

# GD-OES Kalibrationen für die Analyse dünner Schichten in der siliziumbasierten Photovoltaik: Herausforderungen und Lösungen

Jonathan Steffens

Anwendertreffen „Analytische Glimmentladungsspektrometrie“, Bremen,  
17.05.17

## GD-OES - Setup

- GDA 750 HR von „Spectruma Analytik GmbH“
- 26 Photomultiplier
- CCD-Spektrometer
- RF Hochfrequenzanregung
- Turbopumpe an der Messkammer
- Aktive Wasser-Probenkühlung
- In Betrieb seit Februar 2016

### **Anregungsbedingungen:**

- Leistungskonstant,  
Druck geregelt
- 5W, 9hPa
- 1011Hz, 10%



# Siliziumbasierte Photovoltaik

## Substrat:

- Chemisch polierter Silizium Einkristall (reflektierend)

## Typische Schichten:

- a-Si:H: Hydriertes amorphes Silizium als Passivierschicht (~ 10 nm)
- SiN<sub>x</sub>: Siliziumnitrid als Antireflexschicht (75 nm)
- SiO<sub>2</sub>: Hochdotierte Gläser als Dotierquelle (~ 40-60 nm)
  - BSG: Bor-Silikatglas
  - PSG: Phosphor-Silikatglas

→ Jede Schicht enthält atmosphärische Elemente (N,H,O)

# I. Wasserstoffkalibration in a-Si:H

Herstellung: Chemische Gasphasenabscheidung (CVD) mit  $\text{SiH}_4$  (und  $\text{H}_2$ )

Probenname	$c_{\text{H}}$ [at%]
a-Si:H typisch	2-30
IARM 178D	0,07
IARM 271A	0,59
BAM-S110 (nicht erhältlich)	11,9

## 1. Herausforderung: Keine kommerziellen H-Standards

→ a-Si:H Laborstandards

Unterschiedliche H-Konzentrationen durch Variation der Proben temperatur während der CVD-Abscheidung

# I. Wasserstoffkalibration in a-Si:H

←GD-OES



←NRA

*Abbildungen zu finden in:*

*J. Steffens et al., SiliconPV 2017,  
Energy Procedia, in print*

**1. Lösung: Laborstandards ✓**

# I. Wasserstoffkalibration in a-Si:H

## 2. Herausforderung: Gleiche Si-Intensitäten



*Abbildungen zu finden in:*

*J. Steffens et al., SiliconPV 2017,  
Energy Procedia, in print*

Lösungsvorschlag: Kalibration in Atomdichte [ $\text{cm}^{-3}$ ]:  $n_{\text{Si}} \cdot q$

J. Steffens et al., SiliconPV 2017, Energy Procedia, in print

# I. Wasserstoffkalibration in a-Si:H

Laborstandards Sputterraten:

*Abbildungen zu finden in:*

*J. Steffens et al., SiliconPV 2017,  
Energy Procedia, in print*

**2. Lösung: ?**

J. Steffens et al., SiliconPV 2017, Energy Procedia, in print

# I. Wasserstoffkalibration in a-Si:H

Überprüfung der Kalibration:

*Abbildungen zu finden in:*

*J. Steffens et al., SiliconPV 2017,  
Energy Procedia, in print*

## **3. Herausforderung: Atmosphärische Verunreinigungen**

S. Gerke et al., Phys Status Solidi RRL10(11), 2016

J. Steffens et al., SiliconPV 2017, Energy Procedia, in print

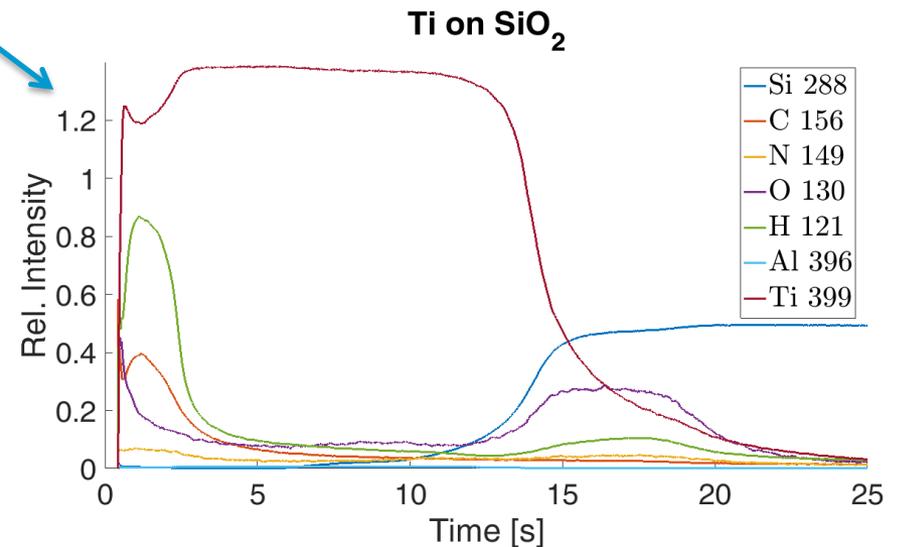
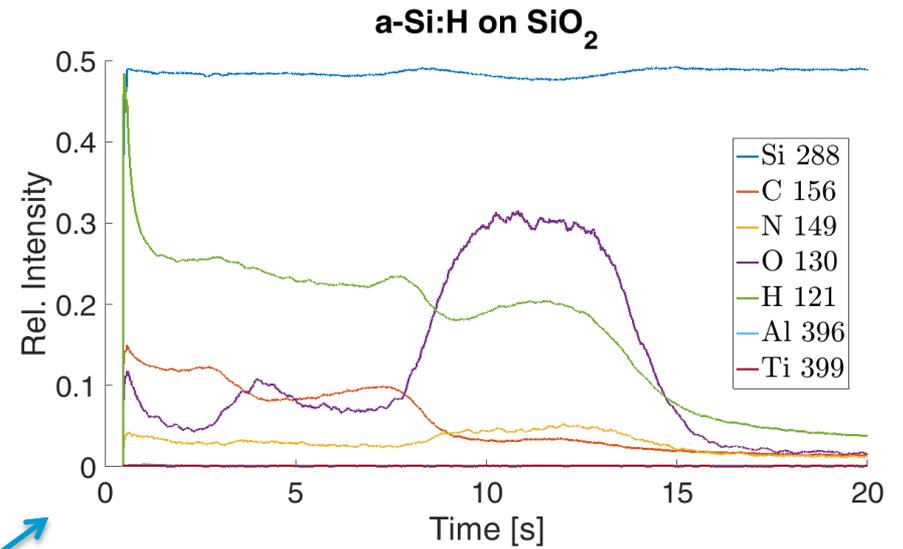
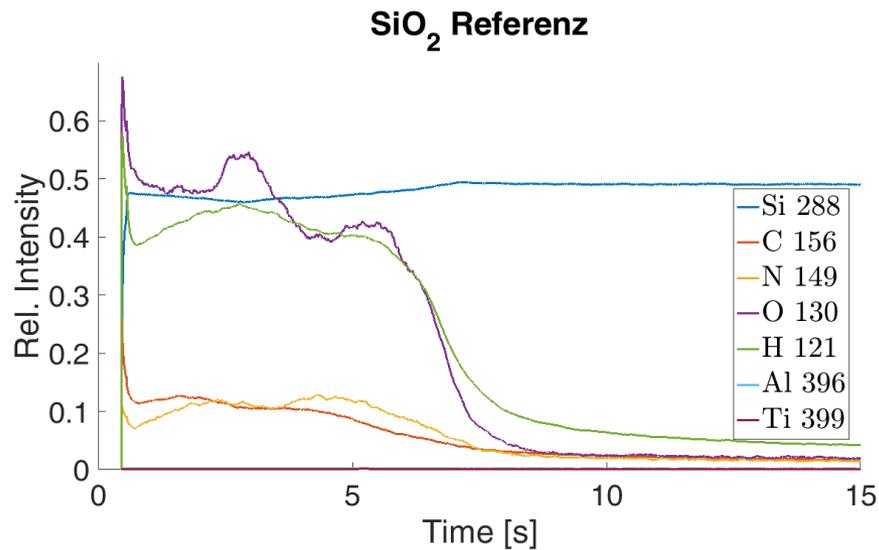
## II. Pufferschicht

### Lösungsvorschläge zu atmosphärischen Verunreinigungen:

- Turbopumpe
- Zwischenspülen / Lange Abpumpzeit / Si Pre-Sputtering
- Plasma-Reinigung ohne sputtern?
- **Pufferschicht**

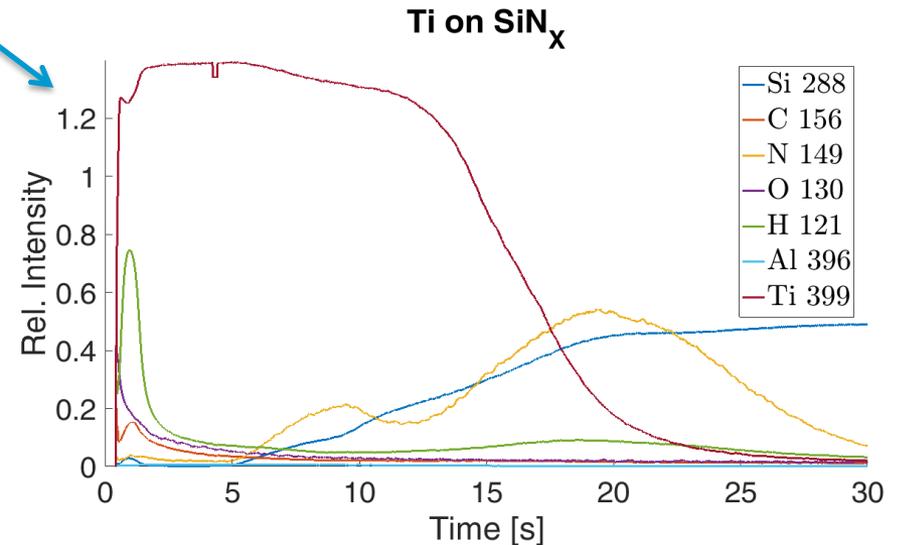
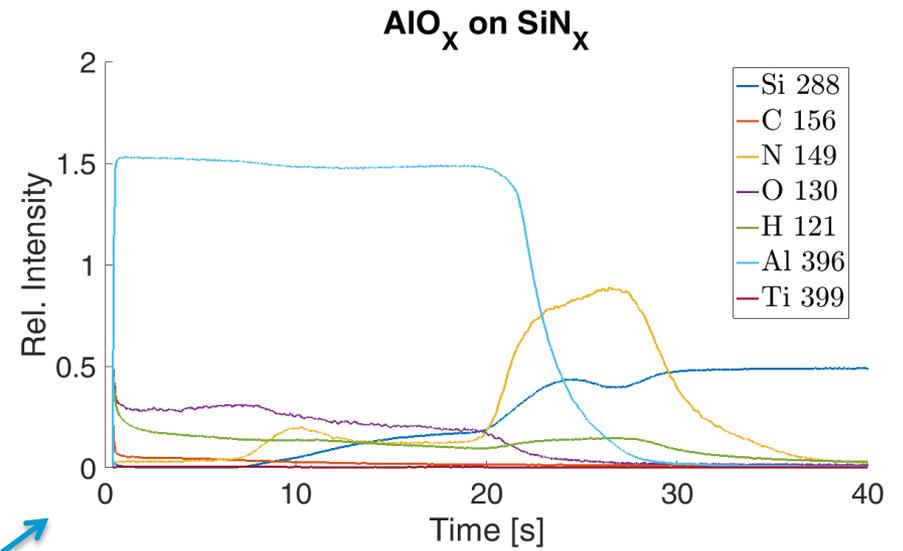
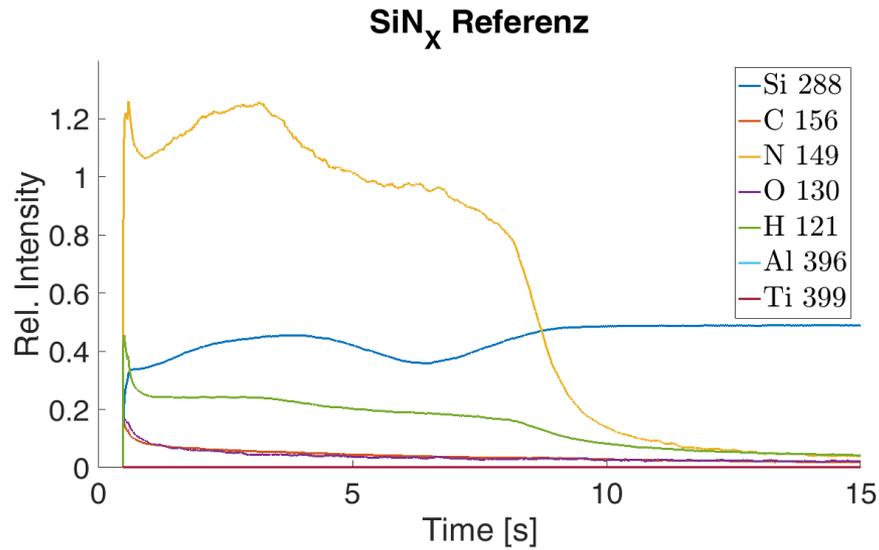
Basisschicht	a-Si:H	SiN <sub>x</sub>	SiO <sub>2</sub>
CVD	SiN <sub>x</sub>	a-Si:H	a-Si:H
Elektronenverdampfer	Ti	Ti	Ti
ALD	AlO <sub>x</sub>	AlO <sub>x</sub>	AlO <sub>x</sub>
Schichtdicke	100 nm		

## II. Pufferschicht



**3. Lösung: Pufferschicht ✓  
aber nur für SiO<sub>2</sub>**

## II. Pufferschicht



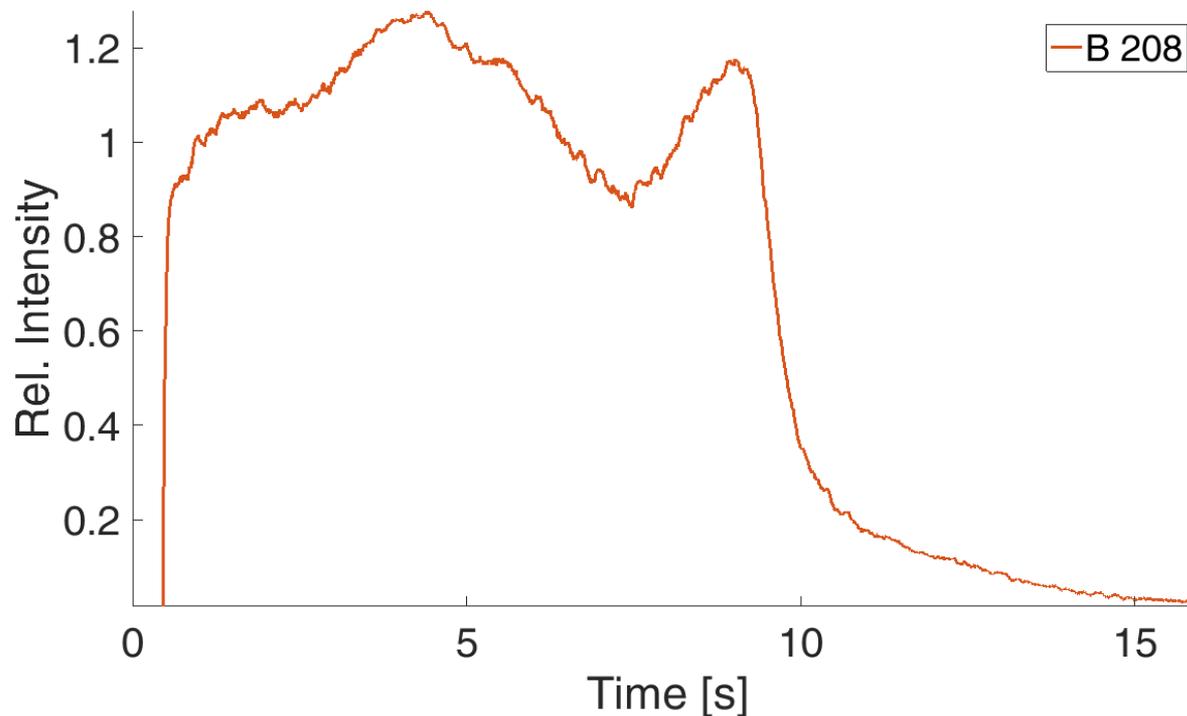
3. Lösung: ?

### III. BSG-Kalibration

- + Kommerzielle CRMs decken alle relevanten B-Konzentrationen ab
- Sputterrate in  $\text{SiO}_2$  nicht über Dichte der Reinelemente möglich

→ BSG Laborstandards

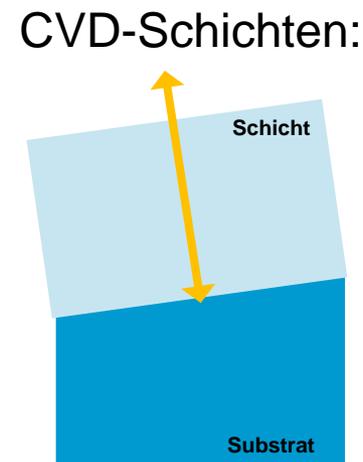
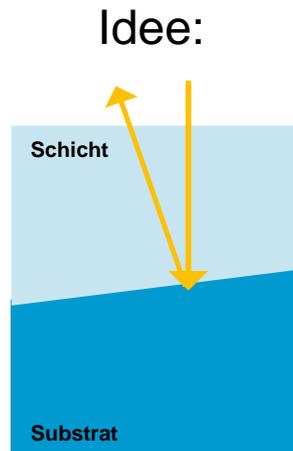
#### 4. Herausforderung: Interferenzen



# III. BSG-Kalibration

## Lösungsvorschläge zu Interferenzen:

- Nicht-reflektierendes Substrat
  - Rauhes Substrat:  $\sim 1 \mu\text{m}$  bei  $\sim 100 \text{ nm}$  Schichten?
  - Kein Silizium: Anderes Wachstumsverhalten?
- Substrat unter Winkel polieren?
- Dichtungsring unter Winkel fixieren?



## 4. Lösung: ?

## Zusammenfassung und Ausblick:

1. Herausforderung: Keine kommerziellen H-Standards für a-Si:H

1. Lösung: Laborstandards ✓

2. Herausforderung: Gleiche Si-Intensitäten in a-Si:H

2. Lösung: ?

3. Herausforderung: Atmosphärische Verunreinigungen

3. Lösung: Pufferschicht: Nur Ti auf SiO<sub>2</sub> ✓ → weitere Pufferschichten testen

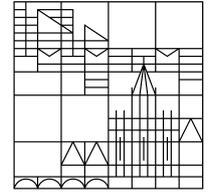
4. Herausforderung: Interferenzen

4. Lösung: ?

### Ausblick Kalibrationen:

- a-Si:H ✓
- BSG
- PSG
- SiO<sub>2</sub>
- SiN<sub>x</sub>

Universität  
Konstanz



**Herzlichen  
Dank!**

**Jonathan Steffens**  
Universität Konstanz  
Bereich Photovoltaik

Tel.: +49 (0) 75 31/88 - 2132  
[jonathan.steffens@uni-konstanz.de](mailto:jonathan.steffens@uni-konstanz.de)