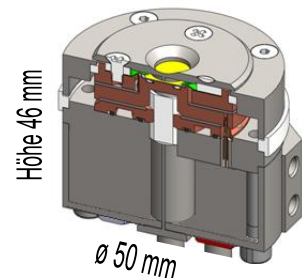


Kompakter Multifunktionssensor zur Charakterisierung von Prozessplasmen und Abscheide-/ Ätzprozessen

- Vereinigung von drei Messprinzipien am gleichen Messort [1,2]
- Bestimmung von totalem Energieeintrag, Schichtrate und Plasmaparameter
- quasisimultane Messung ohne Variation der Sensorposition



Messung des totalen Energieeintrags mittels Kalorimetrie nach Gardon [3]

- rückseitige Strahlungsmessung der Aufheizung der Sensorfläche
- externe Kalibrierung des absoluten Energieeinstroms E_{tot} mit Energie-(Strahlungs-)quelle oder interne Kalibrierung des absoluten Energieeinstroms mittels des Prozessplasmas
- Energieflussbereich: ca. 1 mW/cm^2 bis 1 W/cm^2
- Potential an der Frontelektrode im Bereich -100 V bis $+50 \text{ V}$ frei wählbar (einstellbarer Ionen- bzw. Elektronenstrom)

Messung der Massenbelegung mittels Frequenzänderung eines Schwingquarzes

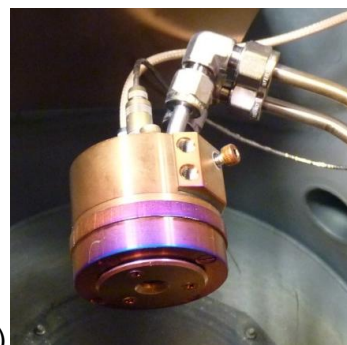
- Bestimmung von Abscheiderate R und momentaner Schichtdicke d
- geeignet für Schichtabscheidung und Schichtätzen
- Verwendung kommerzieller Standardschwingquarze ($\varnothing 14 \text{ mm}$, $f_0 = 6 \text{ MHz}$)

Messung mit planarer Langmuir-Sonden

- Messung der Strom-Spannungs-Charakteristik an der Frontelektrode des Schwingquarzes (Spannungsbereich -100 V bis $+50 \text{ V}$, max. Stromstärke 100 mA)
- Bestimmung der Plasmaparameter Floating- U_{float} und Plasmapotential U_{Plasma} , Elektronentemperatur T_e sowie Elektronen- n_e und Ionendichte n_i mittels LabView basierte Auswertesoftware
- die Kombination mit der Rate R ermöglicht die Bestimmung des Energieeintrages pro schichtbildenden Teilen $P_{\text{Ein}} / J_{\text{neutral}}$ und des Ionen- zu Neutralteilchenverhältnis $j_{\text{ion}} / j_{\text{neutral}}$
- Strommessung bei festem Potential



a)



b)

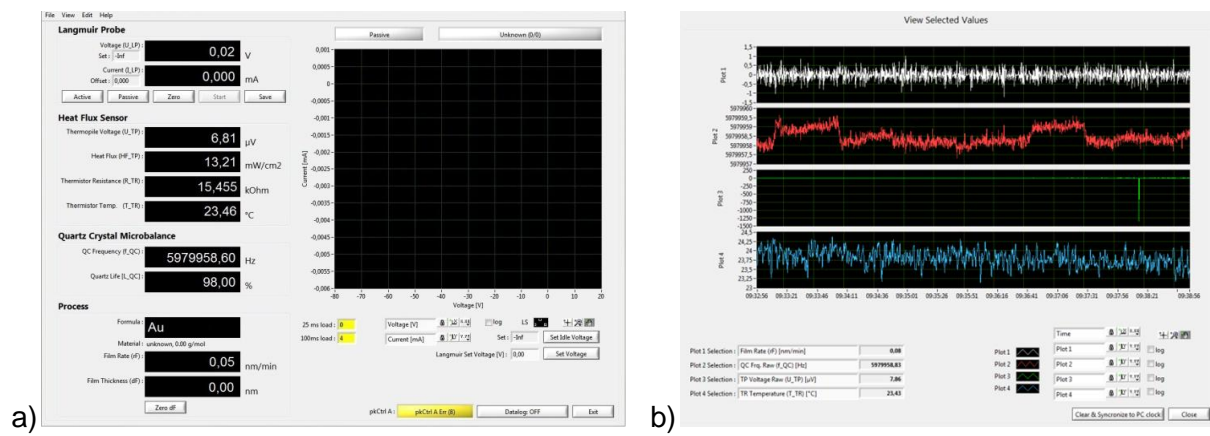
Sensorkopf (a) montiert und (b) in der Beschichtungskammer mit Wasserzuleitung als Sensorhalterung

Allgemeine Angaben

- Abmessungen Sensorkopf (ohne Halterung): \varnothing 50 mm, Höhe 46 mm
- radiale Auflösung/ Blendenöffnung: 8 mm (variabel auf Anfrage)
- axiale/ radiale Positionsvariation durch Montage auf einer Linear-/ Drehdurchführung möglich
- Elektronik des Sensorkopfes außerhalb des Vakuums
- inkl. Steuer- und Auswertesoftware

Steuer-/ Messprogramm

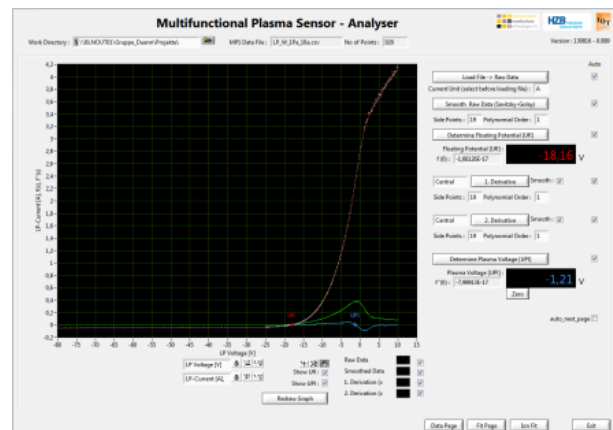
- LabView basierte intuitive Benutzeroberfläche
- Ausgabe von Rohdaten, Median und exponentiell geglätteten Mittelwerten
- frei wählbare Verlaufsgraphen



(a) Steuer- und Ausgabesoftware mit (b) Verlaufsgraphen

Auswerteprogramm für die Langmuir-Sonden-Kennlinien

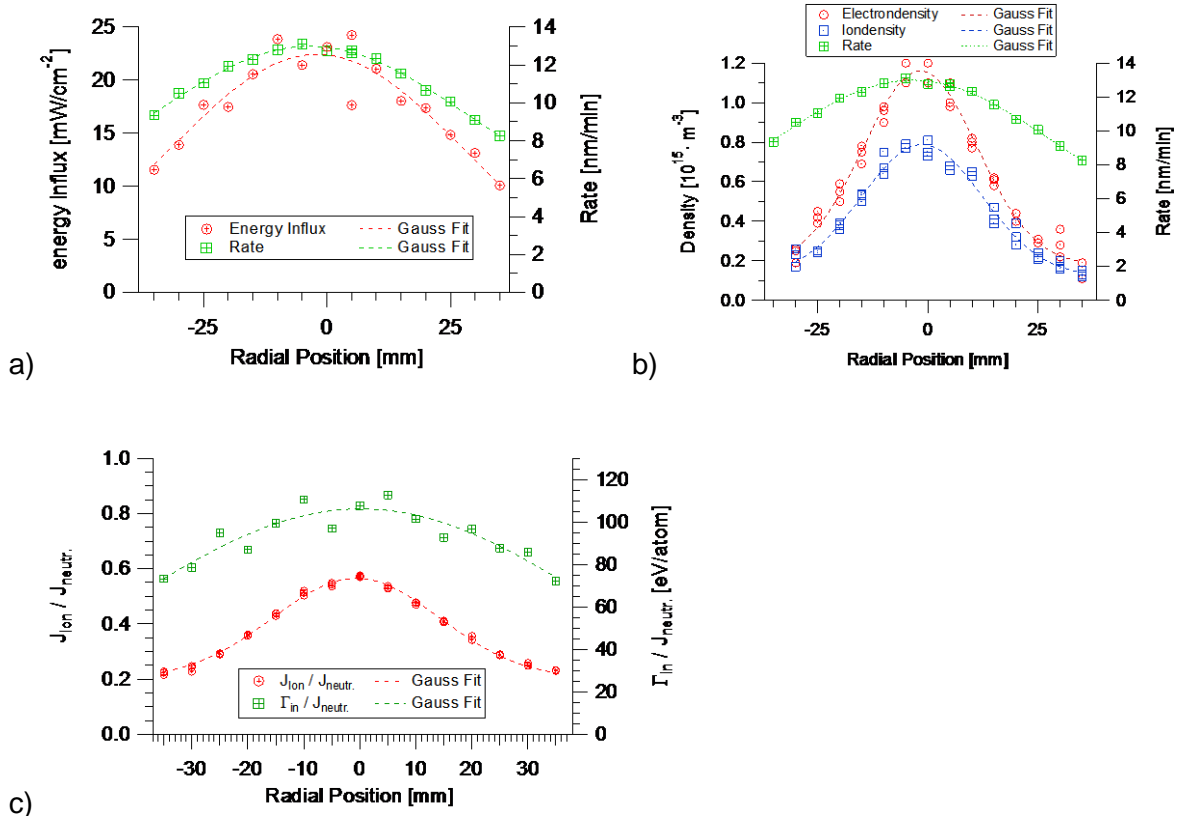
- mittels verschiedener Algorithmen anpassbare Glättung der Kennlinien und deren Ableitungen
- Bestimmung von Floating- U_{float} (aus I-U-Kennlinie) und Plasmapotential U_{Plasma} (aus zweiter Ableitung)
- Berechnung von Elektronentemperatur T_e und -dichte n_e mit Auswahl der Energieverteilung der Elektronen (Maxwell, Bi-Maxwell oder verallgemeinerte Verteilungsfunktion nach Flender & Wiesemann [4] bzw. Rundle et al. [5]) aus der zweiten Ableitung der Kennlinie
- Bestimmung der Ionendichte n_i anhand der Anpassung der I-U-Kennlinie (Ionensättigungsstrom)
- Berechnung des Energieeintrages pro schichtbildenden Teilen $P_{Ein} / J_{neutral}$ und Ionen- zu Neutralteilchenverhältnis $j_{Ion} / j_{neutral}$



Auswerteprogramm für die Langmuir-Sonden-Kennlinien: Glättung der Kennlinien und Bestimmung der Potentiale

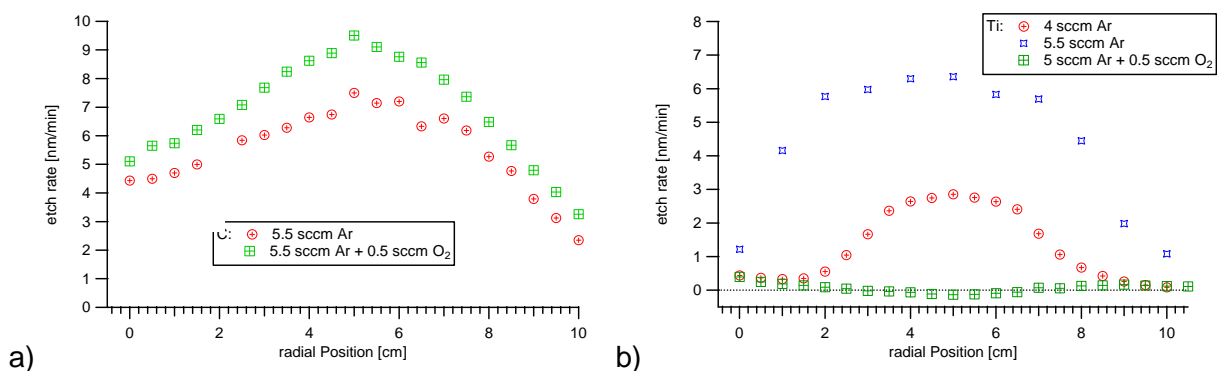
Analysebeispiele

Untersuchung der radialen Verteilung einer 2-Zoll Magnetronsputterquelle mit Wolframtarget



radiale Verteilung von (a) Abscheiderate und Energieeintrag, (b) Elektronen- und Ionendichte sowie (c) Ion zu Neutralteilchen-Verhältnis $J_{ion}/J_{neutral}$ und Energieeintrag pro Schichtteilchen einer 2-Zoll Magnetronsputterquelle mit Wolframtarget, Abscheideparameter: $P_{DC}= 50$ W, $p_{Ar}= 1.0$ Pa, $f_{Ar}= 41$ sccm, $U_{dis}= 267$ V, $I_{dis}= 189$ mA, Abstand Sensor-Magnetron: 6 cm

Untersuchung der radialen Verteilung von Ätzprozessen mit einer RF-ICP-Ionenquelle



radiale Verteilung der durchschnittlichen Ätzrate ohne und mit Sauerstoffzugabe (a) einer Kohlenstoff- und (b) einer Titanbeschichtung, Prozessparameter $P_{RF}= 100$ W, $U_{Extraktion}= 352$ V, $I_{Extraktion}= 30$ mA, $U_{Beschl.}= 95$ V, $I_{Beschl.}= 1$ mA, Abstand Sensor-Ionenquelle: 17 cm

Technische Daten

- Energieflussmessung

- Energieflussbereich: ca. 1 mW/cm² bis 1 W/cm²
- zeitliche Auflösung: - elektronisch (im stationären Zustand): 100 ms
- physikalisch (bei plötzlicher Erwärmung infolge Exposition):
ca. 5 s
- Messung im Potentialbereich der Langmuir-Sonde (-100 V bis +50 V) möglich

- Quarzkristall-Mikrowaage

- kommerzieller Schwingquarz (SiO₂) im RC-Schnitt (empfohlen), AT-Schnitt ebenfalls möglich
- Durchmesser Schwingquarz 14 mm
- Resonanzfrequenz (unbeschichtet) 6 MHz
- min. Abscheiderate 0.01 Å/s, min. Schichtdicke: 0.1 Å, max. Schichtdicke ca. 10 µm
- zeitliche Auflösung - elektronisch (im stationären Zustand): 100 ms
- physikalisch (bei plötzlicher Erwärmung infolge Exposition):
ca. 5 s
- Messung im Potentialbereich der Langmuir-Sonde (-100 V bis +50 V) möglich

- planare Langmuir-Sonde

- Spannungsbereich: $U_{\text{Elektrode}} = -100 \text{ V bis } +50 \text{ V}$
- Spannungsauflösung: 10 mV
- Stromauflösung: min. 0.1 µA, max. Strom 100 mA
- Strommessung bei festem Potential

- Abmessungen Sensorkopf: \varnothing 50 mm, Höhe 46 mm

- aktive Sensorfläche/ Blendenöffnung: \varnothing 8 mm (variabel)

- Kühlung: wassergekühlter Sensorkopf (Kühlwasserbereitstellung notwendig)

- Montageflansch variabel

- Montage auf Linear-/ Drehdurchführung möglich

- Druckbereich: Vakuum bis Normaldruck (unverfälschte Messung des Energieeintrages bis max. ca. 10⁻² mbar)

- dem Vakuum/ Plasma ausgesetzte Materialien: Stahl (1.4301), PEEK (Polyetheretherketon) (zusätzlich sensorintern im Vakuum: AlN, Al₂O₃, Cu, PTFE, Viton)

- externe Sensorelektronik, Montage an Kammerflansch (ca. 20 x 15 x 30 cm³) und 19"-Einschub

- Stromversorgung: 230 V_{ac} Netzanschluss

- PC-Verbindung: Ethernet

- Betriebssystem: Windows 8 / 7 / Vista / XP / 2000

Publikationen

- [1] K. Harbauer, K. Ellmer, T. Welzel, A combined sensor for the diagnostics of plasma und film properties in magnetron sputtering processes, Thin Solid Films, 520 (2012) 6429-6433.
- [2] T. Welzel, M. Kellermeier, K. Harbauer, K. Ellmer, Development of a compact combined plasma sensor for plasma surface engineering processes, Appl. Phys. Lett., 102 (2013) 211605-211601...211605.
- [3] R. Gardon, An Instrument for the Direct Measurement of Intense Thermal Radiation, Rev. Sci. Instr., 24 (1953) 366-370.
- [4] U. Flender, B.H.N. Thi, K. Wiesemann, N.A. Khromov, N.B. Kolokov, RF Harmonic Suppression in Langmuir Probe Measurements in RF Discharges, Plasma Sources Sci. Techn., 5 (1996) 61-69.
- [5] H.W. Rundle, D.R. Clark, J.M. Deckers, Electron Energy Distribution Functions in an O₂ Glow Discharge, Canad. J. Phys., 51 (1973) 144-148.