

# Magnetronsputtern von Sulfiden für die Photovoltaik

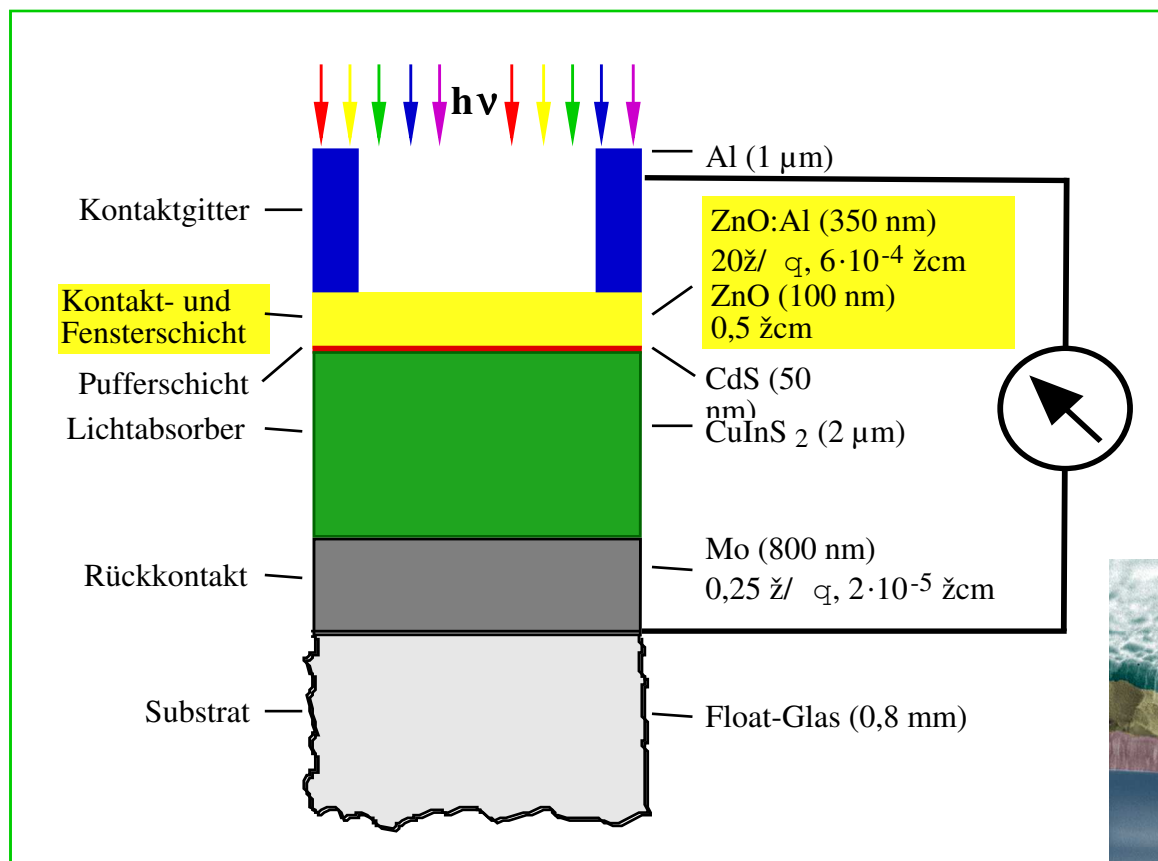
K. Ellmer, S. Seeger

- Dünnschichtsolarzellen
- Anforderungen an Absorber
- $\text{CuInS}_2$  -Absorber
- $\text{In}_2\text{S}_3$ -Pufferschichten
- $\text{MoS}_2$ -Absorber
- Zusammenfassung/Ausblick

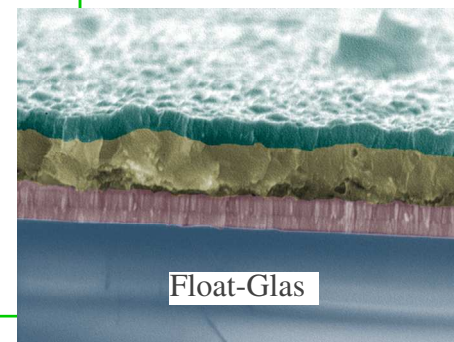


Solare Energetik

# Schema einer Dünnschichtsolarzelle

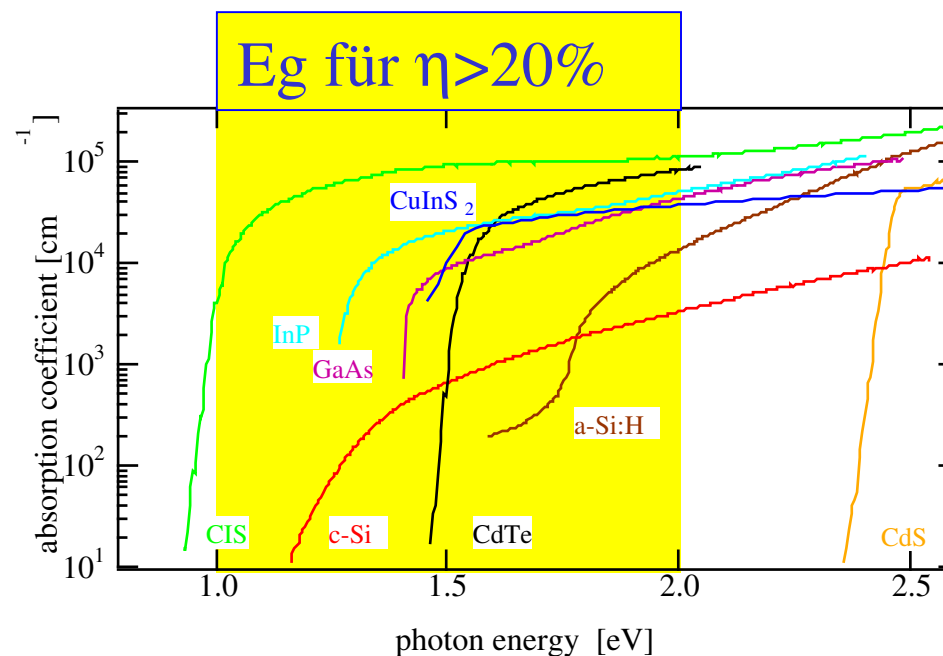


- (Metallgitter)
- Fensterschicht
- Pufferschicht
- Absorber
- Rückseitenkontakt



ZnO:Al/ZnO  
CuInS<sub>2</sub>  
Molybdän

# Anforderungen an photovoltaische Materialien



- Kleine Absorptionslänge ( $\alpha^{-1} < 0.5 \mu\text{m}$ )
- „Passende“ Bandlücke (1-2 eV)
- Toxikologische und ökologische Unbedenklichkeit

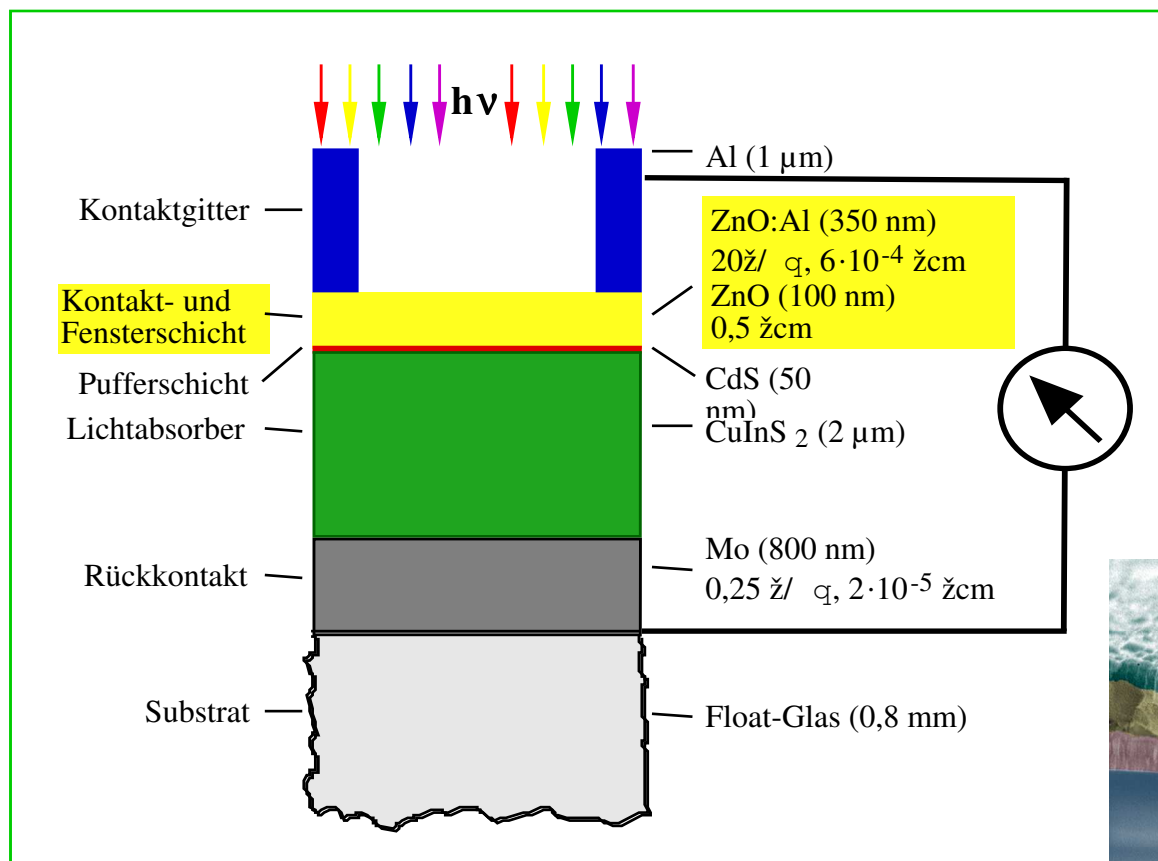
## Anforderungen an einen Abscheideprozeß

- Großflächige Beschichtung ( $> 1 \text{ m}^2$ ), billig.
- Hohe Abscheideraten.
- Niedrige Substrattemperaturen ( $< 500 \text{ °C}$ ).
- Gute Filmhaftung, gleichmäßige Schichtdicken und hohe Filmdichte.
- Abscheidung von Legierungen und Verbindungen.
- Einfacher Aufbau, robust im Betrieb, gute Langzeitstabilität.

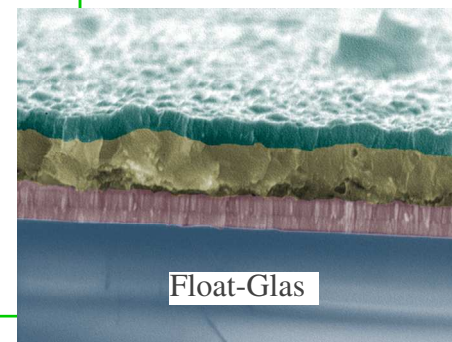
 **Magnetronputtern**



# Magnetronsputtern von Solarzellen?



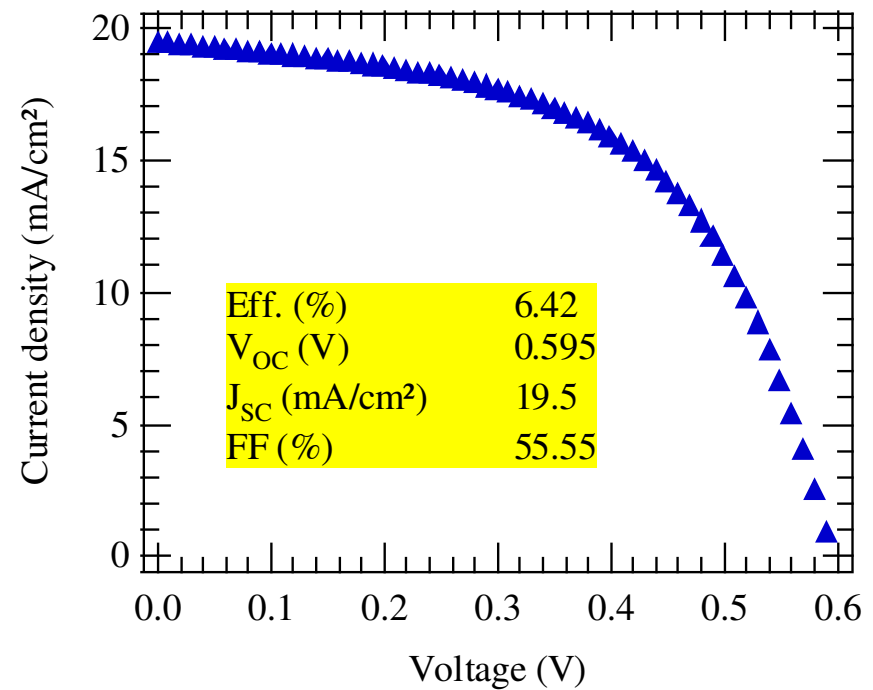
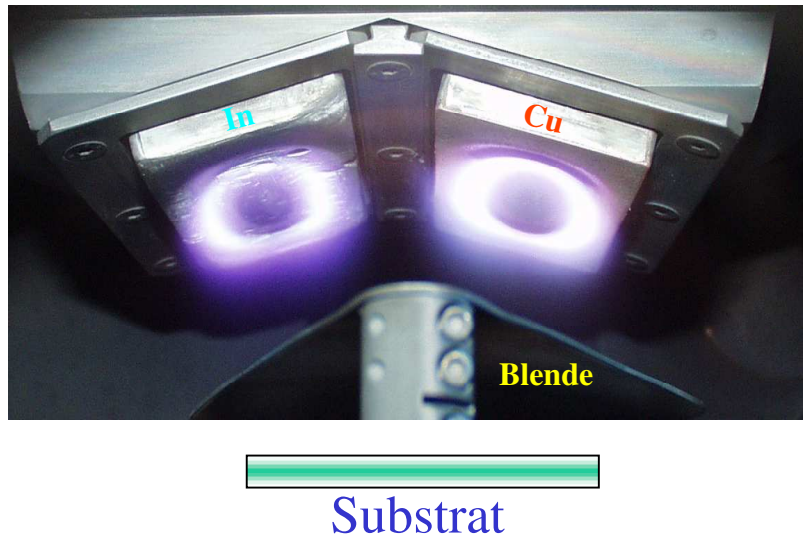
- Metallgitter
- Fensterschicht
- Pufferschicht
- Absorber
- Rückseitenkontakt



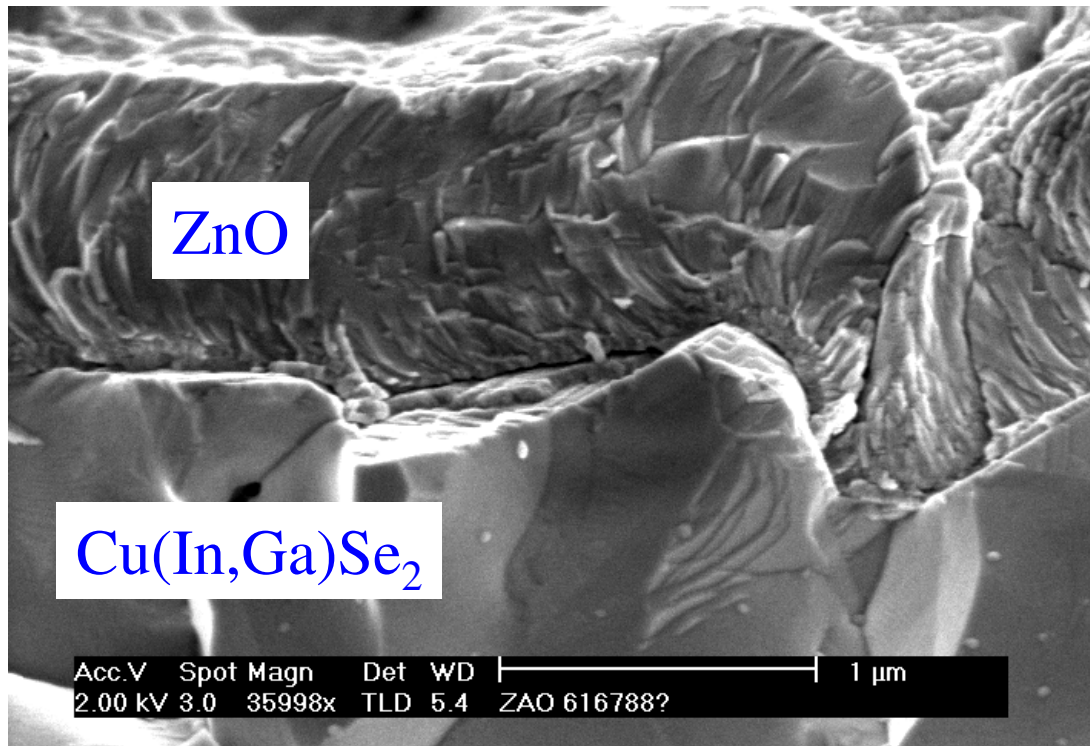
ZnO:Al/ZnO  
CuInS<sub>2</sub>  
Molybdän

# Sputtern von $\text{CuInS}_2$ -Schichten

Mini-TWINMAG



# In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-Pufferschichten auf CIGS (Würth Solar)



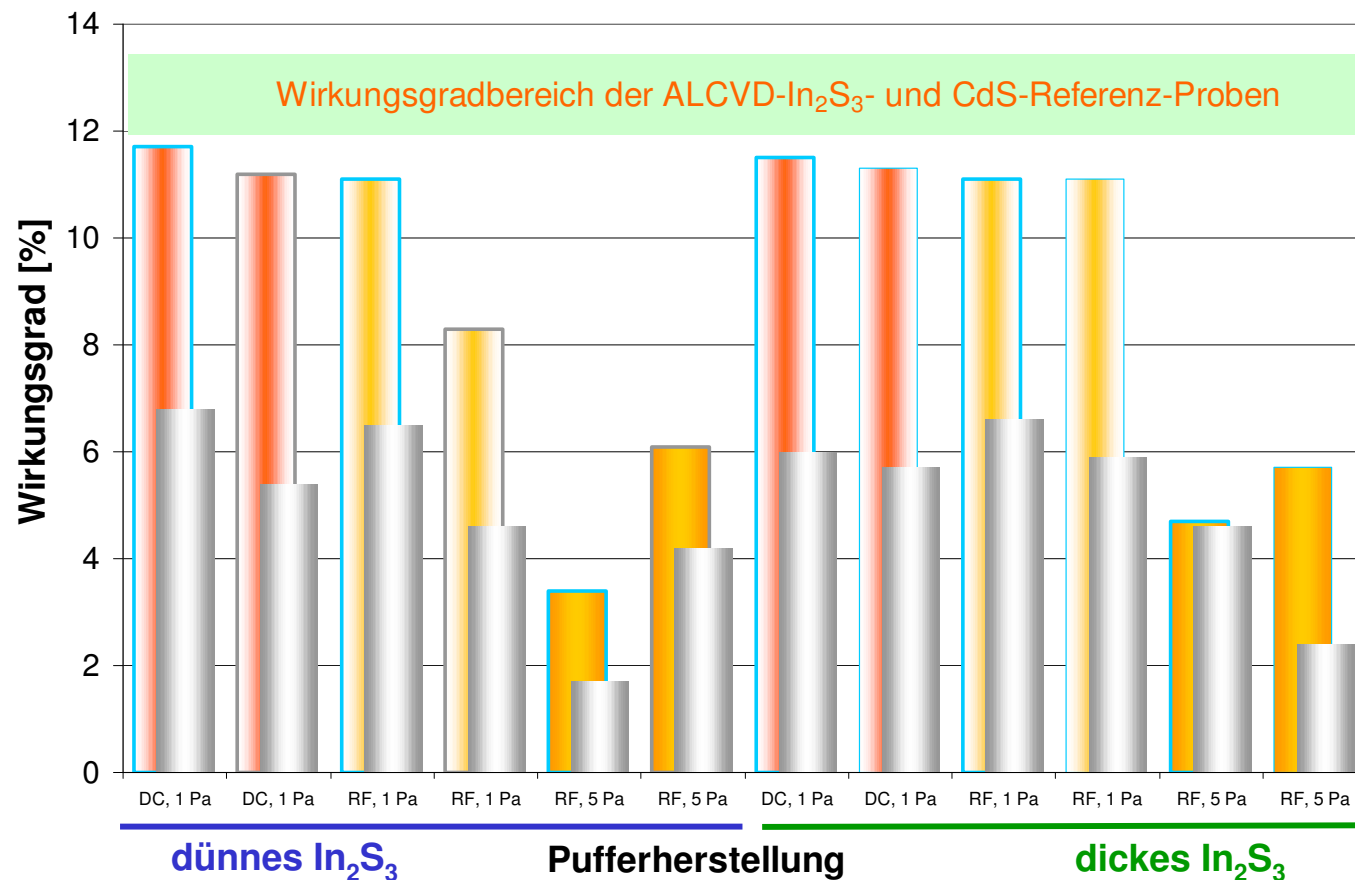
← CdS

Bruchkanten-HREM:  
CIGS/CdS/ZnO



Ersatz durch  
In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> (ungiftig)

# In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-Pufferschichten auf CIGS (Würth Solar)



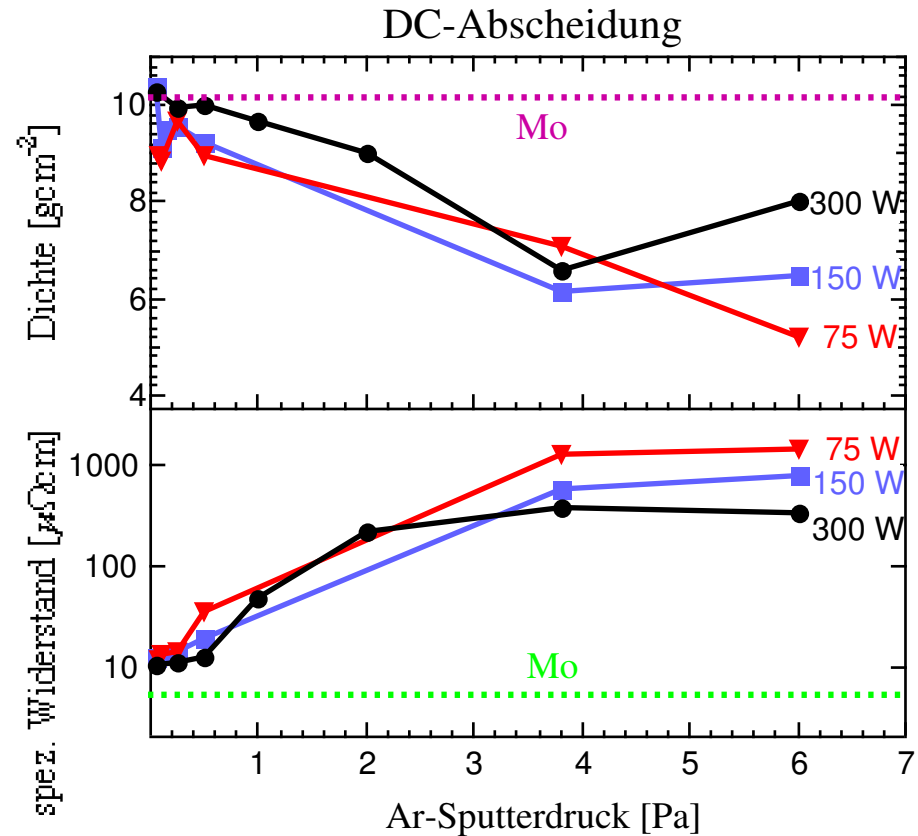
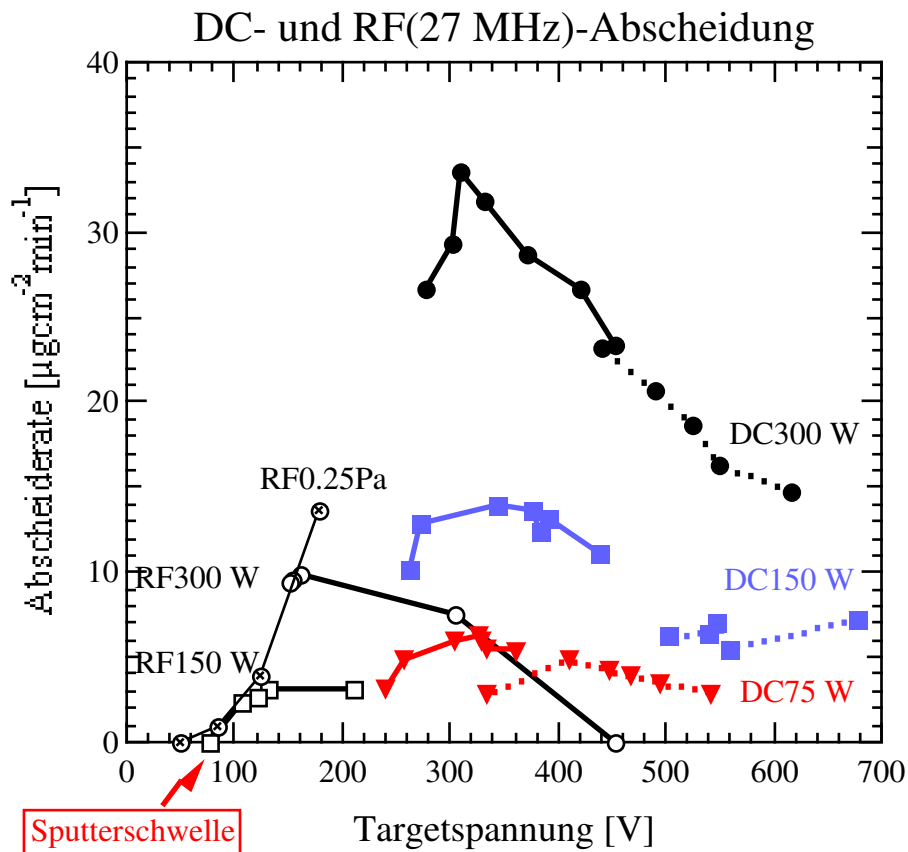
rot → DC-Sputtern  
gelb → RF-Sputtern

gelb/ rot → nach Temperung an Luft (2h)  
grau → as grown

- ◆ Positiver Einfluss der nachträglichen Temperung auf Zellwirkungsgrad
- ◆ Depositionsraten: 5,6 nm/min (RF) bzw. 10,7 nm/min (DC)

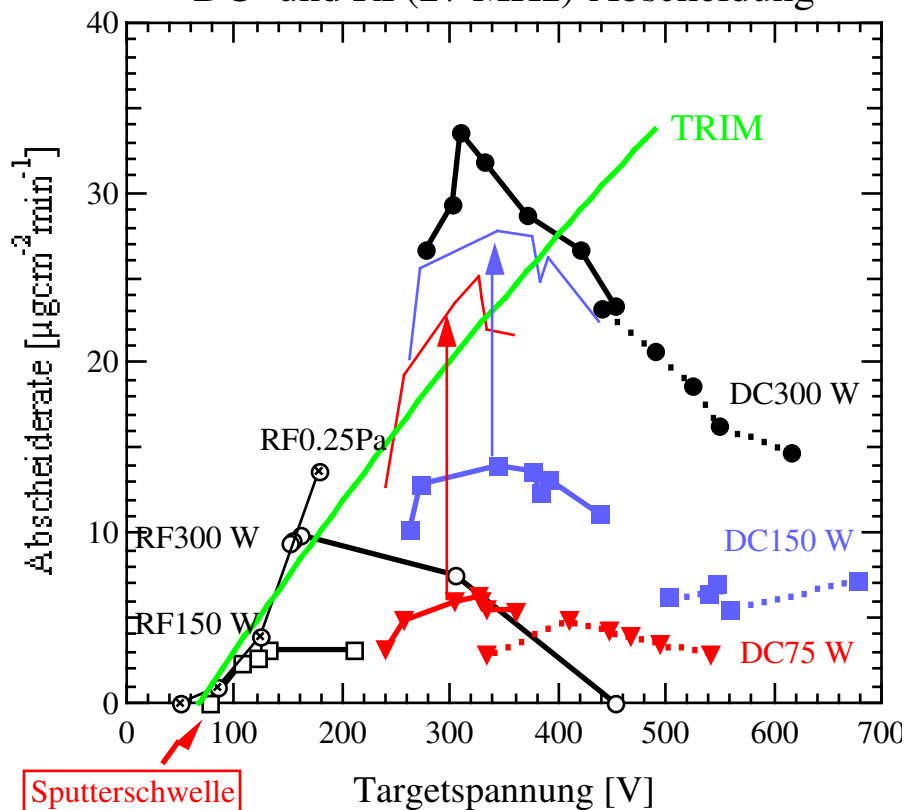


# Druck-, Spannungseinfluß auf Mo-Abscheidung

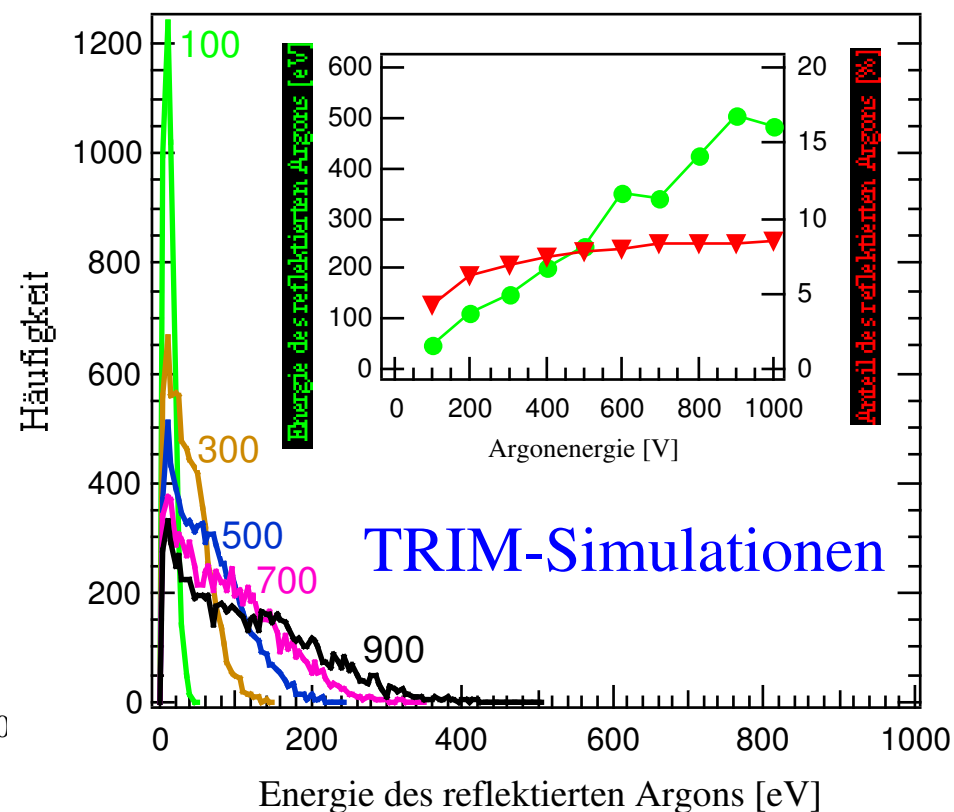


# Reflektiertes Argon vom Mo-Target

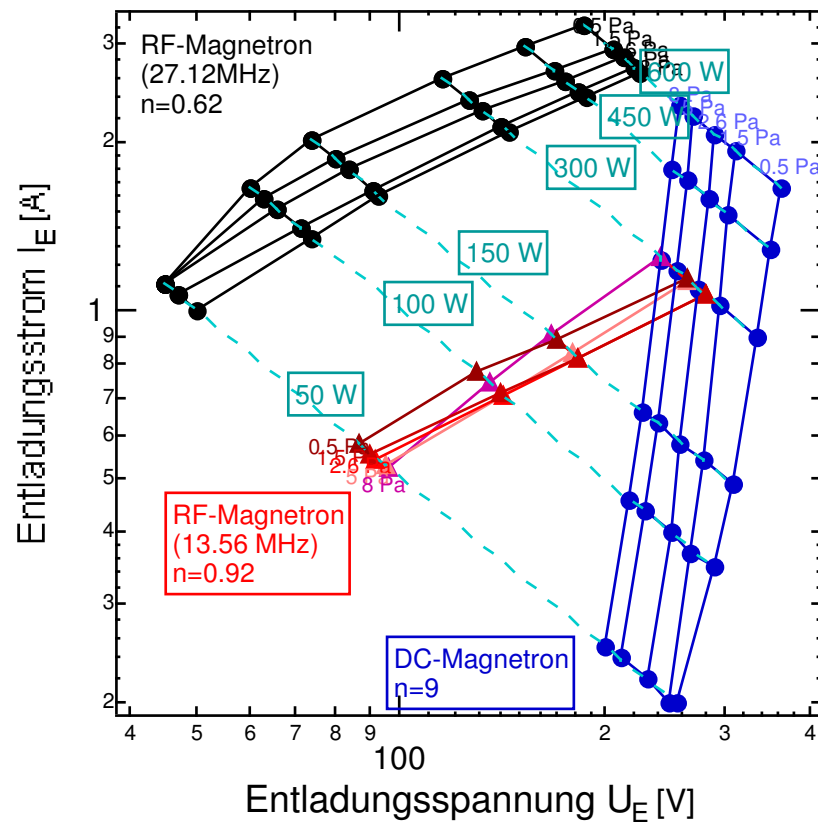
DC- und RF(27 MHz)-Abscheidung



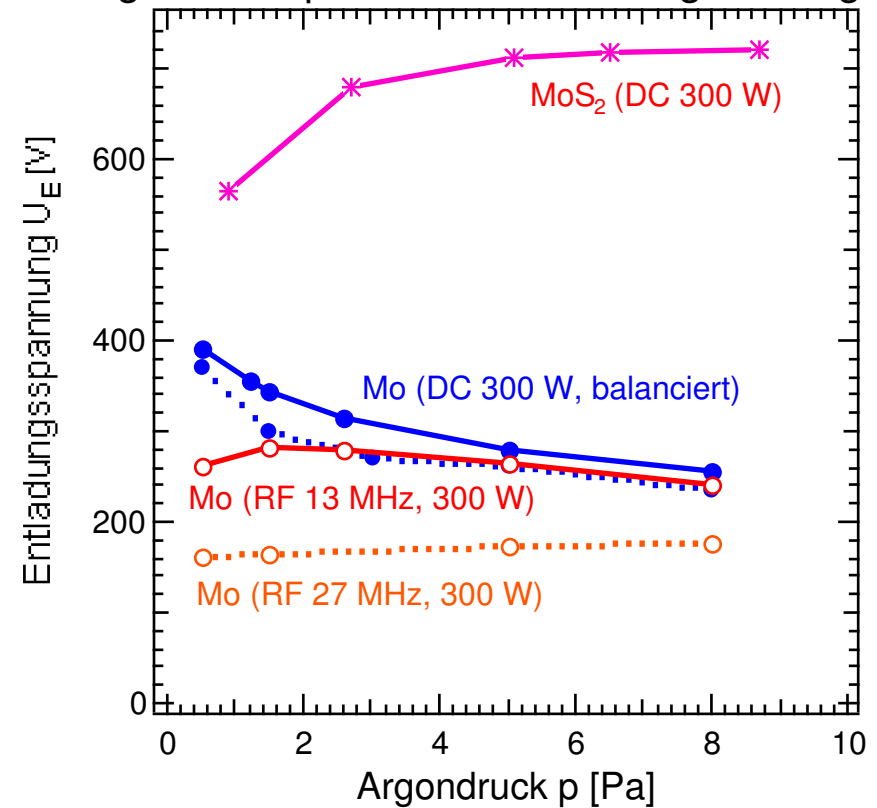
100.000  $\text{Ar}^+ \rightarrow \text{Mo}$



# Magnetron-Entladungscharakteristiken

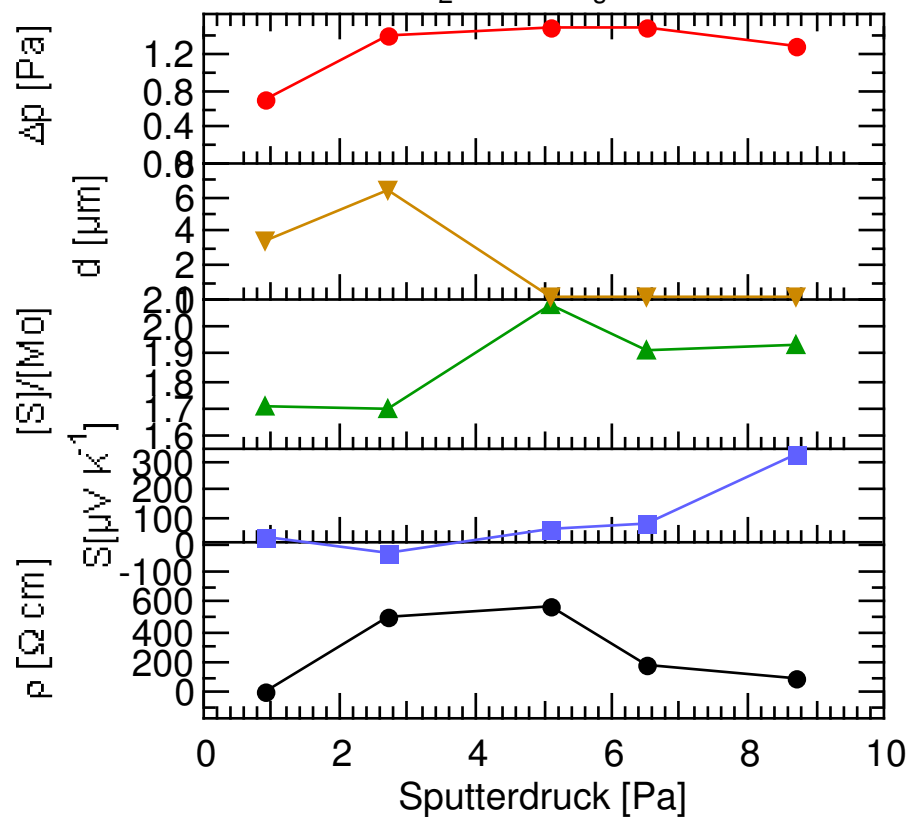


Magnetron-Sputtern vom Mo-Target in Argon

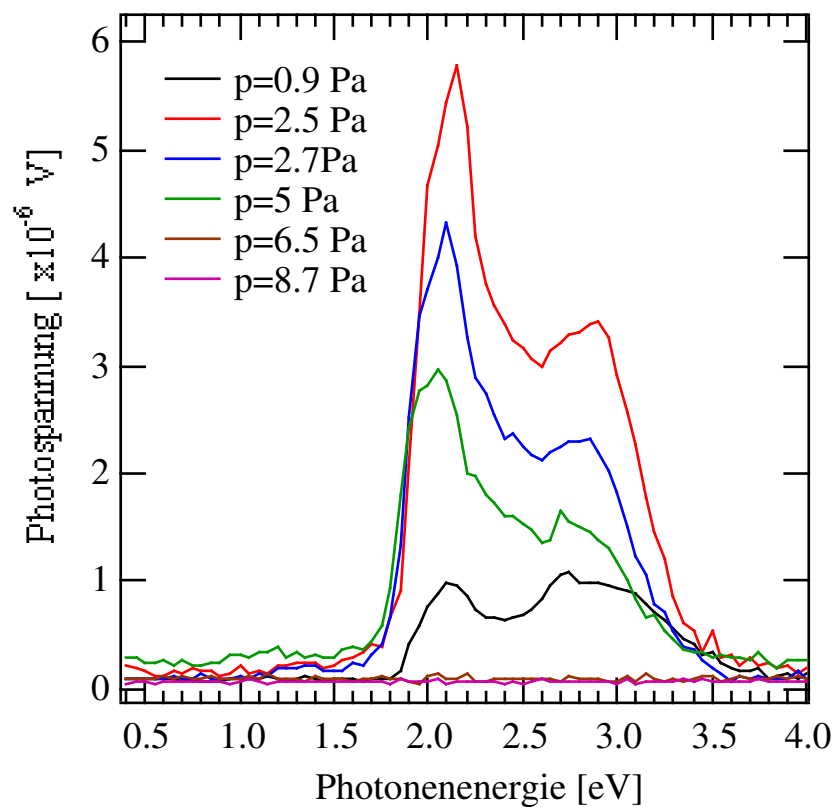


# Photoaktivität von MoS<sub>2</sub>-Schichten

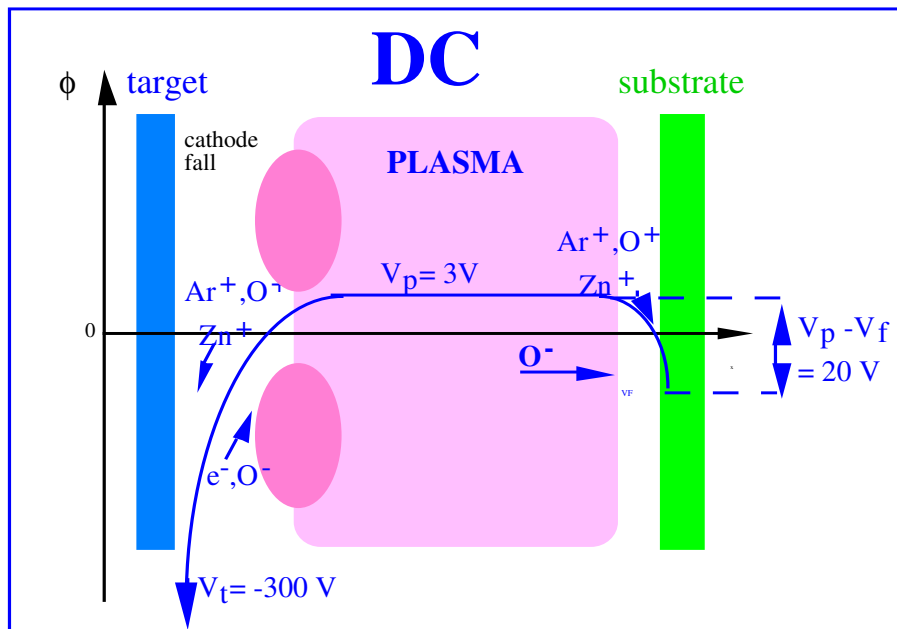
DC 300W, Ar/H<sub>2</sub>S=1/3, T<sub>s</sub>=450°C, t=20min



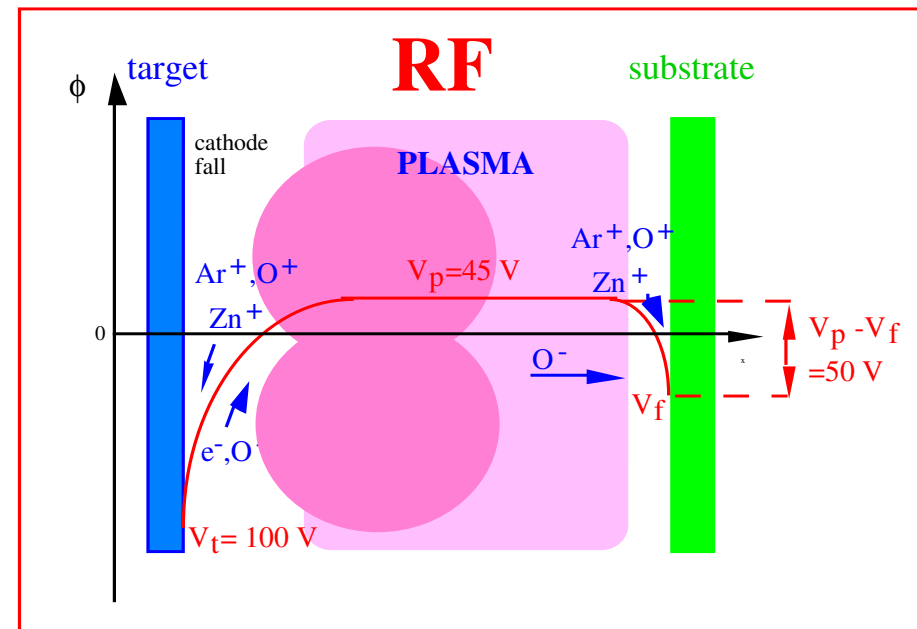
DC 300W, T<sub>s</sub>=450°C, t=20min, Druckvariation, H<sub>2</sub>/Ar=3



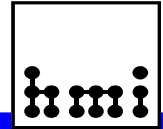
# Potentialverteilungen



- Hohe Abscheiderate
- Hohe Teilchenenergien
- Niedrigere Plasmadichte am Substrat



- Niedrige Abscheiderate
- Geringere Teilchenenergien
- Hohe Plasmadichte am Substrat



# Zusammenfassung / Ausblick

- Reaktives Magnetronspütern (RMS) in Ar/H<sub>2</sub>S ist PRINZIPIELL geeignet, um CuInS<sub>2</sub> ( $\eta > 8\%$ ) und andere sulfidische Verbindungshalbleiter herzustellen (CdS, In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, MoS<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub>).
- ABER: Jedes Material muß separat optimiert werden, da außer den Plasmaparametern auch strukturelle (Defekte), morphologische (Dichte) und elektronische (Rekombinationszentren) Schichteigenschaften die Materialqualität bestimmen!
- Weitere Experimente sind notwendig, um das Potential des RMS für niedrigere Substrattemperaturen und für die Präparation von Gradientenschichten auszuschöpfen.
- Andere Schwefelquellen (z.B. S-Sputterquelle) testen.
- Die Plasmabedingungen (Druck, Entladungsspannung) müssen so eingestellt werden, daß der Beschuß der wachsenden Halbleiterschichten durch hochenergetische Teilchen (Ionen, schnelle Neutrale mit  $E > 50$  eV) minimiert wird.

# Danksagung

- **Jan Hinze (HMI)**
- **Richard Menner (ZSW)**
- **Mike Oertel (ZSW)**

