungen der Kennlinien beider SONDENSYSTEME durch definierte dielektrische, sowie metallische Schichten wurden im Detail untersucht. Beide Sonden verhalten sich komplementär, sodass jeweils eine Sonde in allen beschichtenden Plasmen anwendbar ist.

Durch Vergrößerung des Elektrodenradius in kapazitiv gekoppelten Entladungen nimmt die geometrische Asymmetrie des Plasmas ab, wodurch immer weniger Selbstbiasspannung erzeugt wird und sich die Energie der sputternden Ionen verringert. Die Sputterausbeute sinkt nahezu linear mit Verringerung der Selbstbiasspannung, sodass die Effizienz des Sputterprozesses mit steigendem Elektrodenradius sinkt. Um dem entgegenzuwirken, wird im MFCCP der elektrische Asymmetrieeffekt verwendet, indem die zweite Harmonische der niedrigsten Anregungsfrequenz phasenfest, als weitere Anregungsfrequenz, ergänzt wird. Über die Phasenlage beider Frequenzen ändert sich das Verhältnis der Beträge von Minimum und Maximum der überlagerten Spannungsfunktion, wodurch die geometrisch erzeugte Selbstbiasspannung um bis zu 25 % verändert werden kann. Die Plasmadichte bleibt dabei konstant, sodass die Selbstbiasspannung über die Phasenlage beider Frequenzen vollständig unabhängig vom Ionenfluss eingestellt werden kann. Dieses Konzept führt jedoch auch dazu, dass verstärkt Oberwellen der Grundfrequenz angeregt werden, dessen Phasenlage die Selbstbiasspannung und deren Amplitude die Elektronendichte beeinflusst.

Die Abscheidung im MFCCP am Beispiel von Al wird mittels Diagnostik- und Analytikverfahren, sowie Simulationen der Target- und Transportprozesse modelliert. Die vollständige Plasmacharakterisierung liefert alle Eingabeparameter für TRIDYN-Simulationen zur Bestimmung der Sputterausbeute des Al-Targets. Der Transport der gesputterten Al-Atome durchs Plasma zum Substrat wird unter Berücksichtigung von Stößen mit dem Ar-Hintergrundgas simuliert, sodass die orts aufgelöste Al-Dichte im Plasma bestimmt werden kann. Ein Vergleich der simulierten und gemessenen Al-Dichten, sowie die Analyse der abgeschiedenen Schichten zeigt, dass in Abhängigkeit der Prozessbedingungen nur ein geringer Teil des gesputterten Materials zur Schichtbildung auf dem Substrat beiträgt.

Um die Vorteile des MFCCPs herauszuarbeiten, sind keramische und ferromagnetische Schichten abgeschieden und analysiert worden. Bei den weit verbreiteten DC-Magnetronverfahren tritt bei der Abscheidung keramischer Schichtsysteme durch Aufladungen vermehrt Arcing auf, wodurch die Schichten in aller Regel beschädigt werden. Ferromagnetische Targets schließen das Feld des Magnetrons kurz, sodass die Effizienz der DC-Entladung rapide sinkt. Die im MFCCP abgeschiedene dielektrischen AlN-Schichten weisen hingegen keine Spuren von Arcing auf. Weiterhin konnten bei der Abscheidung von Fe und Ni im MFCCP vergleichbare Abscheideraten bei verringerter mittlerer Leistungsdichte erzielt werden.