

# Variation der Verspannung optischer dünner Schichten abgeschieden mit DIBD

I.-M. Eichentopf, C. Bundesmann, S. Mändl, H. Neumann

Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung e.V.,  
Permoserstraße15, Leipzig, D-04318, Germany

# Gliederung

---

- Motivation
- Grundlagen
- Ergebnisse
  - Au und Ag
  - TiO<sub>2</sub>
  - SiO<sub>2</sub>
- Zusammenfassung und Ausblick

# Motivation

---

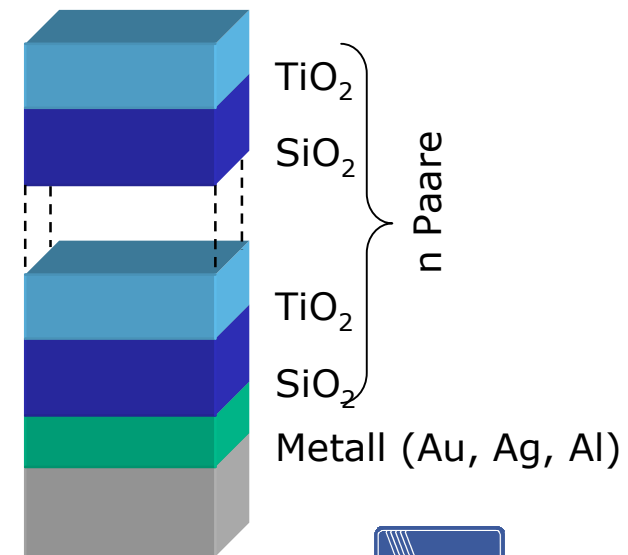
**Ziel:** Laserspiegel für  $\lambda = 1064\text{nm}$  mit

- minimaler Verspannungen ( $< 20\text{ MPa}$ )
- geringer Gesamtschichtdicke ( $d < 2\mu\text{m}$ )
- hohe Reflexivität ( $R > 99,5\%$ )

**Lösung:**

Schichtabscheidung mittels

Dual ion beam deposition  
(DIBD)



# UHV-Kammer zur Ionenstrahlbeschichtung

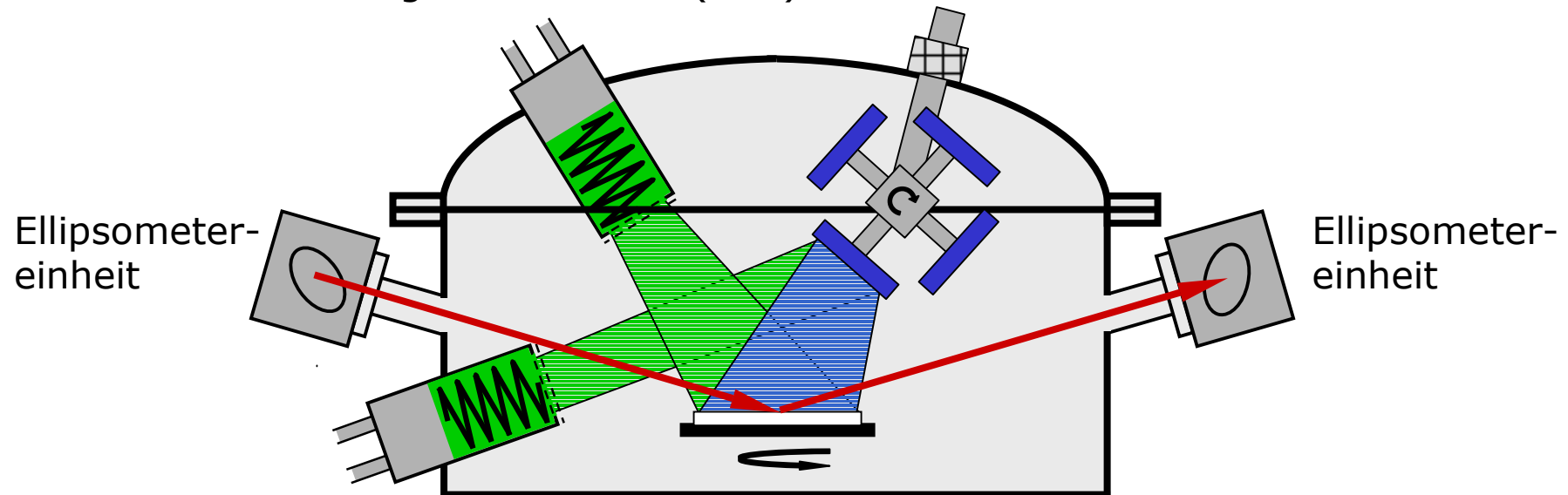
## **HF-Ionenquelle II**

(„Assist-Quelle“)

Ø 40 mm, Ionenenergie bis zu 2 keV

Pulslängenmodulation (PLM)

Targetwechsler (manuell)



## **HF-Ionenquelle I**

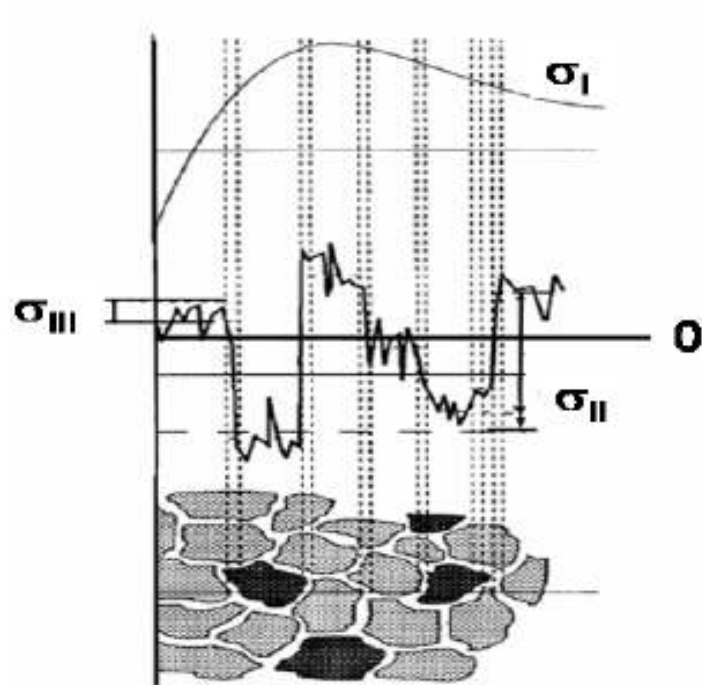
(„Sputter-Quelle“)

Ø 40 mm

Ionenenergie bis 2 keV

Substrat (automatisiert, rotierend)

# Grundlagen- Eigenspannung



## Eigenspannungstypen hinsichtlich ihres Ausdehnungsbereiches:

- I. Art: über mehrere Kornbereiche homogen
- II. Art: variieren zwischen den Körnern
- III. Art: schwanken über den atomaren Bereich

**Gesamtspannung:**

$$\sigma_{ij}(\bar{r}) = \sigma'_{ij}(\bar{r}) + \sigma''_{ij}(\bar{r}) + \sigma'''_{ij}(\bar{r})$$

# Grundlagen- Eigenspannung

---



tensil  
 $\sigma > 0$

Schicht  
Substrat



kompressiv  
 $\sigma < 0$

**Stoney-Gleichung:**

$$\sigma = \frac{E}{(1 - \nu)} \frac{D^2}{6 R d}$$

E ... E-Modul/Substrat;

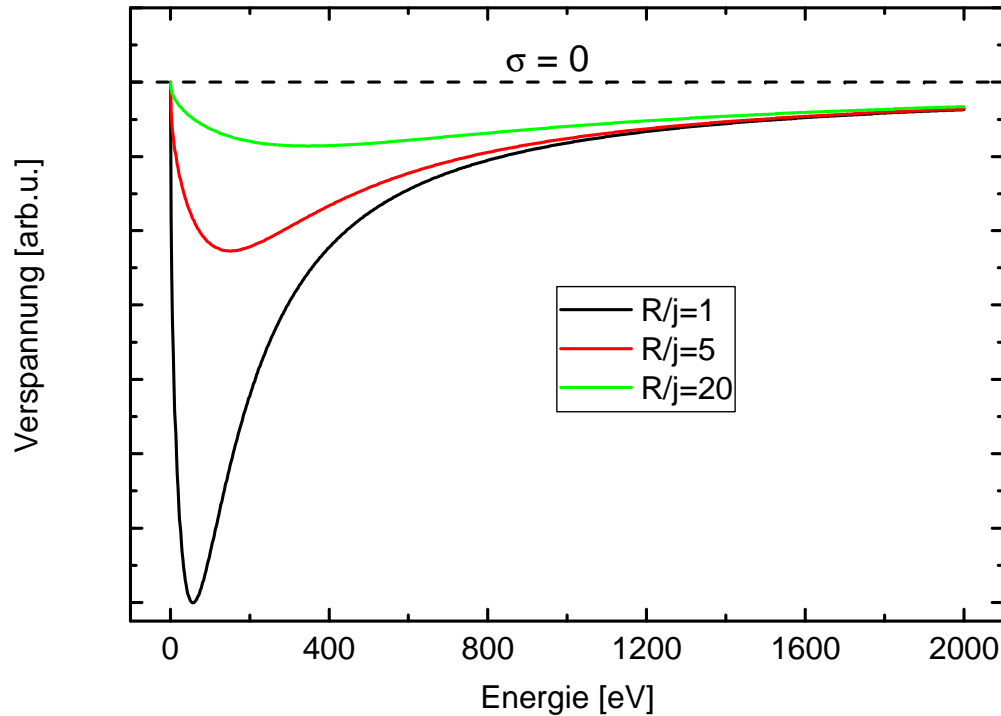
R ... Biegeradius;

$\nu$  ... Poissonzahl/Substrat;

D ... Substratdicke;

d ... Schichtdicke

# Spannungsreduzierung durch Ionenbeschuss



C. A. Davis, Thin Solid Films 226, 30-34 (1993).

$$\sigma(E) \propto \frac{Y E^{1/2}}{(1-\nu) R/j + kE^{5/3}}$$

$$k = 0.016 \rho E_0^{-5/3}$$

E.....Ionenenergie

R.....Nettoionenflussdichte der  
schichtbildenden Teilchen

j.....Flussdichte der auftreffenden  
Ionen

Y.....E-Modul des Films

$\nu$ .....Poissonzahl

$E_0$ ....effektive Anregungsenergie

$\rho = 1$

# Laserprofilometer

**Prinzip:** Messung der Krümmung mit Laserprofilometer *OM μscan*  
( $\lambda = 780 \text{ nm}$ )

→ Berechnung des Schichtspannung mit Stoney-Formel

## Parameter Profilometer:



Messbereich

x/y ..... 100 x 100 mm<sup>2</sup>

z ..... 1 mm

Auflösung

x/y ..... 1 μm

z ..... 0,025 μm

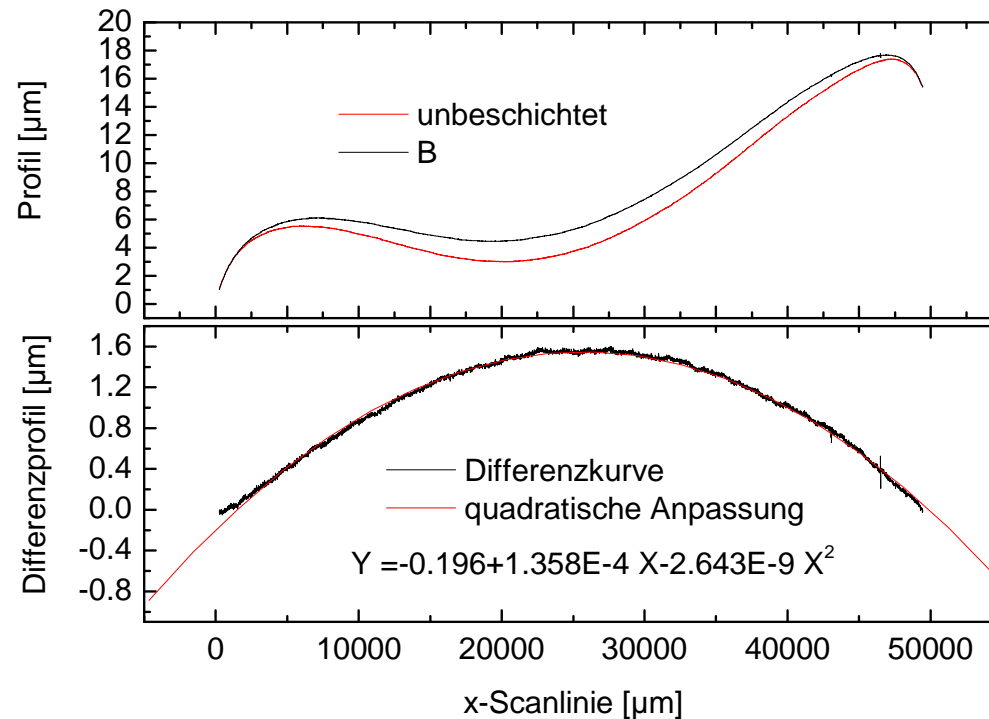
Messgeschwindigkeit ... 0,1 ... 30 mm/s

Arbeitsabstand ..... 2 mm

Abtastrate ..... 10 kHz

# Auswertung der Scandaten

Beispiel: TiO<sub>2</sub> auf Si (DIBD)

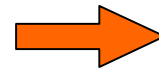


Messkurven

Differenz

Stoney

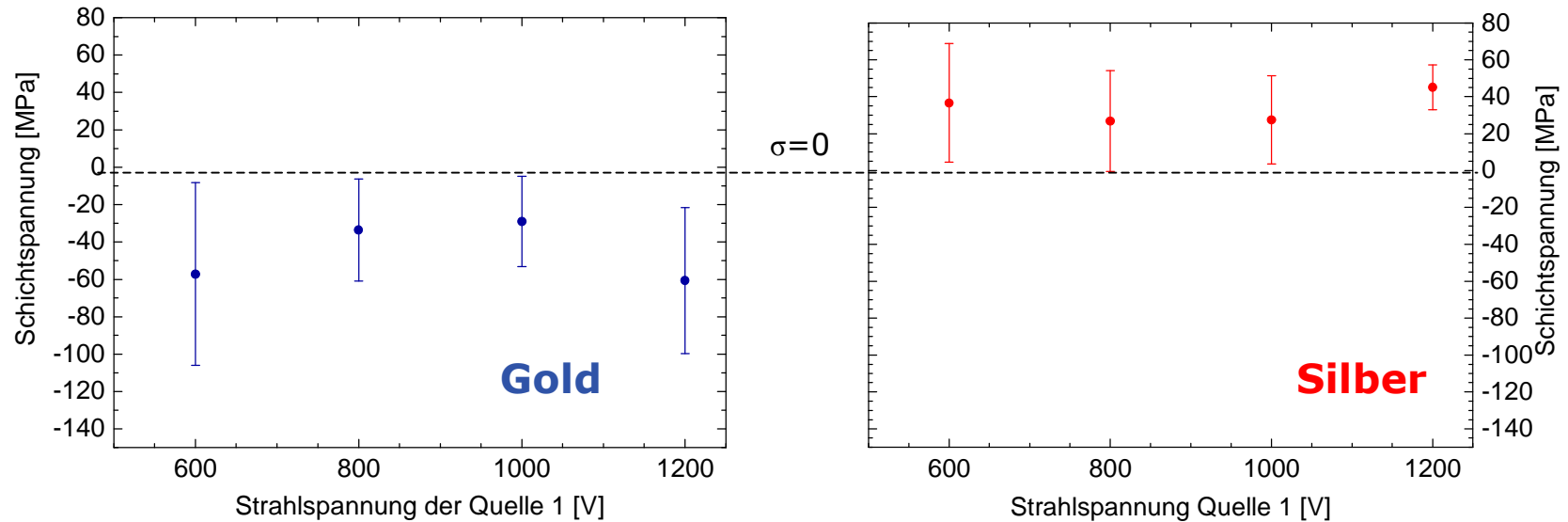
Krümmungsradius  $R = -189 \text{ m}$



Schichtspannung  $\sigma = -98 \text{ MPa}$

# Schichtspannung in Au und Ag

Variation Ionenenergie Quelle1, kein zusätzlicher Ionenbeschuss

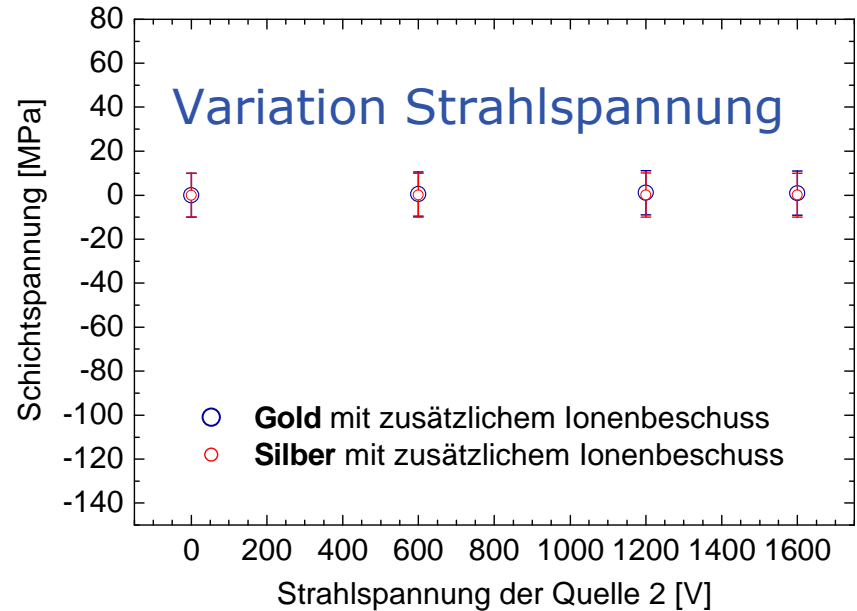


$P_{FWD}$ : 121W;  
Ar: 2.0sccm;  
 $U_{Acc}$ : 80V;  
t= 7-14min

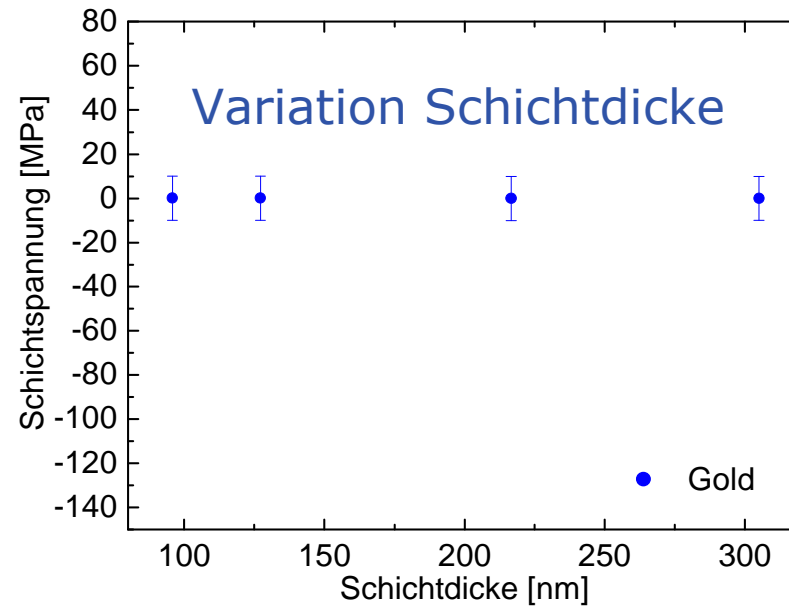
- Gold zeigt kompressive Verspannung
- Silber zeigt tensile Verspannung

# Schichtspannung in Au und Ag

## Gold und Silber nach Reinigung der Substrates durch Ionenbeschuss



$U_{\text{Beam1}}$ : 1000V;  $U_{\text{Acc1/2}}$ : 150V/120V  
Ar1/Ar2: 3,0/7,0sccm;  
Zeit: 6min;  
Einsputtern: 5min



$U_{\text{Beam1}}$ : 1000V;  $U_{\text{Acc1}}$ : 201V  
Ar1/Ar2: 3,0/7,0 sccm;  
Zeit: 6-18min;  
30s Einsputtern

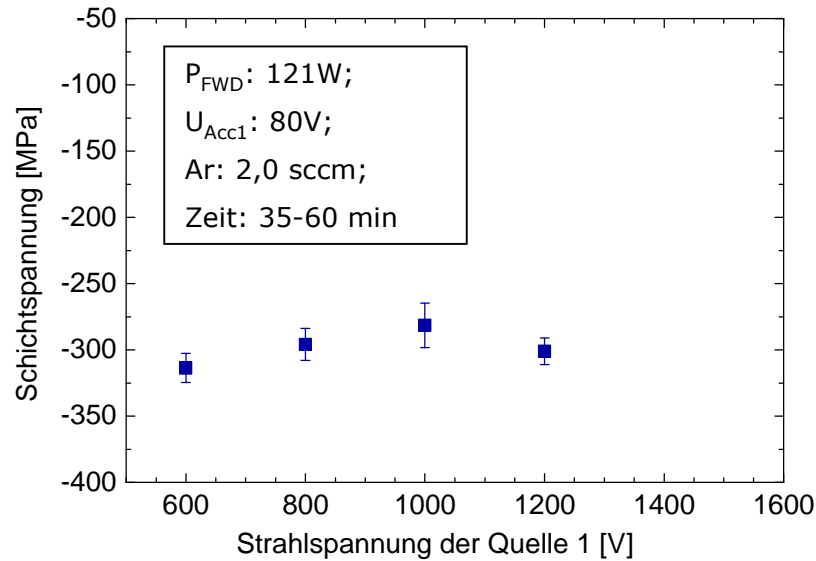
-vollständige Relaxation der Schichtspannung

-kein Schichtdickeneffekt

# Schichtspannung in TiO<sub>2</sub>

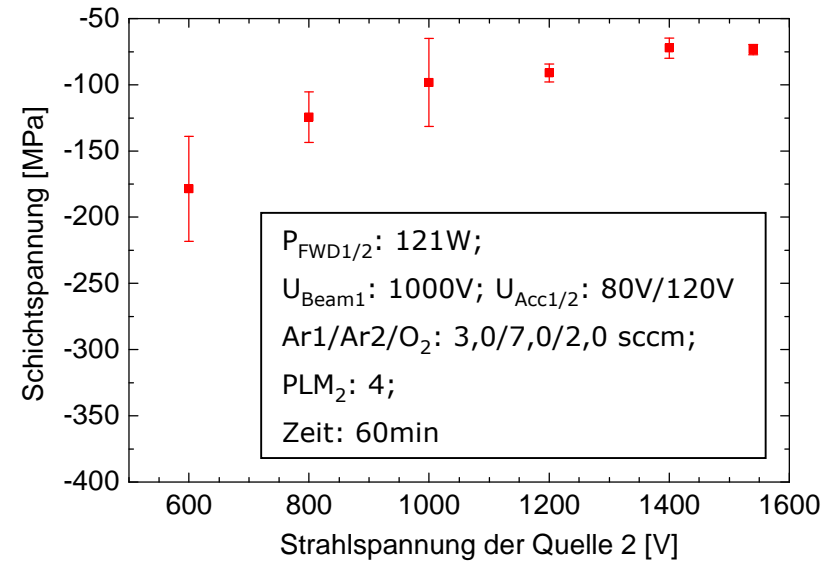
Ohne zusätzlichen Ionenbeschuss

**Variation Ionenenergie Quelle 1**



Mit zusätzlichem Ionenbeschuss

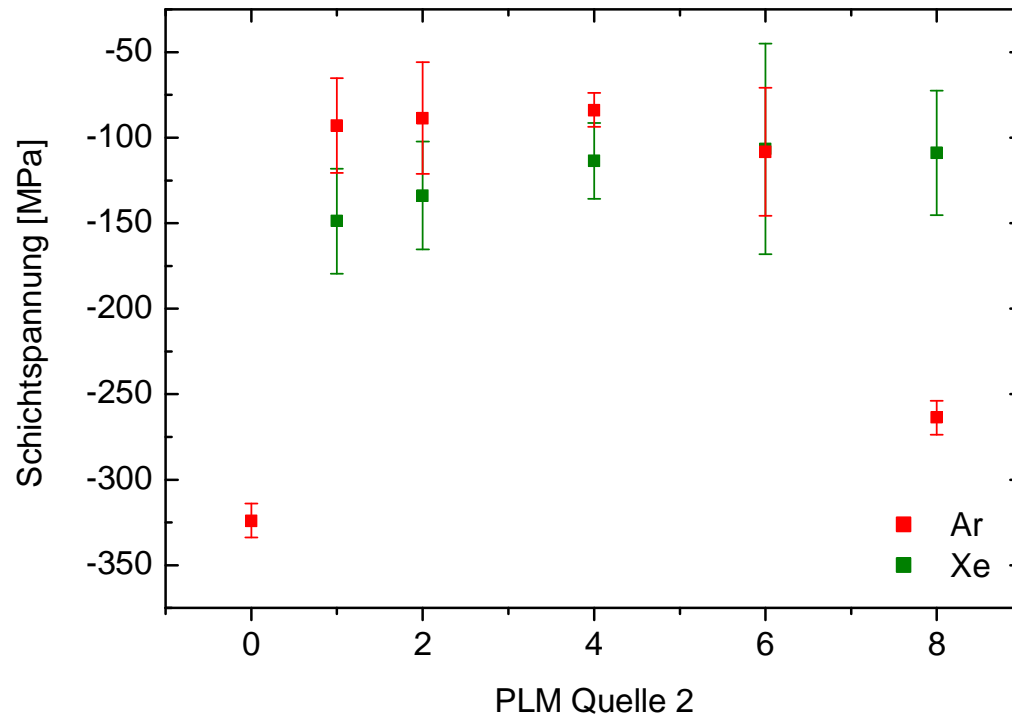
**Variation Ionenenergie Quelle 2**



- deutliche Relaxation der verspannten TiO<sub>2</sub>-Schichten durch zusätzlichem Ionenbeschuss

# TiO<sub>2</sub> – Einfluss der Ionenflussdichte

Variation Ionenflussdichte Quelle 2



**Ar als Zerstäubungsgas:**

Ar1/Ar2/O<sub>2</sub>: 3,0/7,0/2,0 sccm;

U<sub>Beam1/2</sub>: 1000V/1200V;

U<sub>Acc1/2</sub>: 80V/120V;

**Xe als Zerstäubungsgas:**

Ar1/Xe2/O<sub>2</sub>: 3,0/2,0/2,0 sccm;

U<sub>Beam1/2</sub>: 1000V/1200V;

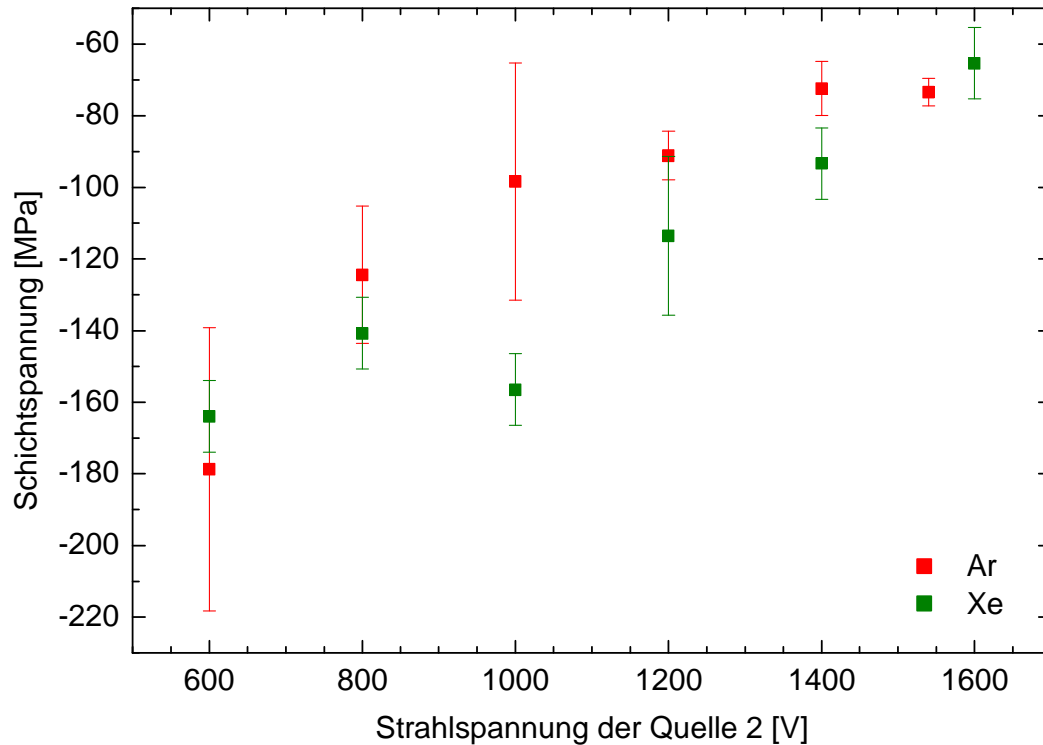
U<sub>Acc1/2</sub>: 80V/120V;

Abscheidezeit: 60min

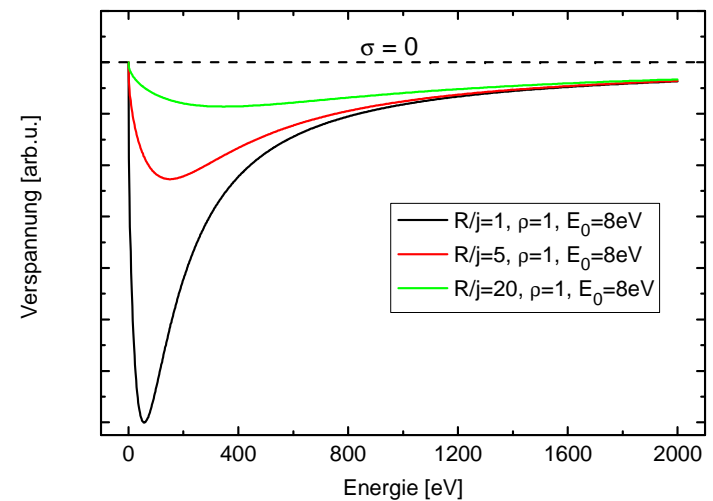
- niedrigste Verspannung für PLM=4 und Ar als Zerstäubungsgas
- niedrige PLM ausreichend
- für Ar und Xe als Zerstäubungsgas ähnliche Ergebnisse

# TiO<sub>2</sub> – Einfluss der Ionenenergie

## Variation Ionenenergie Quelle 2



Ar1: 3,0sccm; Ar2: 7,0sccm; Xe2: 2,0;  
O<sub>2</sub>: 2,0sccm  
U<sub>Beam1</sub>: 1000V; U<sub>Acc1(2)</sub>: 80V/120V; PLM<sub>2</sub>: 4  
Abscheidezeit: 60min

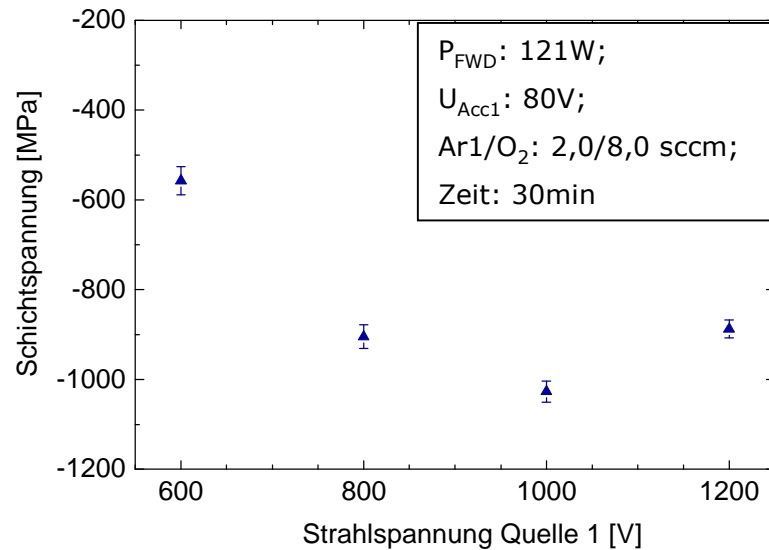


- mit steigender Strahlspannung der Quelle 2 sinkt die Verspannung der TiO<sub>2</sub>-Schicht
- für Ar und Xe als Zerstäubungsgas ähnliche Ergebnisse

# Schichtspannung in SiO<sub>2</sub>

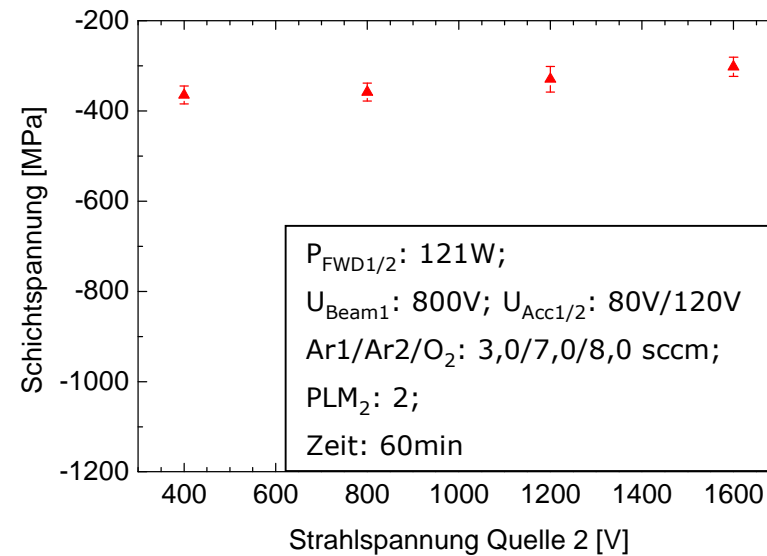
Ohne zusätzlichen Ionenbeschuss

Variation Ionenenergie Quelle 1



Mit zusätzlichem Ionenbeschuss

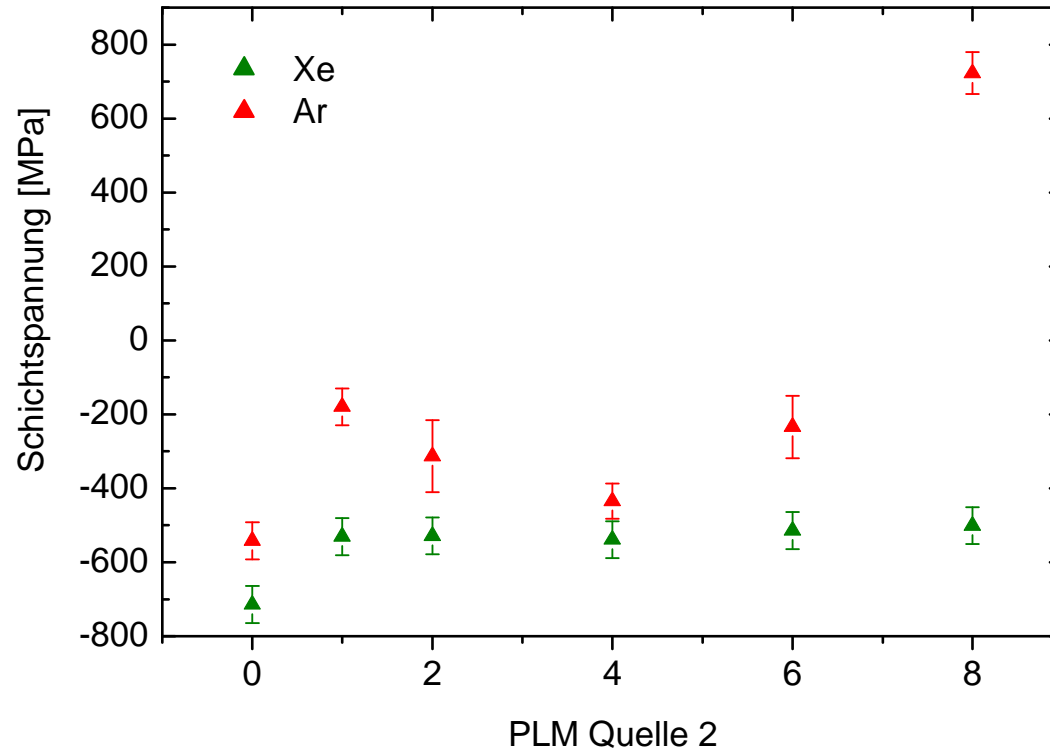
Variation Ionenenergie Quelle 2



-deutliche Relaxation der verspannten SiO<sub>2</sub>-Schichten unter zusätzlichem Ionenbeschuss

# SiO<sub>2</sub>-Einfluss der Ionenflussdichte

## Variation Ionenflussdichte Quelle 2



### Ar als Zerstäubungsgas:

Ar1/Ar2/O<sub>2</sub>: 3,0/7,0/8,0 sccm;

U<sub>Beam1/2</sub>: 800V/1200V;

U<sub>Acc1(2)</sub>: 156V/120V;

### Xe als Zerstäubungsgas:

Ar1/Xe2/O<sub>2</sub>: 3,0/2,0/8,0 sccm;

U<sub>Beam1/2</sub>: 800V/1200V;

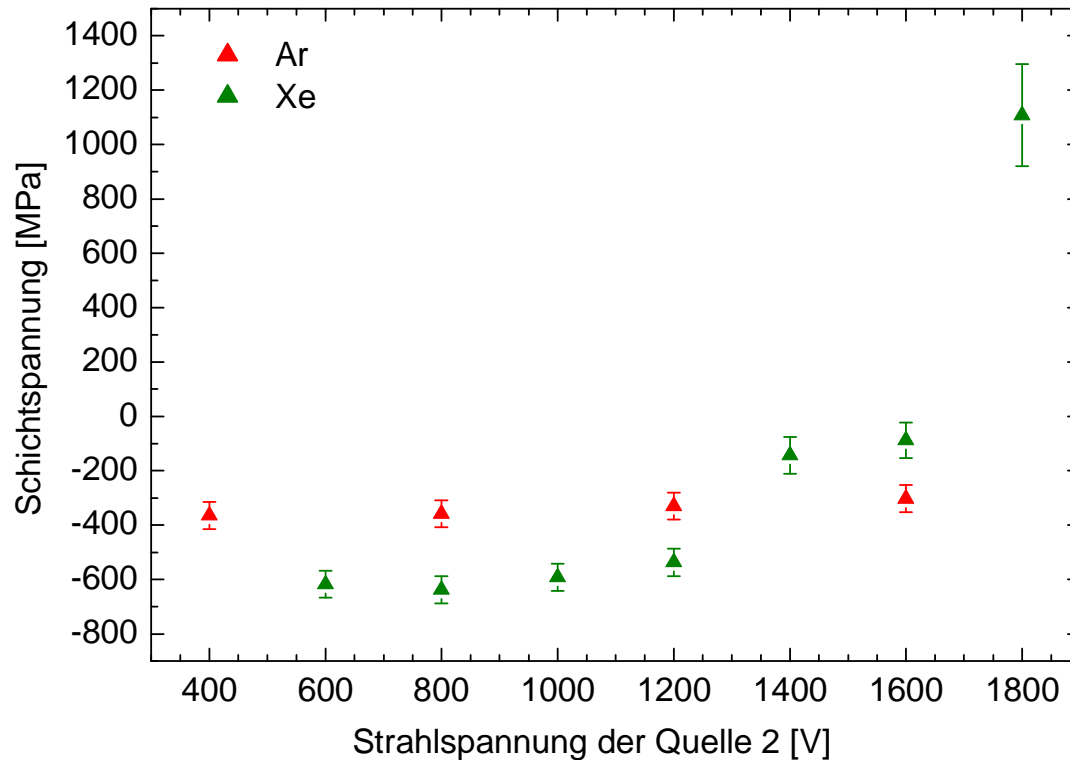
U<sub>Acc1/2</sub>: 120V/120V;

**Abscheidezeit:** 30min

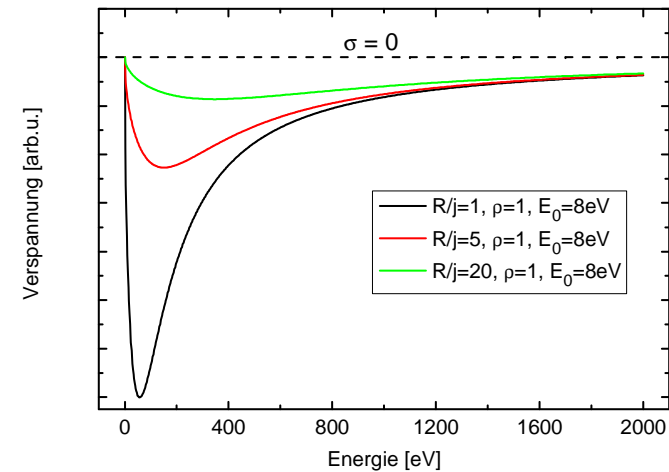
- geringe Variation der Verspannung für Xe,
- Streuung der Werte für Ar

# SiO<sub>2</sub>-Einfluss der Ionenenergie

## Variation Ionenenergie Quelle 2



**Ar als Zerstäubungsgas:**  
 Ar1/Ar2/O<sub>2</sub>: 3,0/7,0/8,0 sccm;  
**Xe als Zerstäubungsgas:**  
 Ar1/Xe2/O<sub>2</sub>: 3,0/2,0/8,0 sccm;  
 U<sub>Beam1</sub>: 800V;  
 U<sub>Acc1(2)</sub>: 80V/120V;  
 PLM<sub>2</sub>: 2/4  
 Abscheidezeit: 60min/30min



- Verspannung variiert gering mit Variation der Strahlspannung für Ar
- deutliche Relaxation mit steigender Strahlspannungen für Xe

# Zusammenfassung und Ausblick

---

## Zusammenfassung:

- Abscheidung von „unverspannten“ Au- und Ag-Schichten
- Reduzierung der Verspannung in TiO<sub>2</sub>- und SiO<sub>2</sub>-Schichten durch zusätzlichen Ionenbeschuss (DIBD)
  - Deutlicher Einfluss durch Energie und Stromdichte der Beschussionen
  - Art der Beschussionen hat geringen Einfluss

## Ausblick:

- Abscheidung und Optimierung von Schichtsystemen

# Danke an...

---

M. Mäder (IOM) ..... REM

J. W. Gerlach (IOM) ..... XRD data

Gefördert durch die Sächsische Aufbaubank (SAB 10866/1681).

Danke für Ihre Aufmerksamkeit !