

Plasma-Oberflächentechnik · Materialphysik

Plasmacharakterisierung mit dem Plasmamonitor HIDEN EQP 300

Einführung

Für die Abscheidung dünner harter Verschleißschichten auf Schneidwerkzeugen und verschiedensten Bauteilen werden heutzutage hauptsächlich die kathodische Lichtbogenverdampfung und das Magnetronspütern eingesetzt. Beide zur Familie der Physikalischen Dampfphasenabscheidungen – Physical Vapour Deposition (PVD) – zählenden Methoden zeichnen sich dadurch aus, dass sich die „Dampfphase“ im Gegensatz zum reinen thermischen Verdampfen im Plasmazustand befindet, der neben neutralen Atomen und Molekülen auch Ionen und Elektronen enthält. Vor allem den Ionen kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, da sie mit ihrer Energie für die Ausbildung entscheidender Schichteigenschaften wie gute Haftung, hohe Dichte, Härte und Verschleißfestigkeit verantwortlich sind. Die eigentlich im Plasma vorherrschenden Bedingungen bleiben in normalen Beschichtungsprozessen aber verborgen, nur makroskopische Beschichtungsbedingungen wie eingebrachte Plasmaleistung, Substratstrom, Kammerdruck oder Prozessgasflüsse sind zugänglich. Um an die primären, für die Schichtqualität bedeutsamen Kenndaten eines Plasmas zu gelangen, müssen spezielle Plasmaanalyseverfahren eingesetzt werden.

Dazu gehören beispielsweise:

- › Optische Emissionsspektroskopie (OES)
- › Langmuirsondendiagnostik
- › Ionenenergiebestimmung durch Gegenfeldanalyse (auch „Faraday-Cup“ genannt)
- › Plasmaanalytik per Plasmamonitor

Faraday-Cup-Messungen und OES werden am fem bereits seit längerer Zeit erfolgreich durchgeführt. Für eine genaue Analytik der im Plasma vorliegenden Ionen sowie deren Energie kommt seit 2012 nun auch ein Plasmamonitor HIDEN EQP 300 zum Einsatz.

Möglichkeiten und technische Details

Technisch gesehen ist ein Plasmamonitor ein Quadrupol Massenspektrometer mit vorgeschaltetem Energieseparator. Im Gegensatz zum Faradaycup wird hier nicht das Energiespektrum aller vorhandenen Ionen zusammen, sondern jeweils nur dasjenige einer einzelnen Ionenspezies erfasst. Getrennt nach ihren Masse/

Ladungs-Verhältnissen können so alle im Plasma vorhandenen Ionen separat hinsichtlich ihrer Energieverteilung analysiert werden.

Für ein besonders effizientes Arbeiten ist die Software des HIDEN EQP 300 in der Lage, nahezu alle gewünschten Parametervariationen frei nacheinander bzw. in abhängigen Schleifen zu programmieren und automatisiert zu vermessen. Dazu kommt die Möglichkeit der einachsigen Verschiebung des gesamten Gerätes um bis zu 10 cm, womit die Abhängigkeit der Plasmaparameter von der Position relativ zur Plasmaquelle auch ohne Öffnung der Vakuumkammer erfassbar ist. Wegen der ansonsten durch seine Größe und den speziellen Aufbau eher eingeschränkten Flexibilität sollten, im Gegensatz zu Faraday-Cup und OES, die Plasmaquellen zum Messgerät gebracht werden. Die Vakuumkammer der Leybold L-560 bietet dafür ausreichend Raum und eine große Zahl verschiedener Flansche.

Eine typische Analyse eines Magnetronspüternprozesses sieht zum Beispiel so aus:

- a. Zunächst wird bei einer vorher ausgewählten Ionenenergie ein reiner Massenscan durchgeführt. Dessen Ergebnis ist ein Masse/Ladungs-Spektrum, mit dessen Hilfe die im Prozess vorhandenen Ionenarten identifiziert werden.
- b. Danach wird ein komplexer Multiscan programmiert, der für alle interessanten Ionenarten jeweils ein komplettes Energiespektrum erfasst.
- c. Nun kann die Position des Magnetrons oder die des Plasmamonitors verändert und der nächste Multiscan analog b. gestartet werden.

Dies ermöglicht zum Beispiel eine einfache Auftrennung der Ionenenergiespektren der Arbeitsgasionen Ar⁺, von denen der gesputterten und ionisierten Metallteilchen. Neben der Ionenenergieverteilung IEDF (Ion Energy Distribution Function), ist mit dem EQP, z.B. durch gezielte Nachionisierung, auch die Analyse von Neutralteilchen, Radikalen und negativen Ionen möglich. Abb. 1 zeigt den kompletten Plasmamonitor an der Leybold L-560, Abb. 2 die Extraktionsblende in der Va-

kuumkammer, in deren Nähe eine Magnetronsputterkathode oder andere Plasmaquellen platziert werden können.

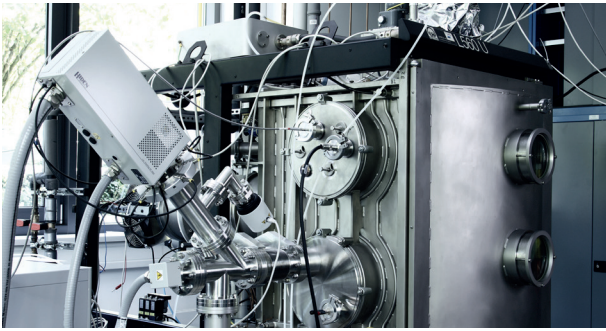


Abb. 1 | Plasmamonitor mit Turbomolekularpumpe an der Leybold L-560 U

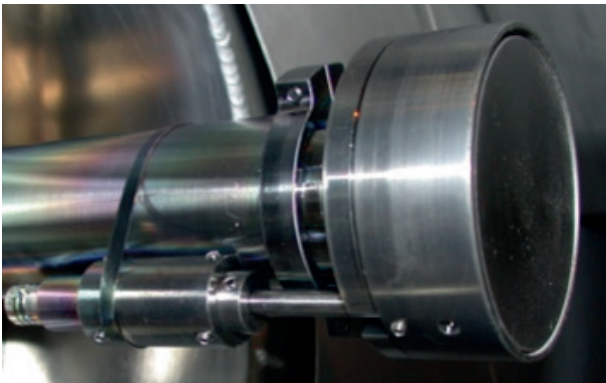


Abb. 2 | Extraktionsblende (Apertur-ø: 50 µm) in der Vakuumkammer

Untersuchungen eines Magnetronsputterprozesses mit Platin

In einem am fem durchgeführten Forschungsvorhaben wurden möglichst dichte und fehlerarme Pt-Schichten benötigt. Für die Abscheidung sollte daher das neue HiPIMS-Verfahren (High Power Impulse Magnetron Sputtering) eingesetzt werden. Mit dieser durch Hochleistungspulse erweiterten Variante des herkömmlichen Magnetronsputters (DC-MS) können abhängig vom Material und den gewählten Pulsparametern sehr hohe Ionisationsgrade der gesputterten Teilchen erreicht werden. Um die optimalen Pulsbedingungen für eine hohe Pt-Ionenausbeute zu ermitteln, wurde ein Magnetron mit Pt-Target gegenüber der Extraktionsblende des EQP platziert und mit verschiedenen Pulsparametern getestet.

Es stellte sich heraus, dass sich beim Sputtern von Platin mit HiPIMS offenbar ein eigenstabiler Zustand einstellt, wie er in der Literatur bereits z.B. für Kupfer beschrieben wurde (sustained self-sputtering, A. Anders et al., J.

Appl. Phys. 102 (2007) 113303). Die maximale Ionenausbeute wurde dementsprechend bei vergleichsweise langen ton-Pulszeiten (>100 ms) gefunden. Bei ausreichend langen Off-Zeiten (Ladezeit der Kapazitäten des Pulsers) zeigten sich keine signifikanten Abhängigkeiten der Ionenausbeute von den Pulsparametern, da die Targetspannung mit ca. 950 V immer nahe am Limit des eingesetzten Pulsers (MELEC SPIK 1000A, $V_{max} = -1000$ V) lag. Nur mit höheren Spannungen wären auch höhere Ionenausbeuten erzielbar. Abb. 3 zeigt drei IED-Fs für einfach geladene Pt^+ -Ionen mit der Massenzahl 196, zwei davon mit HiPIMS und zum Vergleich eine mit DC-MS. Im Vergleich zum DC-MS ist die Ionenausbeute mit HiPIMS deutlich erhöht, vor allem im Energiebereich um 10 eV. Daneben ist beim HiPIMS auch ein hochenergetischer Bereich mit Maximum bei 60 eV schwach erkennbar. Die Gesamtzahl der gemessenen Ionen (Integral über Ionenenergiespektrum) ist in Abb. 4 zu sehen, hier wird der Unterschied zwischen DC und HiPIMS besonders deutlich.

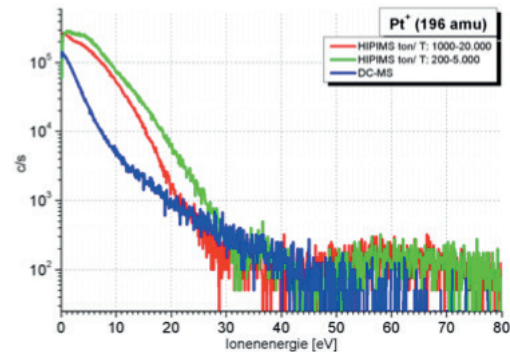


Abb. 3 | Ionenenergieverteilung Pt^+ -Ionen mit DC und HiPIMS

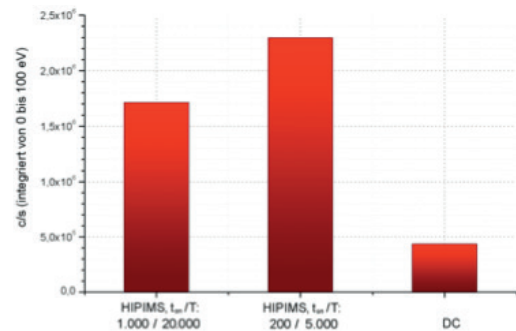


Abb. 4 | Gesamt-Ionenmenge (Integrale aus den Kurven von Abb. 3)

Danksagung

Die Anschaffung des Plasmamonitor HIDDEN EQP 300 wurde durch Mittel des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) sowie des Landes Baden-Württemberg ermöglicht.

Plasmacharakterisierung

Ansprechpartner

fem | Forschungsinstitut Edelmetalle + Metallchemie | Katharinenstraße 17 | 73525 Schwäbisch Gmünd
Dipl.-Ing.(FH) Martin Balzer, balzer@fem-online.de