

Der Einsatz der Ionenstrahlputtertechnik zur Abscheidung von hochpräzisen Nanometer-Multischichten

P. Gawlitza, S. Braun, A. Leson

IWS Dresden, Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik,
Winterbergstraße 28, 01277 Dresden, Germany



Fraunhofer

Institut
Werkstoff- und
Strahltechnik

Der Einsatz der Ionenstrahlputtertechnik zur Abscheidung von hochpräzisen Nanometer-Multischichten

P. Gawlitza, S. Braun, A. Leson

IWS Dresden, Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik,
Winterbergstraße 28, 01277 Dresden, Germany

- **Einführung**

Warum Ionenstrahlputtern für nm-Schichten ?

- **Die Beschichtungsanlage „IonSys 1600“**

- **Erste experimentelle Ergebnisse**

Quellencharakterisierungen, Beschichtungsraten, Homogenitäten

- **Ausblick**



Fraunhofer

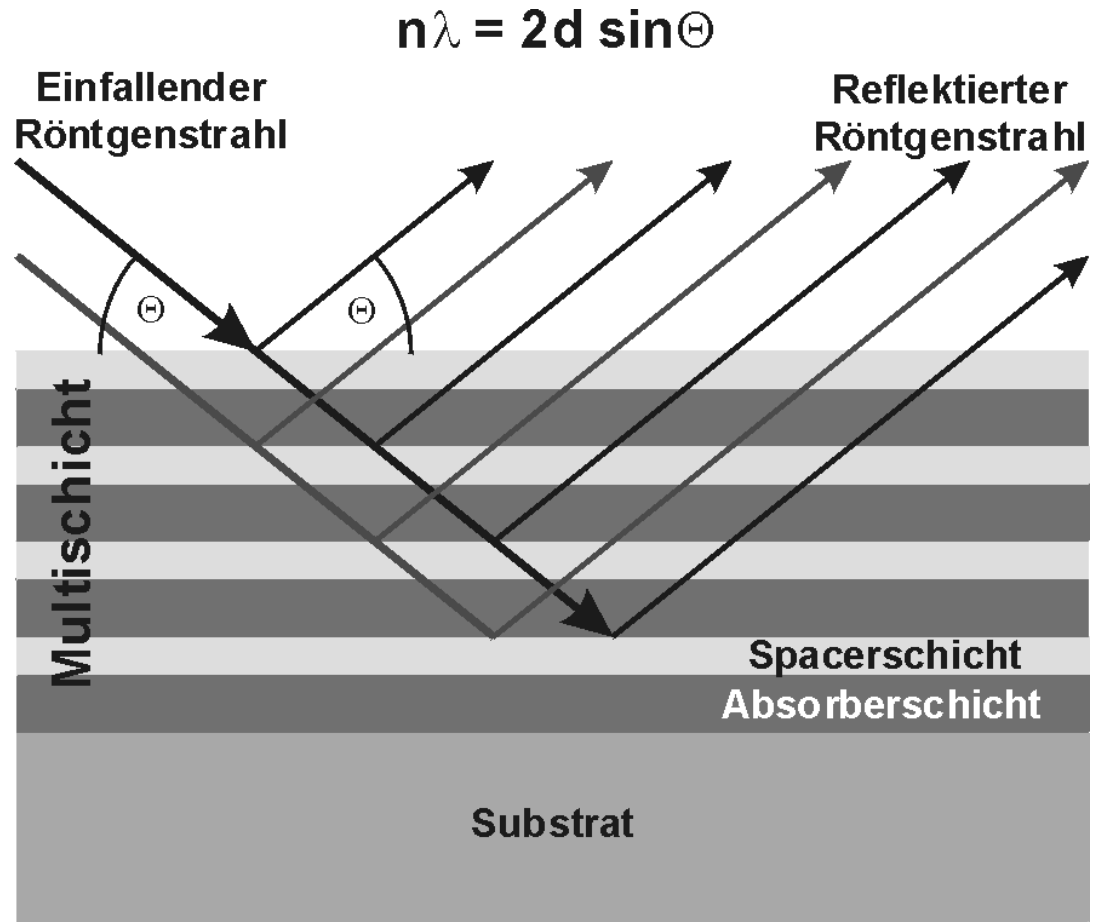
Institut
Werkstoff- und
Strahltechnik

Röntgenreflexion an nm - Multischichten

Interferenz aller reflektierten Teilstrahlen
=> Reflexionen außerhalb der Totalreflexion bis zu 90%

In Abhängigkeit von der Anwendung (λ , Θ) können Schichtmaterialien, Periodendicken und Schichtdickenverhältnisse frei gewählt werden

Möglichkeit der Realisierung von lateralen Schichtdickengradienten



Fraunhofer

Institut
Werkstoff- und
Strahltechnik

Anforderungen an röntgenoptische Multischichten

- hohes Reflexionsvermögen / hohe spektrale Auflösung
- präzise Gradienten mit zulässigen Abweichungen $< 0,1 \%$ über Probengrößen im cm- bis dm-Bereich
- hohe run-to-run Reproduzierbarkeiten des Beschichtungsprozesses
- geringe Eigenspannungen der Multischichten
(präzise Kontur des Substrates darf nicht gestört werden)
- thermische und Langzeitstabilität

=> Notwendigkeit geeigneter Beschichtungsverfahren

Kandidaten: Evaporation, Sputter Deposition (Magnetron, Ionenstrahl), Puls-Laser-Deposition



Fraunhofer

Institut
Werkstoff- und
Strahltechnik

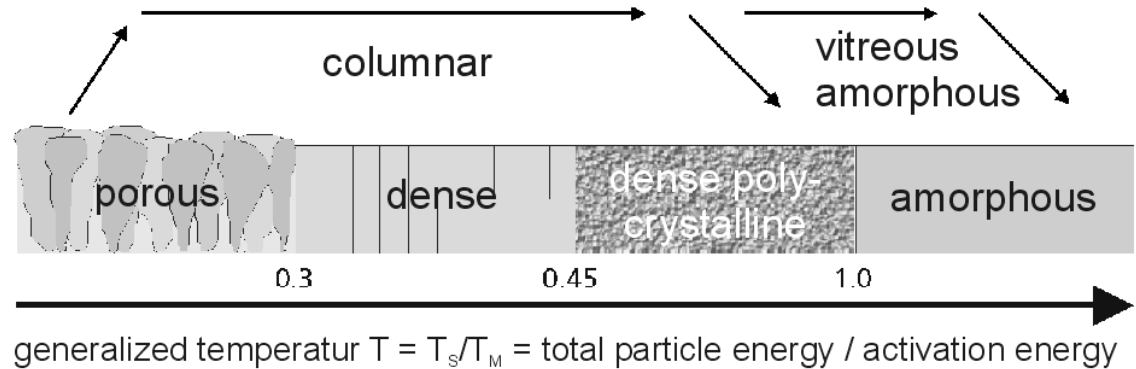
Warum verschiedene Beschichtungsverfahren?

PLD:

- Teilchenenergien ~ 100 eV
- extrem glatte, amorphe Schichten
- ballistische Durchmischung der einzelnen Materialien
- $r_{\text{film}} < r_{\text{bulk material}}$

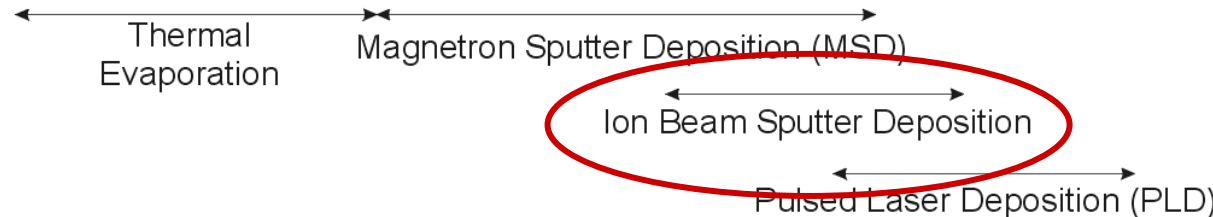
MSD:

- Teilchenenergien ~ 10 eV
- reduzierte Durchmischung
- $r_{\text{film}} \approx r_{\text{bulk material}}$
- Schichtraueheit z.T. kritisch



$T_s = \text{actual total energy (kinetic, electronic, chemical)}$

$T_M = \text{activation energy of surface self-diffusion and free energy of solidification}$

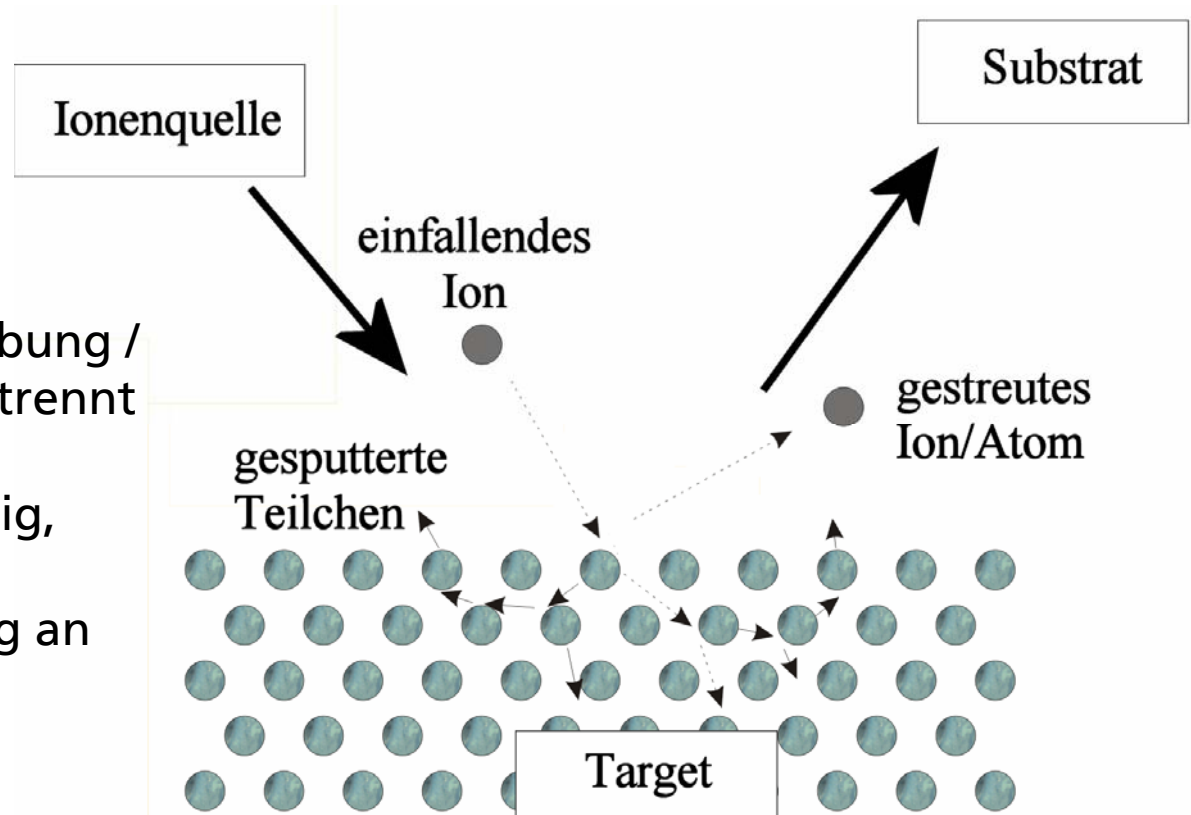


Fraunhofer

Institut
Werkstoff- und
Strahltechnik

IBSD - Ionenstrahlputterdeposition

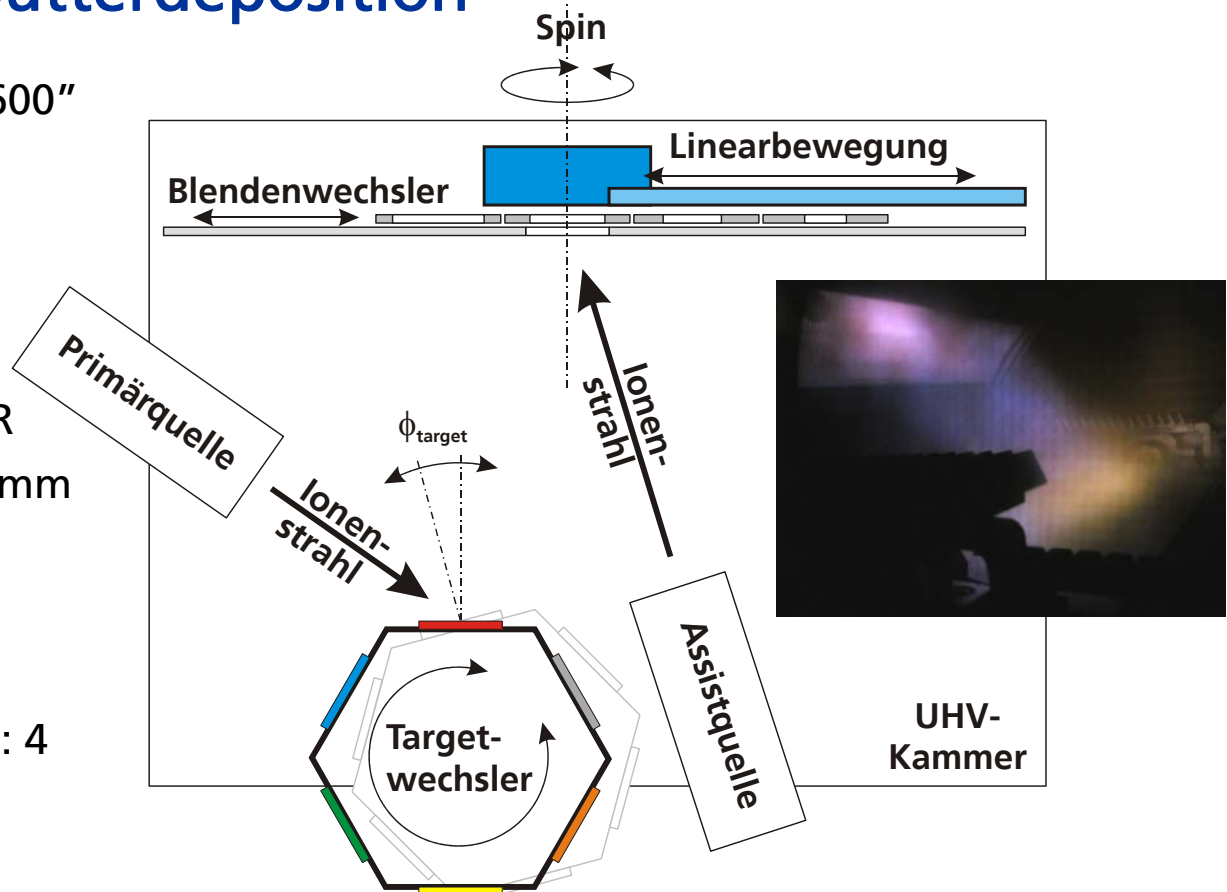
- Teilchenenergien
 - ~ 20...40 eV (gesputtert)
 - ~ 100 eV (gestreut)
- sehr glatte Oberflächen
- Ionenerzeugung / Zerstäubung / Beschichtung räumlich getrennt
 - > Parameter weitgehend voneinander unabhängig,
 - > „sauberer“ Prozess
- ballistische Durchmischung an Grenzflächen



IBSD - Ionenstrahlputterdeposition

UHV-Spezialanlage "IonSys 1600"
(Roth&Rau, IWS)

- Vakuum: $p < 2,0 \cdot 10^{-8}$ mbar
- Ionenstrahlquellen:
 - Anregungsprinzip: ECR
 - Größe: linear, $L = 400$ mm
 - $E_{\text{ion}} = 50 - 2000$ eV
- Targetanzahl: 6 gleichzeitig
(Mo, W, Si, C, B₄C, Al, Zr, Ti)
- Anzahl der Substratblenden: 4
- Substrate:
 - $\varnothing 200$ mm mit Spin
 - $L = 500$ mm ohne Spin

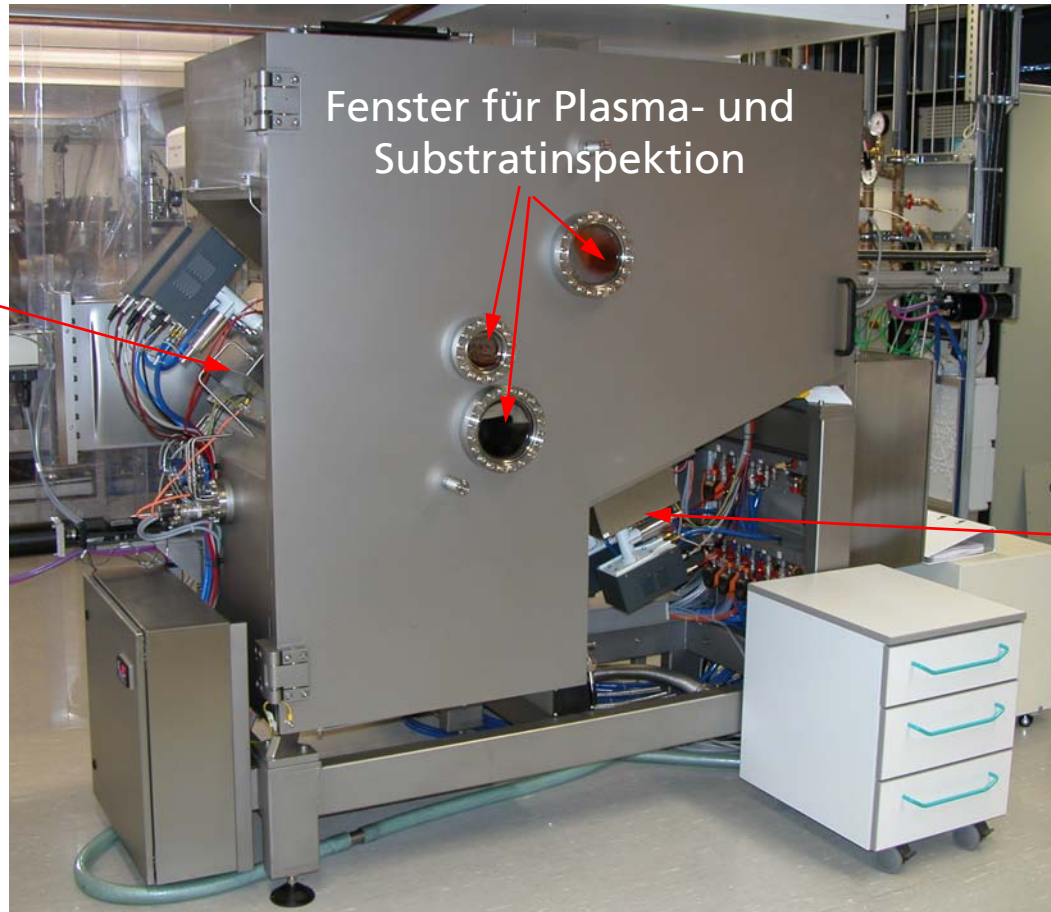


Fraunhofer

Institut
Werkstoff- und
Strahltechnik

ROTH
&RAU

Die Beschichtungsanlage „IonSys 1600“



Primäre Ionenstrahlquelle

Fenster für Plasma- und Substratspektion

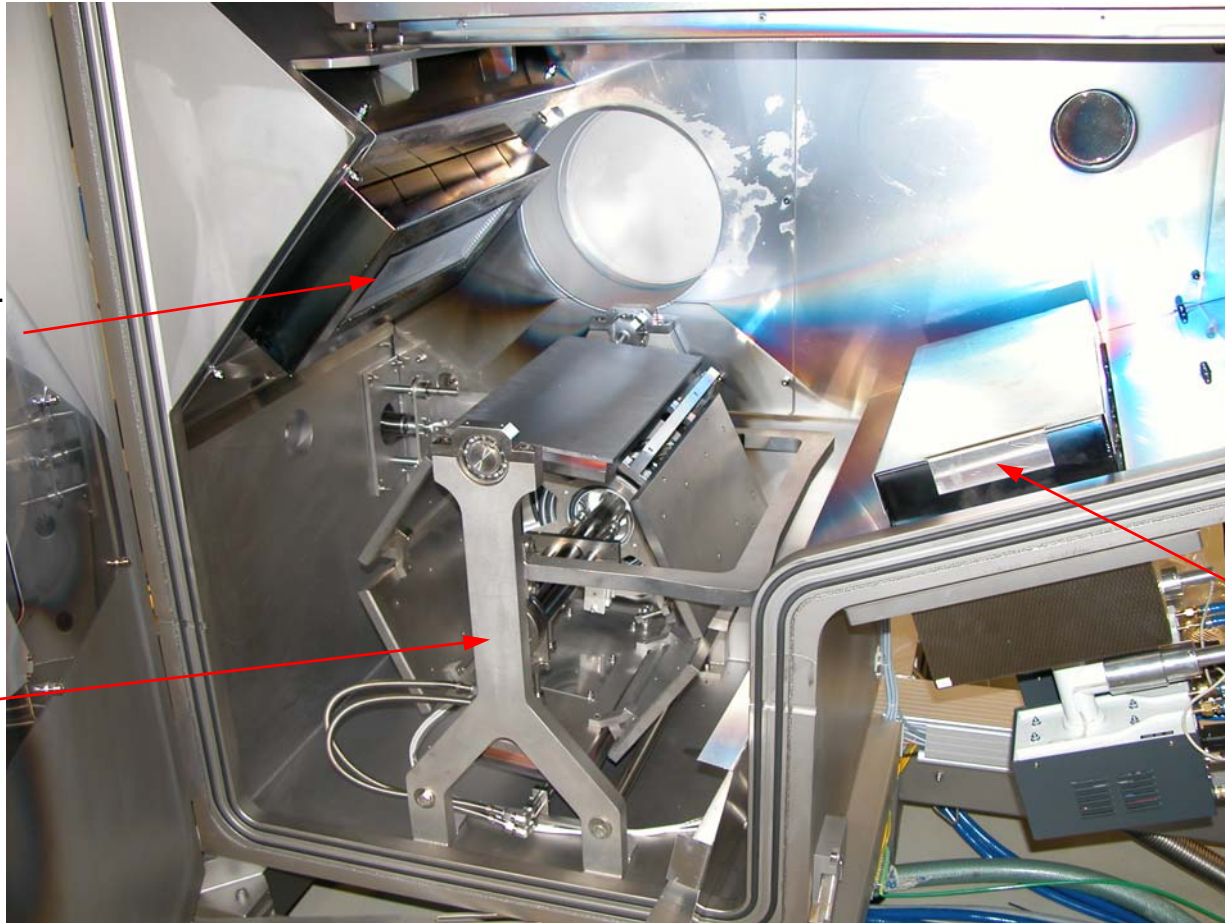
Sekundäre Ionenstrahlquelle (Assistquelle)



Fraunhofer

Institut
Werkstoff- und
Strahltechnik

**ROTH
&RAU**



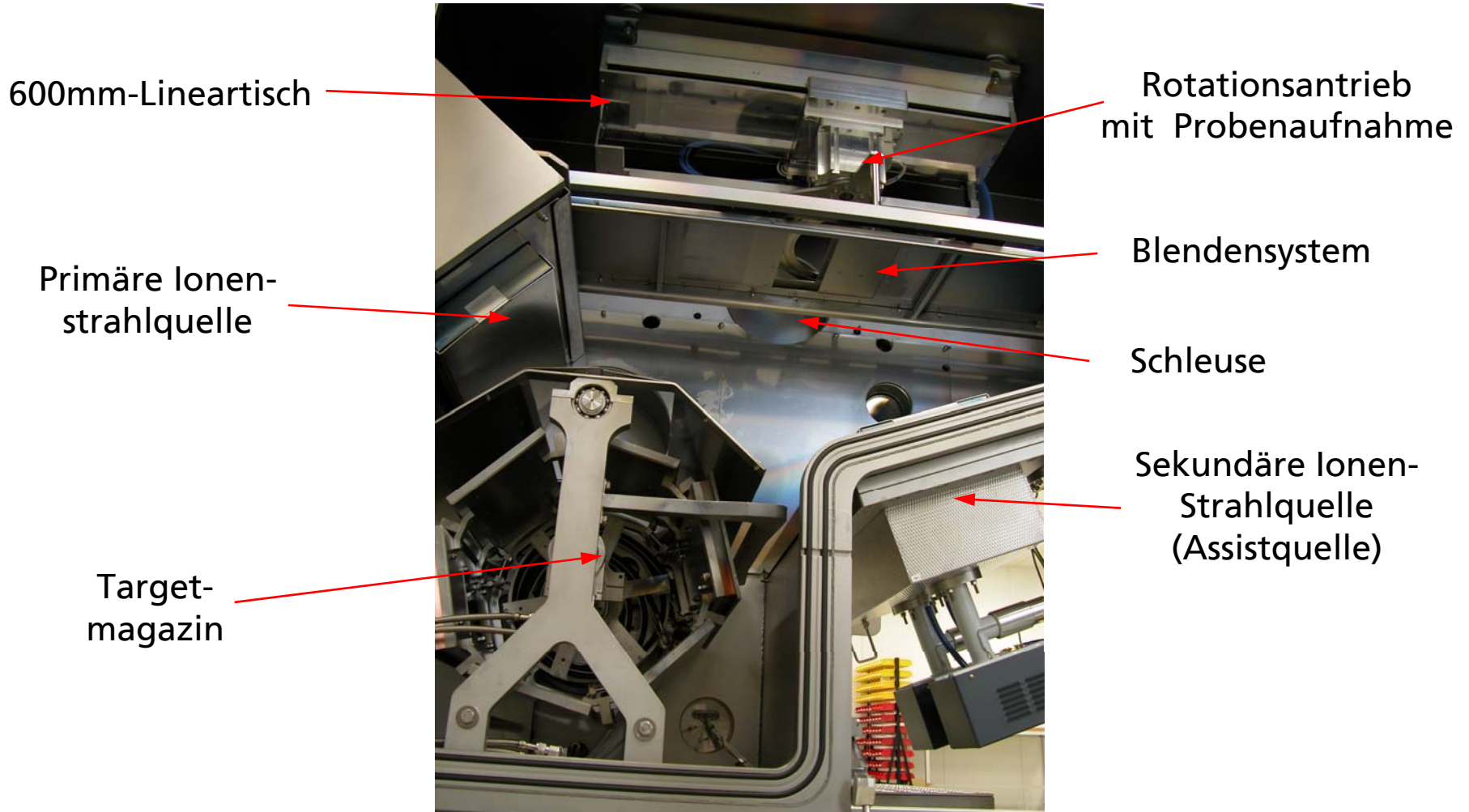
Primäre Ionenstrahlquelle

Targetmagazin

Sekundäre Ionenstrahlquelle (Assistquelle)

XIII. Workshop „Oberflächentechnologie mit Plasma- und Ionenstrahlprozessen“

15.03.2006, Mühlleithen: P. Gawlitza: „Ionenstrahlputtern für hochpräzise nm-Multischichten“



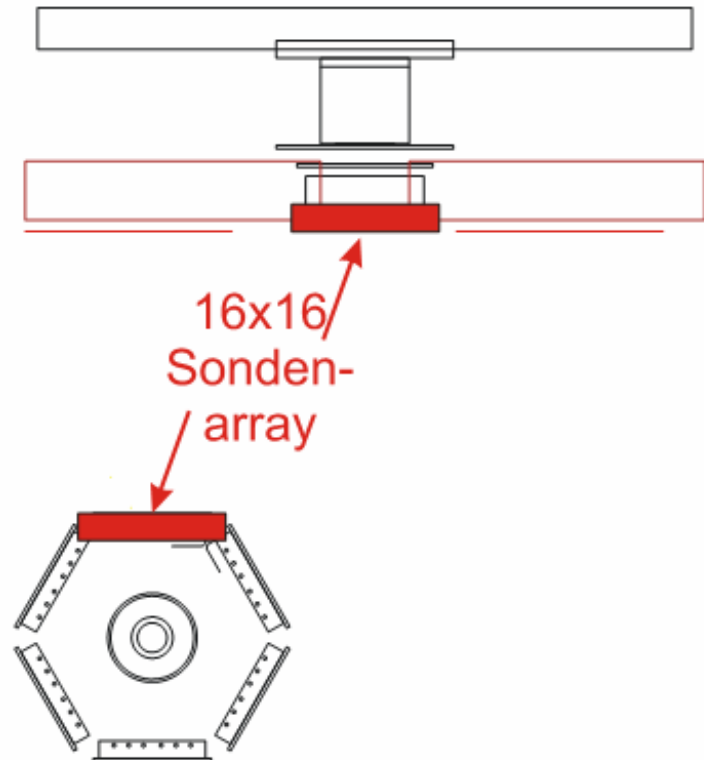
Experimentelle Ergebnisse – Quellencharakterisierungen

- ISQ1
(fokussierende Primärquelle)
- ISQ2
(ebene Assistquelle)

Untersuchung des Einflusses von

- P_{MW1}/P_{MW2}
- Gasfluss (Ar)
- U_{Acc}
- U_{Beam}

auf die Ionenverteilung, speziell
die Homogenität in y-Richtung
(400mm)



Experimentelle Ergebnisse – Quellencharakterisierungen

ISQ1 – Einfluss U_{Acc}

P_{MW1} / P_{MW2}	= 250 W / 250 W
U_{Beam}	= 800 V
Gasfluss	= 10 sccm Ar
P	= $1,81 \cdot 10^{-4}$ mbar
I_{Beam}	= 340...380 mA
I_{Acc}	= 3...8 mA

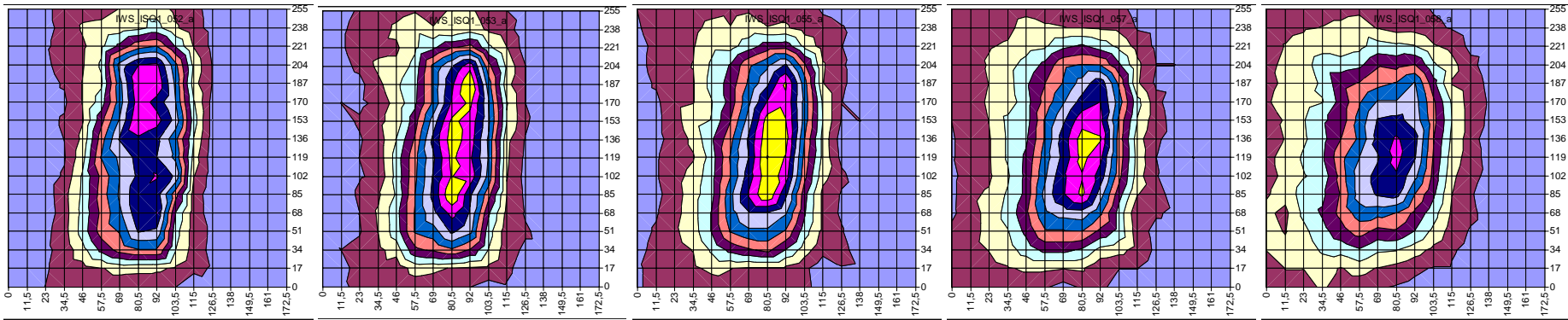
100V

300V

500V

700V

1000V



Fraunhofer
Institut
Werkstoff- und
Strahltechnik

**ROTH
&RAU**

Experimentelle Ergebnisse – Quellencharakterisierungen

ISQ1 – Einfluss P_{MW1} / P_{MW2}

U_{Beam} = 800 V
 U_{Acc} = 200 V
Gasfluss = 10 sccm Ar
 p = $1,35 \cdot 10^{-4}$ mbar
 I_{Beam} = 198...365 mA
 I_{Acc} = 2,8...3,9 mA

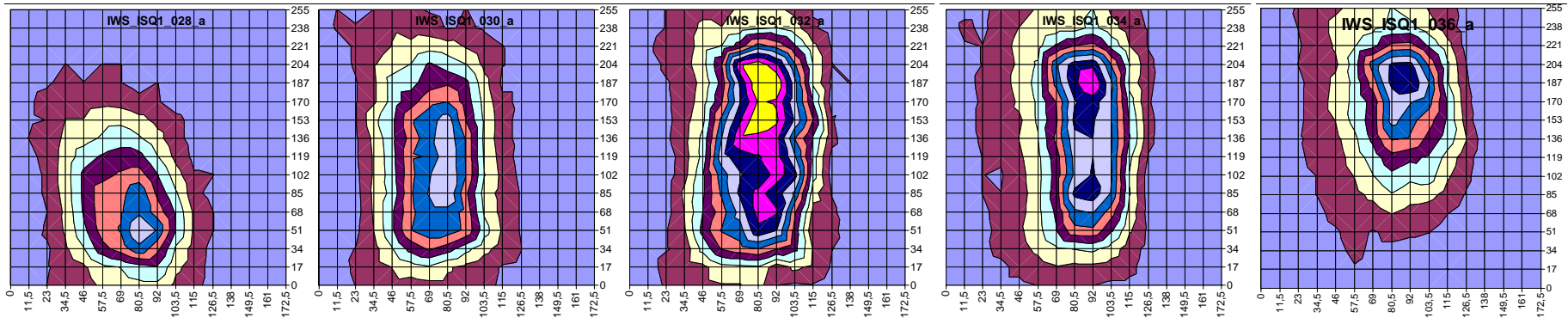
70W / 300W

150W / 300W

300W / 300W

300W / 150W

300W / 70W



Fraunhofer
Institut
Werkstoff- und
Strahltechnik

**ROTH
&RAU**

Experimentelle Ergebnisse – Quellencharakterisierungen

ISQ1 – Einfluss Gasfluss

P_{MW1} / P_{MW2}	= 250 W / 250 W
U_{Beam}	= 800 V
U_{Acc}	= 200 V
p	= 0,88...2,88*10 ⁻⁴ mbar
I_{Beam}	= 160...500 mA
I_{Acc}	= 2,0...8,3 mA

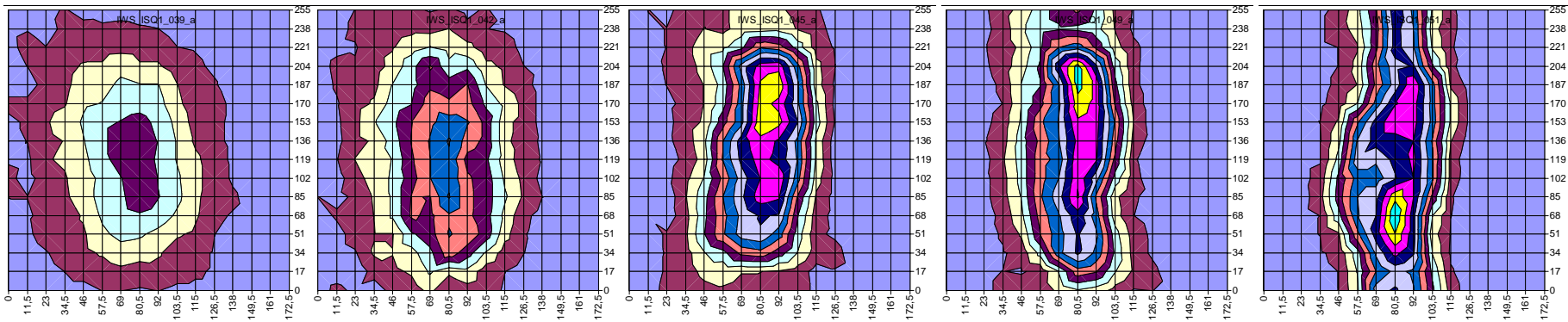
5sccm

8sccm

11sccm

16sccm

20sccm



Fraunhofer

Institut
Werkstoff- und
Strahltechnik

ROTH
&RAU

Experimentelle Ergebnisse – Quellencharakterisierungen

ISQ2 – Einfluss Gasfluss

P_{MW1} / P_{MW2}	= 300 W / 300 W
U_{Beam}	= 500 V
U_{Acc}	= 400 V
p	= $0,78...2,39 \cdot 10^{-4}$ mbar
I_{Beam}	= 125...407 mA
I_{Acc}	= 2,0...8,3 mA

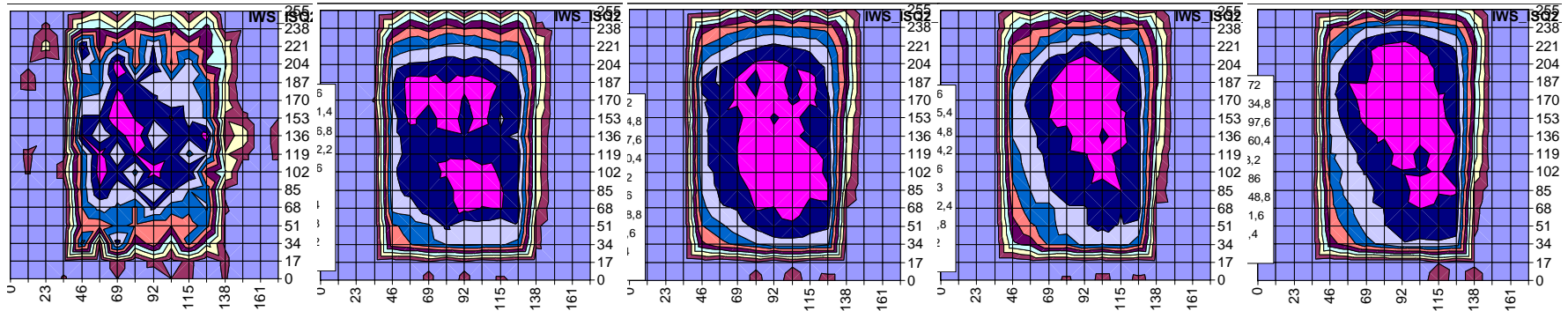
6sccm

9sccm

12sccm

16sccm

20sccm

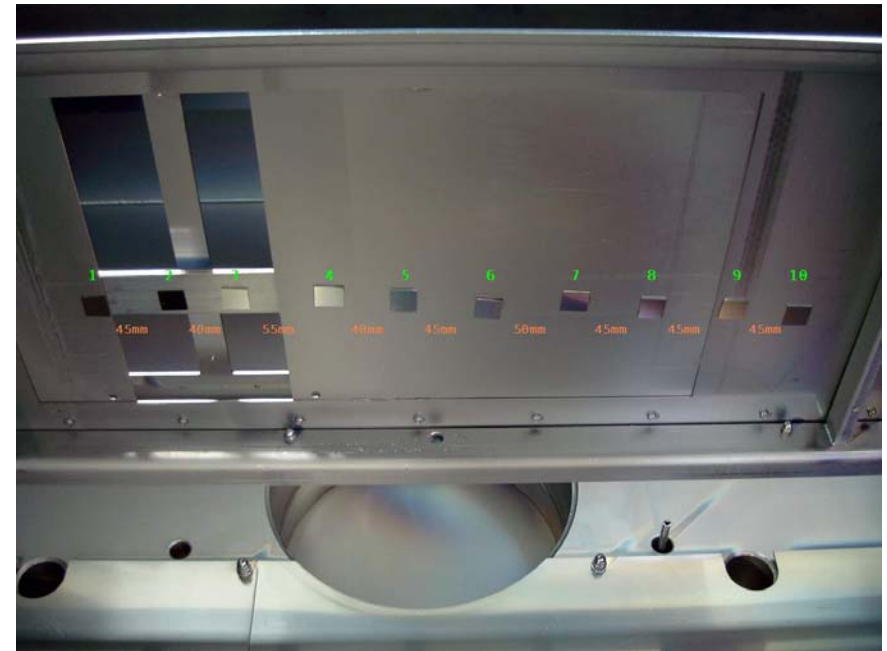
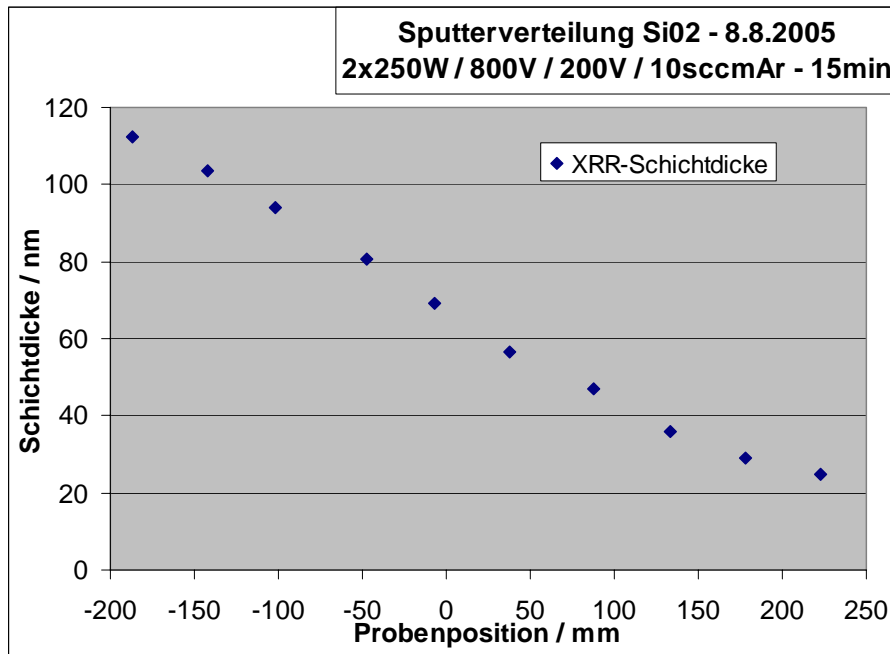


Fraunhofer
Institut
Werkstoff- und
Strahltechnik

**ROTH
&RAU**

Experimentelle Ergebnisse - Schichtdickenverteilungen

- Material Si
- in x-Richtung (Substrattranslationsrichtung)



Fraunhofer

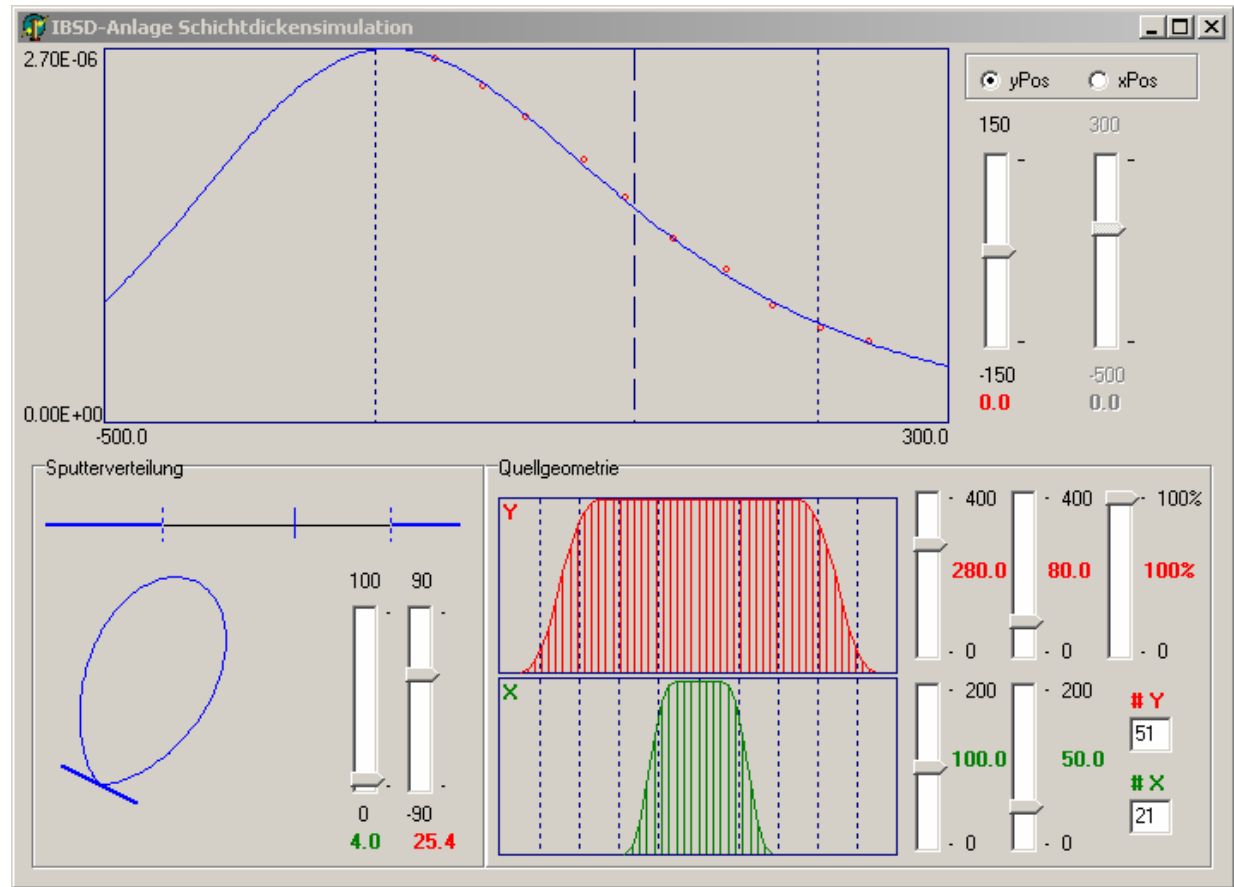
Institut
Werkstoff- und
Strahltechnik

**ROTH
&RAU**

Experimentelle Ergebnisse - Schichtdickenverteilungen

Simulation Dickenverteilung

Material Si
 $P_{MW1} = 250 \text{ W}$
 $U_{Beam} = 800 \text{ V}$
 $U_{Acc} = 200 \text{ V}$
 $p = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ mbar}$
 $t = 15 \text{ min}$



Fraunhofer

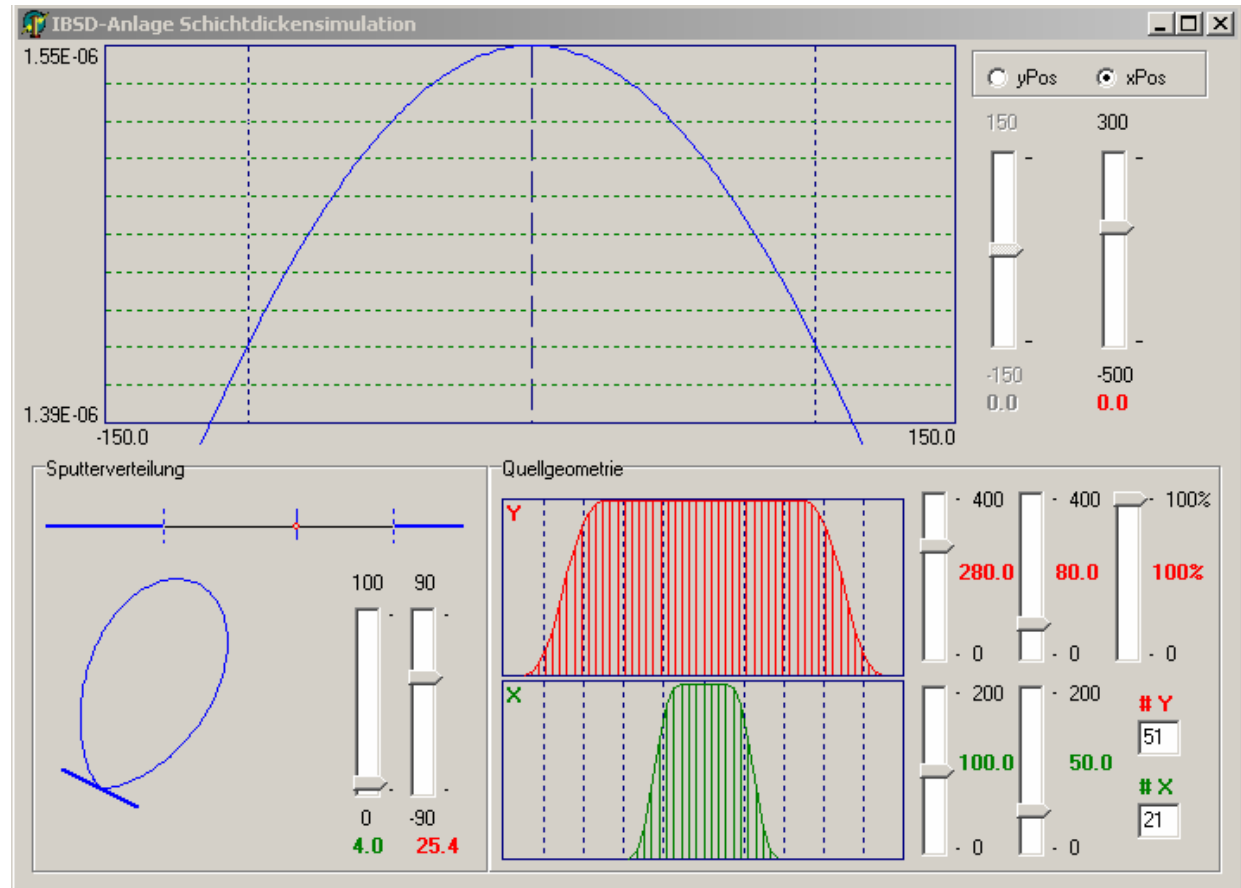
Institut
Werkstoff- und
Strahltechnik

**ROTH
&RAU**

Experimentelle Ergebnisse - Schichtdickenverteilungen

Simulation Dickenverteilung

Material Si
 P_{MW1} = 250 W
 U_{Beam} = 800 V
 U_{Acc} = 200 V
 p = $1,3 \cdot 10^{-4}$ mbar
 t = 15 min



Fraunhofer

Institut
Werkstoff- und
Strahltechnik

**ROTH
&RAU**

Experimentelle Ergebnisse - Wachstumsraten

P_{MW1}	= 2x350 W
U_{Beam}	= 1000 V
I_{Beam}	= 600 mA
p	= $3 \cdot 10^{-4}$ mbar
Gas	= 20 sccm Ar

Material	Rate (Å/s)	Zusatzgas (Substratdusche)
Al(O)	3,08	+10 sccm O ₂
Al(O)	1,28	+17 sccm O ₂
Al	2,06	
Si	1,74	
Mo	0,98	
Ti	0,83	
Zr(O)	0,75	+17 sccm O ₂
W	0,67	
Ti(O)	0,41	+10 sccm O ₂
Ti(O)	0,21	+15 sccm O ₂
C	0,27	



Fraunhofer

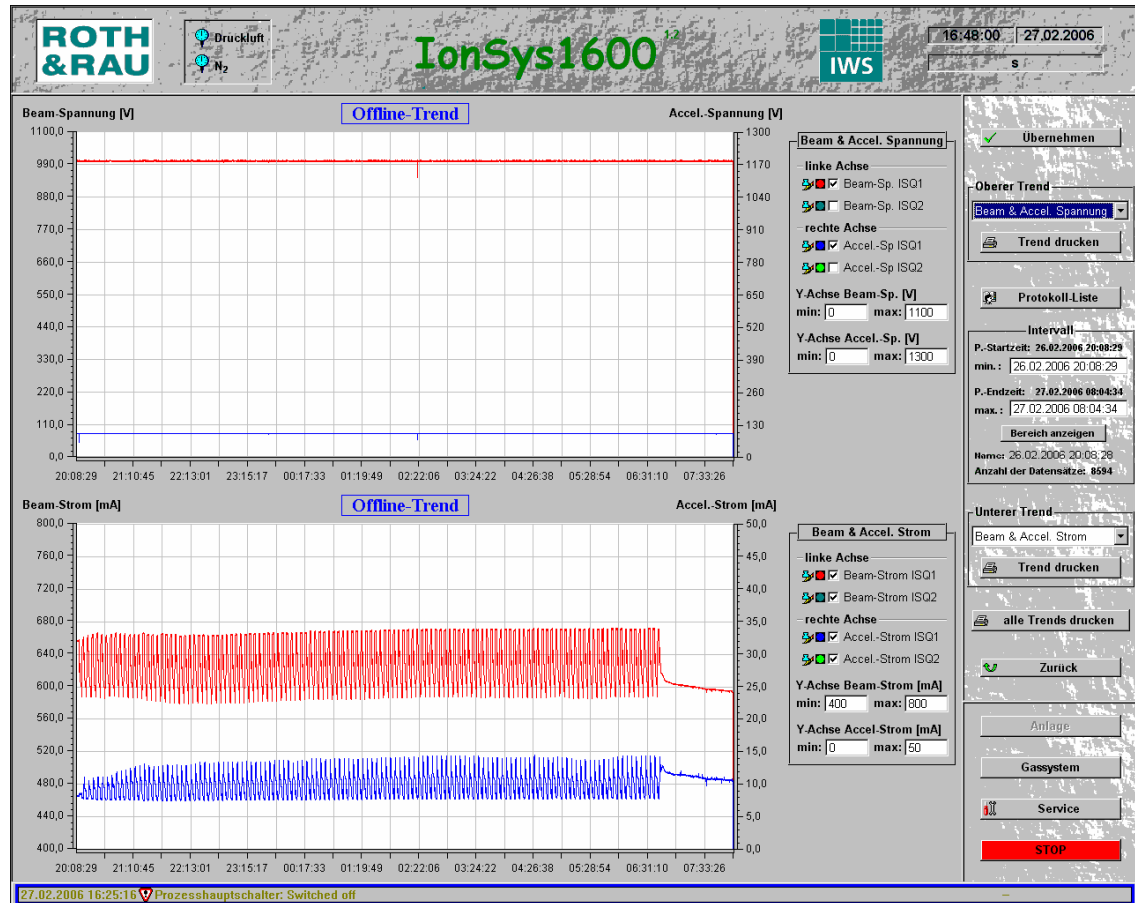
Institut
Werkstoff- und
Strahltechnik

**ROTH
&RAU**

Experimentelle Ergebnisse – nm-Multischichten

Quellenstabilität

Beschichtungsprozesse über mehrere Stunden erfordern extreme elektrische und thermische Stabilität der Quellen.

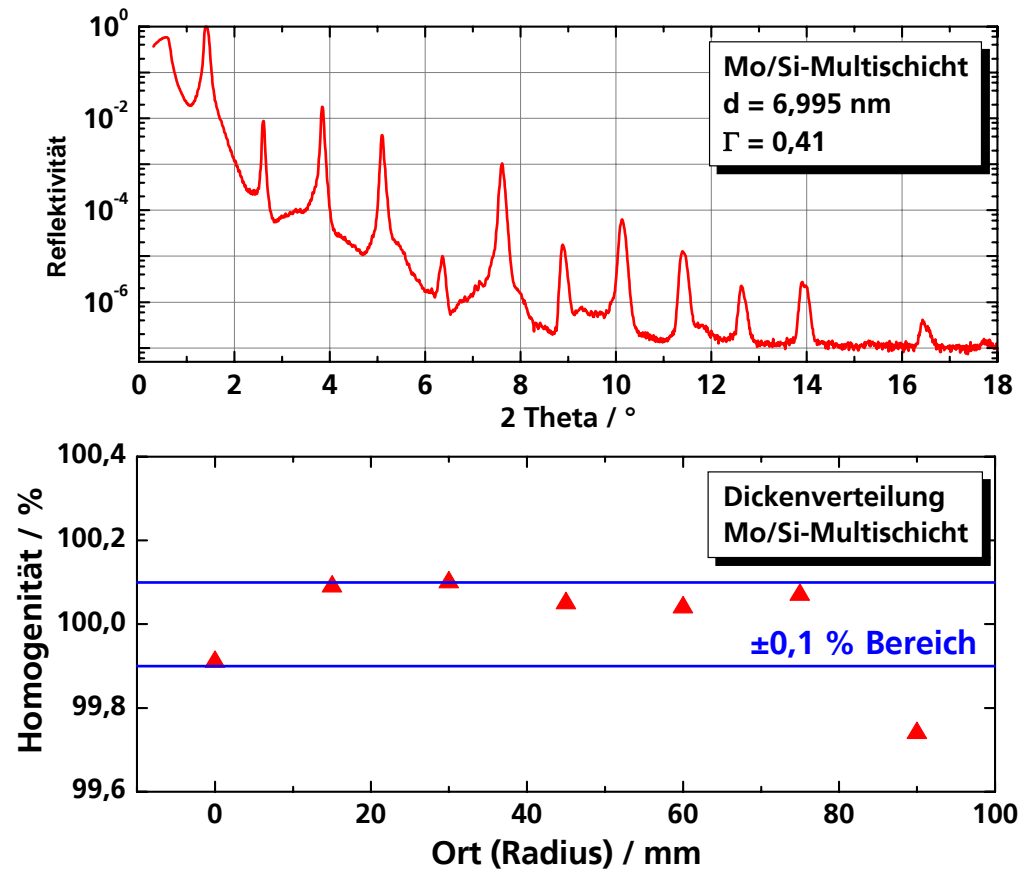


Experimentelle Ergebnisse – nm-Multischichten

Mo/Si-Multischicht

Bragg-Ordnungen bis zu hohen Beugungswinkeln -> sehr glatte Grenzflächen

Homogenisierung mit Spin +
Bewegungsprofil über Rechteckblende
(ohne geformte Blende)



Fraunhofer

Institut
Werkstoff- und
Strahltechnik

Ausblick

Prozess:

- Quellenstabilität (speziell Gitterkonfiguration)
- Homogenisierung der Beschichtung durch Blenden

Schichtentwicklung:

- Barrierschichten (C, B₄C)
- Assistbetrieb -> Verringerung von Rauigkeiten
- Quellenparameter -> Verringerung von Stress,
Erhöhung der Rate

- Reaktivprozesse für dielektrische Multischichten

-> XIV. Workshop in Mühlleithen 2007 !



Fraunhofer

Institut
Werkstoff- und
Strahltechnik

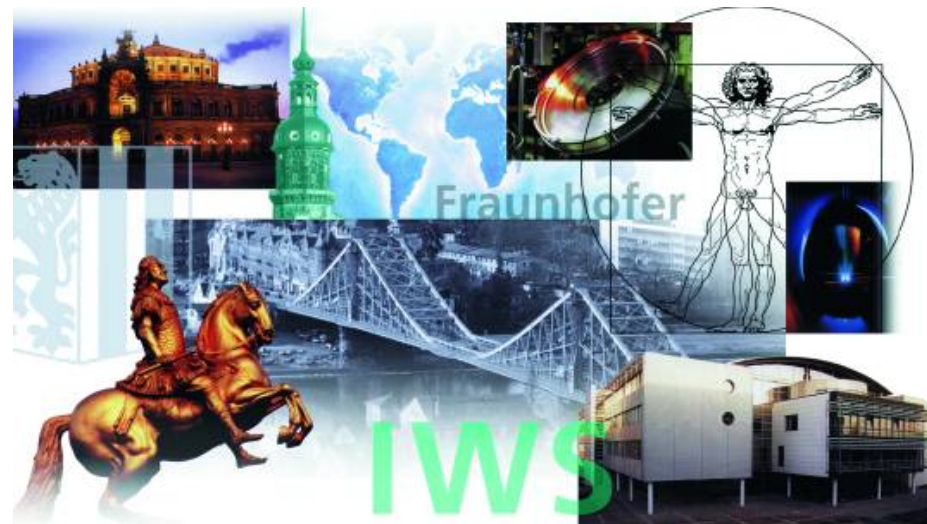
Kontakt Daten

Peter Gawlitza

IWS Dresden, Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik
Abteilung „EUV- und Röntgenoptiken“
Winterbergstraße 28
01277 Dresden

Telefon: 0351 / 2583 431
Fax: 0351 / 2583 314

E-Mail:
Peter.Gawlitza@iws.fraunhofer.de



Fraunhofer

Institut
Werkstoff- und
Strahltechnik