PVcomB
Competence Centre Thin-Film- and Nanotechnology for Photovoltaics Berlin

HySPRINT

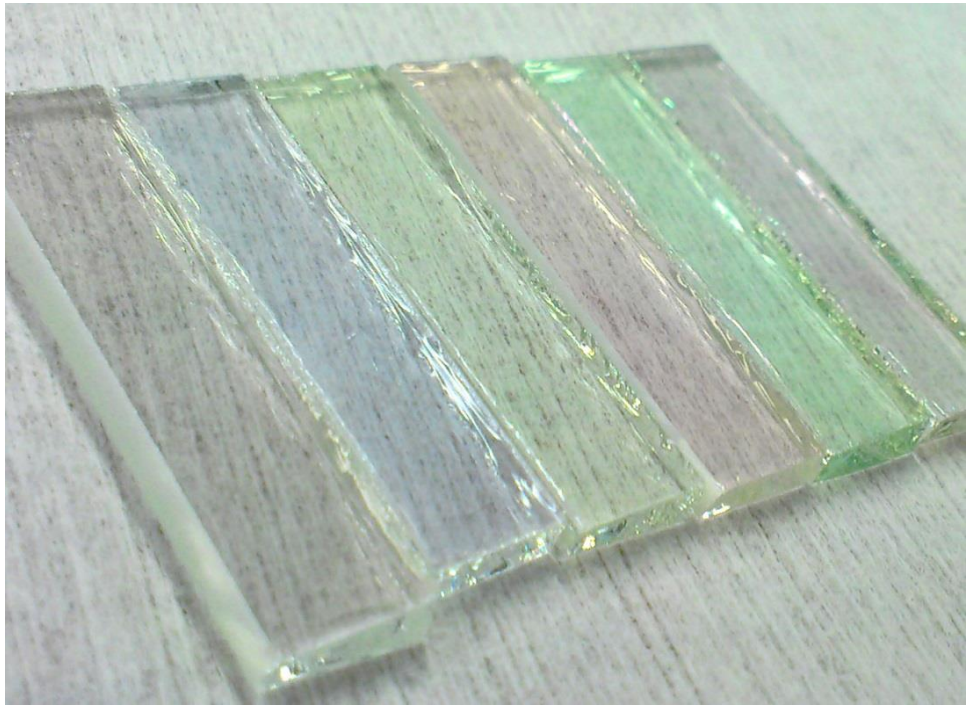
HZB Helmholtz Zentrum Berlin

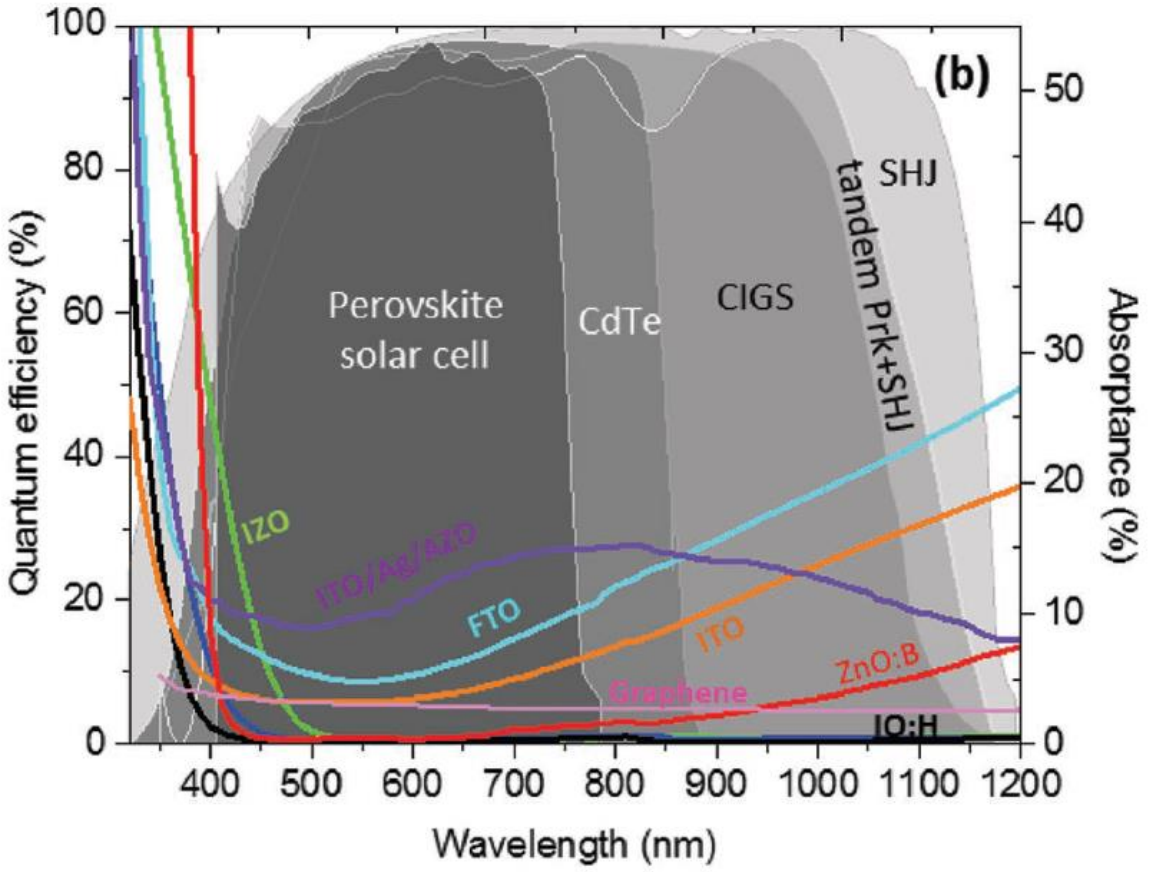
# Industrielle TCO Schichten für Silizium Solarzellen

Darja Erfurt
28.03.2019

- Einführung
- Kooperation mit Von Ardenne GmbH
- Nationales Projekt DYNASTO

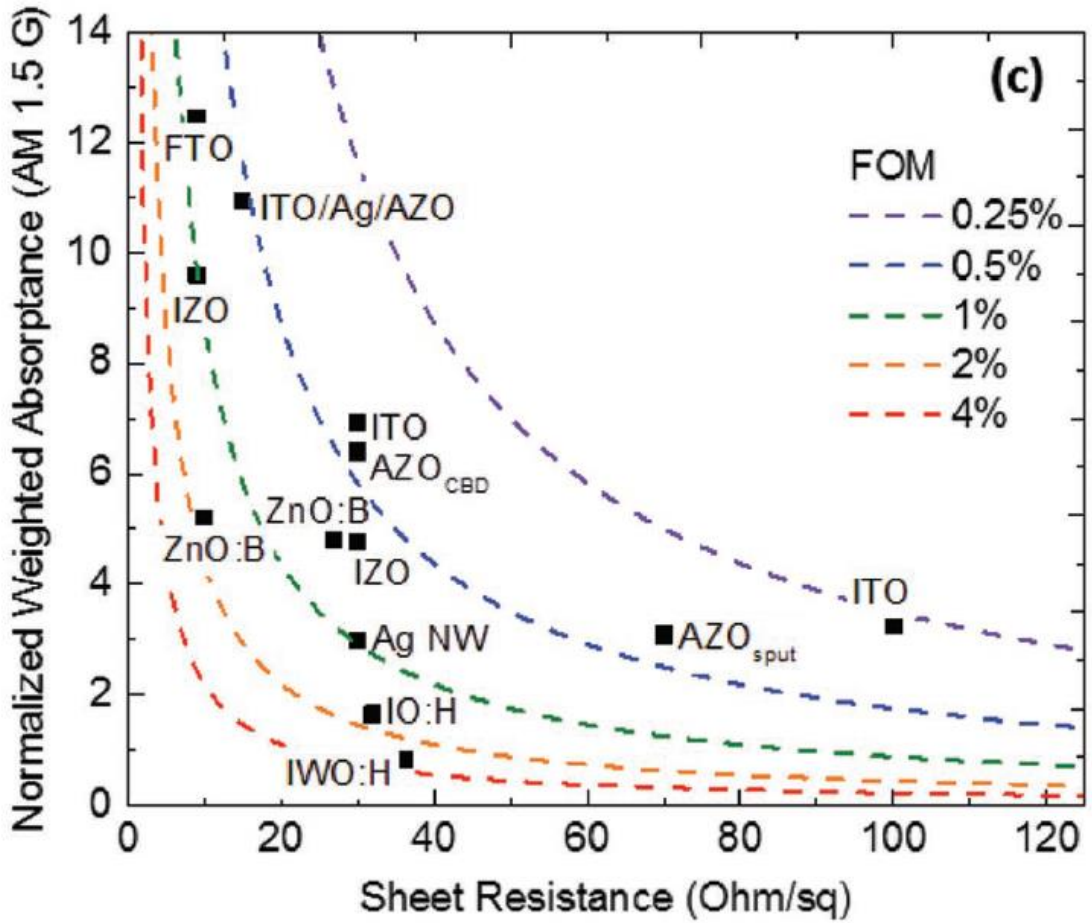
# Einführung TCO (engl. Transparent Conductive Oxide)






Morales-Masis et al.; Adv. Electron. Mater. 2017, 3, 1600529

# Einführung TCO (engl. Transparent Conductive Oxide)




- **Transparent**
  - im UV, VIS, NIR
  - Bandlücke $E_g > 3$ eV
- **Leitfähig**
  - Spez. Leitfähigkeit $\sigma > 10^3\ \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$
  - Spez. Widerstand $\rho < 10^{-3}\ \Omega\text{cm}$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = n_e \mu_e e$$

$n_e$ … Ladungsträgerdiche
$\mu_e$ … Ladungsträgerbeweglichkeit
$e$ … Elementarladung

$$R_{Sq} = \frac{\rho}{d}$$

$R_{Sq}$ … Schichtwiderstand
$d$ … Schichtdicke

- Typische TCOs
  - ZnO:Al (AZO)
  - $In_2O_3$:Sn (ITO)
  - $SnO_2$:F (FTO)

Morales-Masis et al.; Adv. Electron. Mater. 2017, 3, 1600529

# Einführung Silizium Solarzellen @ PVcomB / HZB

Lab Line @ HZB

Wet Chemistry

AMAT AKT1600

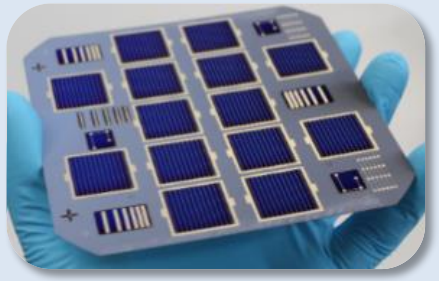
PECVD

Leybold Optics A600V7

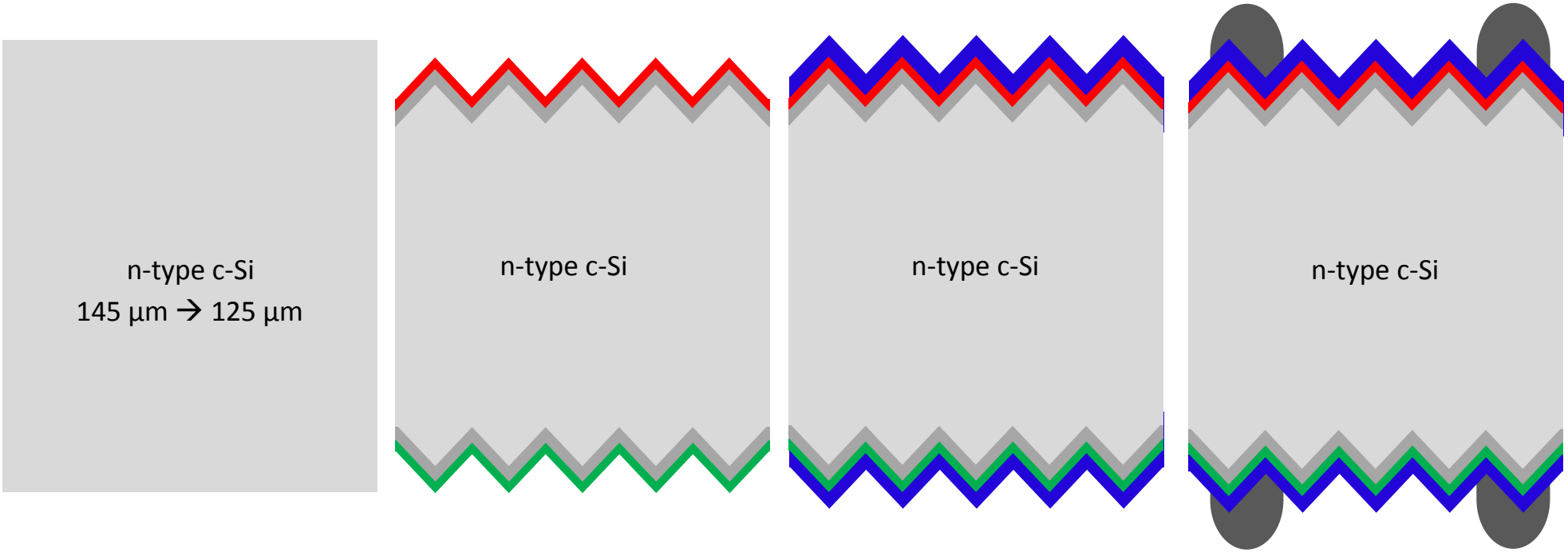
Sputtering

Screen Printing

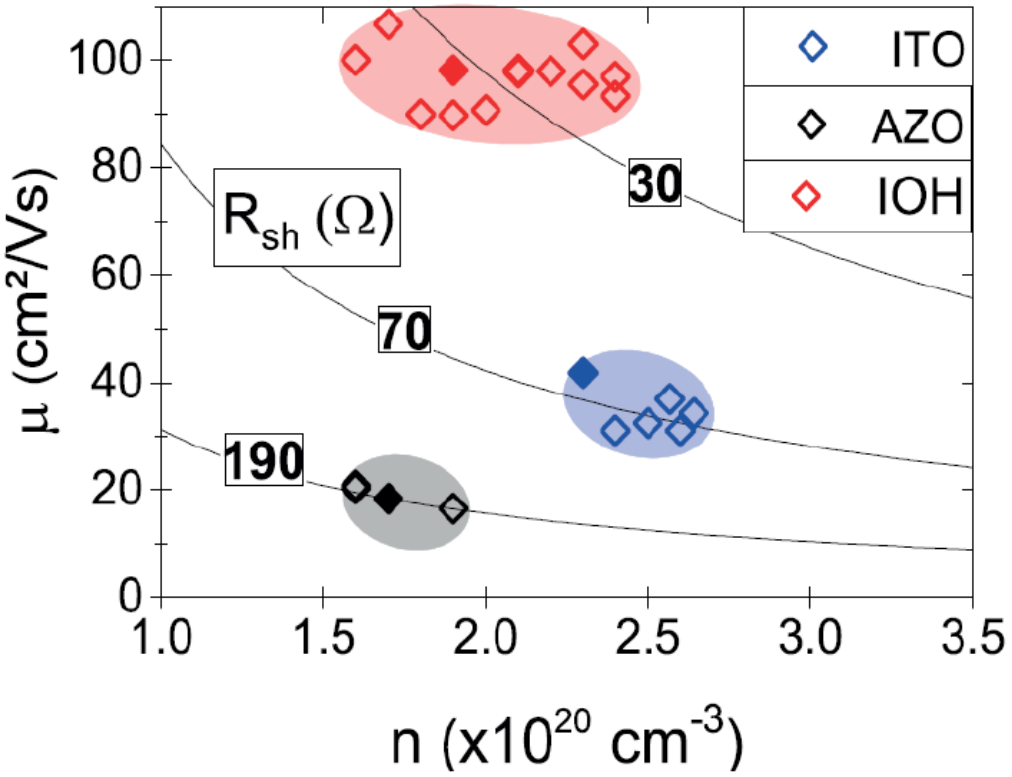
4 cm² cells

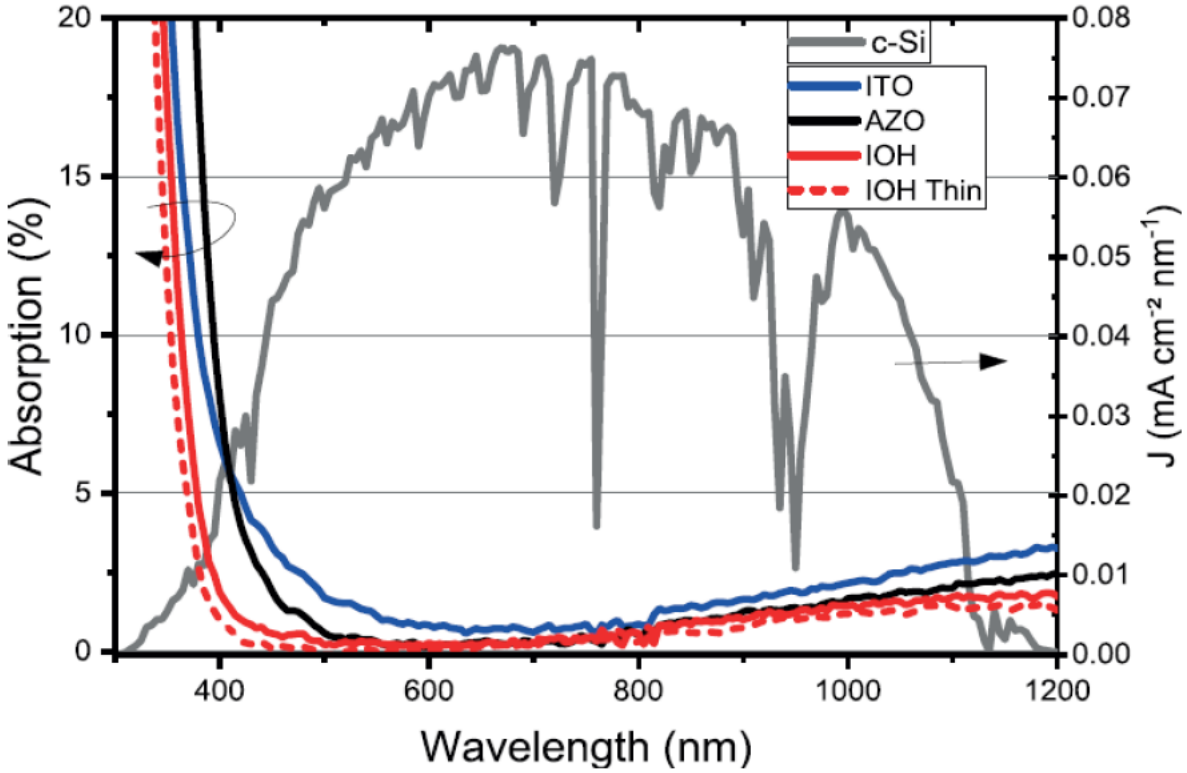


η = 23,5 %, certified



# Status TCO für SHJ-Solarzellen @ PVcomB



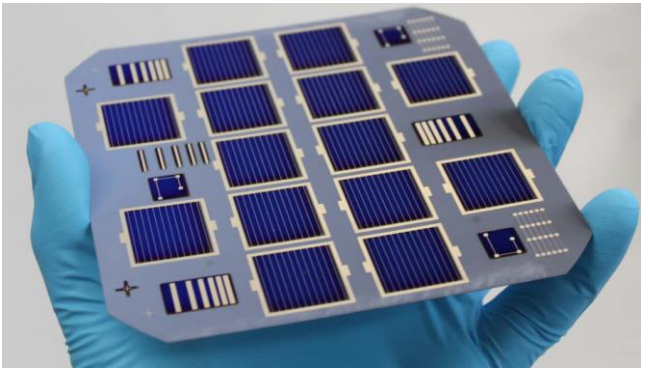

- Anwendung als Front-TCO in SHJ-Solarzelle
- Zudem Simulation der Ergebnisse

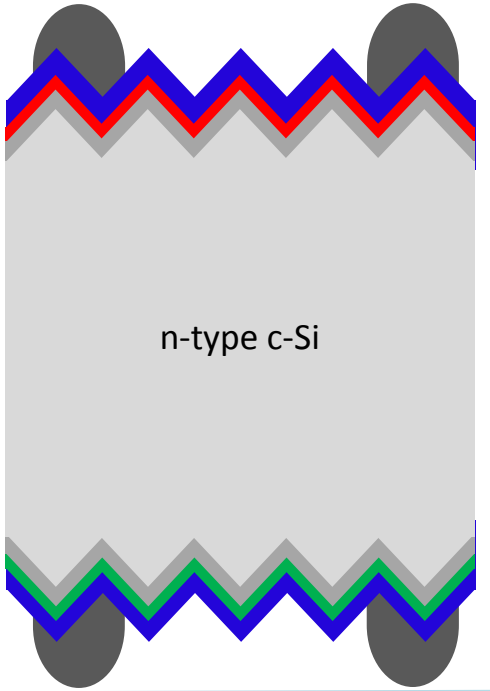
A. Cruz *et al.*, Solar Energy Materials & Solar Cells 195 (2019) 339–345

# Kreuzexperiment mit Von Ardenne GmbH

| | |
|---|---|
| HZB | ▪ Bereitstellen von SHJ Solarzellen (ohne Front-TCO und Ag-Grid)<br>▪ Herstellen von SHJ Referenz Solarzellen |
| Von Ardenne | ▪ Test verschiedener TCO Schichten als Front-TCO<br>▪ Hohe Abscheiderate, T > 100°C<br>▪ $In_2O_3$ Dopingvariationen: ITO, ITiO, Y (IO:X) |
| HZB | ▪ Fertigstellung und Analyse der Solarzellen |

Evaluierung der Solarzellen Parameter in Abhängigkeit des Front-TCOs von Von Ardenne






M. Dimer *et al.*, presented at EU-PVSEC Brussels 2018.

# Kreuzexperiment mit Von Ardenne GmbH

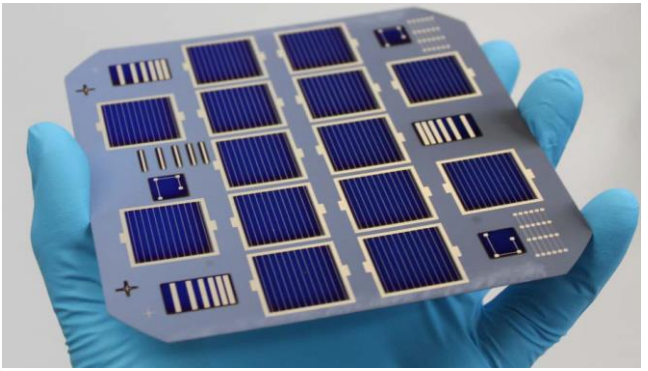
35th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition

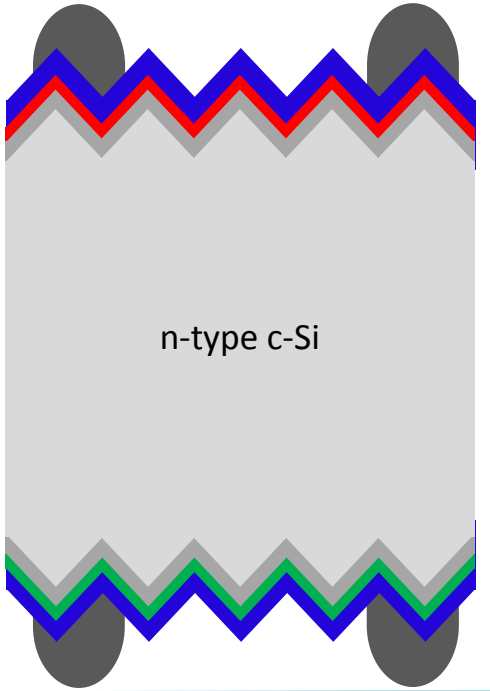
## HIGH MOBILITY TRANSPARENT CONDUCTIVE OXIDES FOR SILICON HETEROJUNCTION SOLAR CELLS DEPOSITED BY ROTATABLE MAGNETRONS

M. Dimer[1], A. Cruz[2], Er-Chien Wang[2], A.B. Morales-Vilches[2], J. Löhnert[1], U. Graupner[1], M. Thumsch[1], B. Stannowski[2], E. Schneiderlöchner[1]

[1]VON ARDENNE GmbH, Am Hahnweg 8, 01328 Dresden, Germany.
[2]Helmholtz-Zentrum Berlin, PVcomB, Schwarzschildstr. 3, 12489 Berlin, Germany.

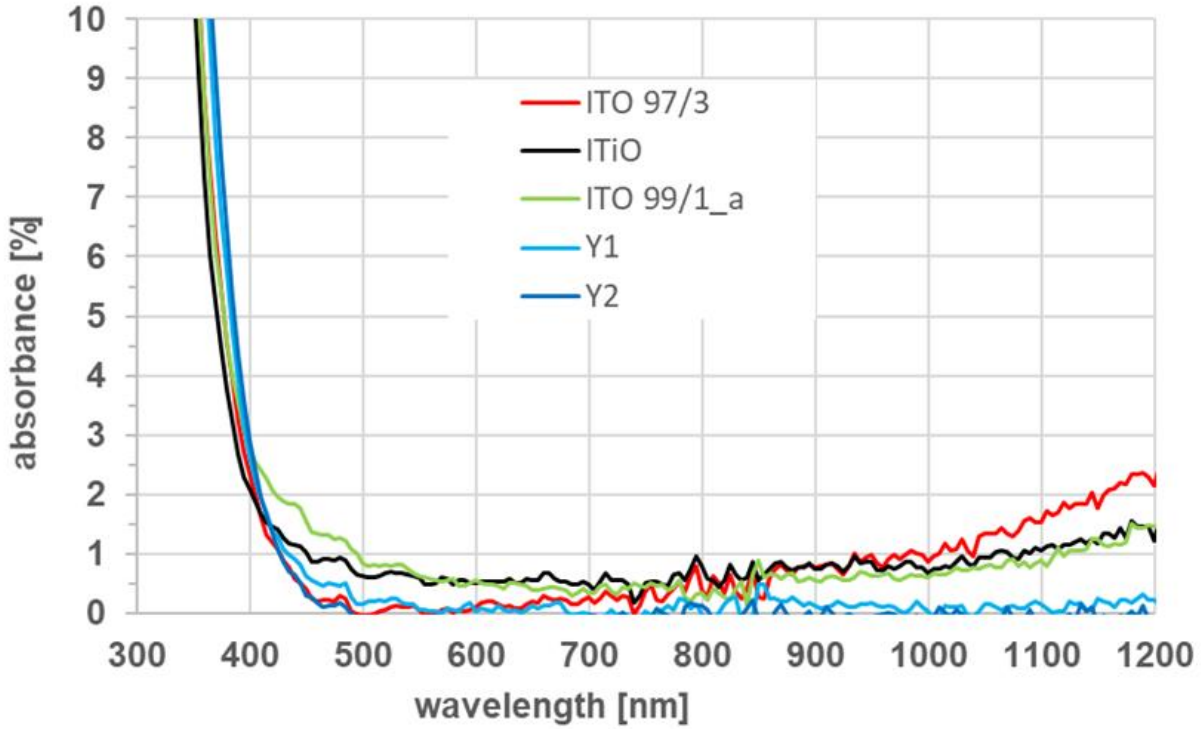
ABSTRACT: Sputtered indium tin oxide (ITO) is a widespread used material for application as transparent conducting oxide as the front contact of rear-junction silicon heterojunction solar cells. Standard ITO films suffer from too high parasitic absorption in both the short- and the long-wavelength range. The aim of this contribution is to investigate lower absorbing TCOs deposited with industrial DC sputtering from rotatable targets. High $V_{oc}$ values >735 mV demonstrate that in spite of the high-power industrial DC sputter process no significant sputter damage is observed, independent of the target material. Cell efficiencies up to 23.3% are obtained with titanium-doped (ITiO) and tin-doped indium oxide (ITO 99/1). The highest short circuit current values of 39.6 mA/cm$^2$ are reached with an ultimately low-carrier and high-mobility indium-oxide-based material. The cell efficiency in this case, however, is over-compensated by a too low FF, mostly due to a higher contact resistivity and TCO sheet resistances. We ascribe this effect to the very low carrier concentration.






M. Dimer *et al.*, presented at EU-PVSEC Brussels 2018.

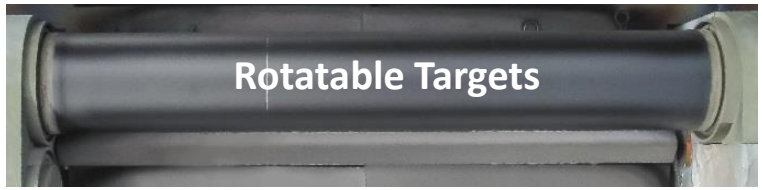
# Kreuzexperiment mit Von Ardenne GmbH – TCO Charakterisierung




| | ITO 97/3 | ITiO | ITO 99/1 | Y1 | Y2 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\mu_{Hall}$ ($cm^2/Vs$) | 57 (57) | 76 (79) | 65 (69) | 84 (89) | 79 (79) |
| $N_e$ ($1E20\ cm^{-3}$) | 2.7 (2.7) | 2.2 (2.0) | 1.8 (1.8) | 1.3 (0.9) | 1.1 (0.7) |
| $R_{sheet}$ ($\Omega$) | 41 (42) | 34 (36) | 47 (45) | 51 (71) | 68 (136) |

In Klammern: Nach Tempervorgang: 200°C, 30 min

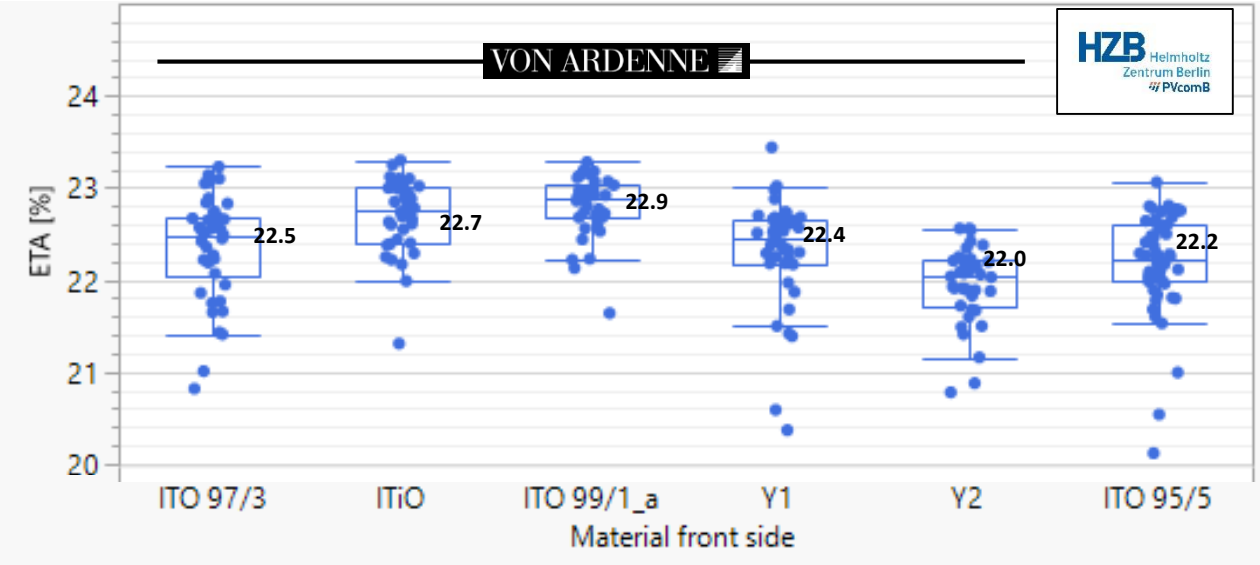
Abscheidung:




Analyse der TCO Schichten auf Glas

M. Dimer *et al.*, presented at EU-PVSEC Brussels 2018.

# Kreuzexperiment mit Von Ardenne GmbH – Solarzellen



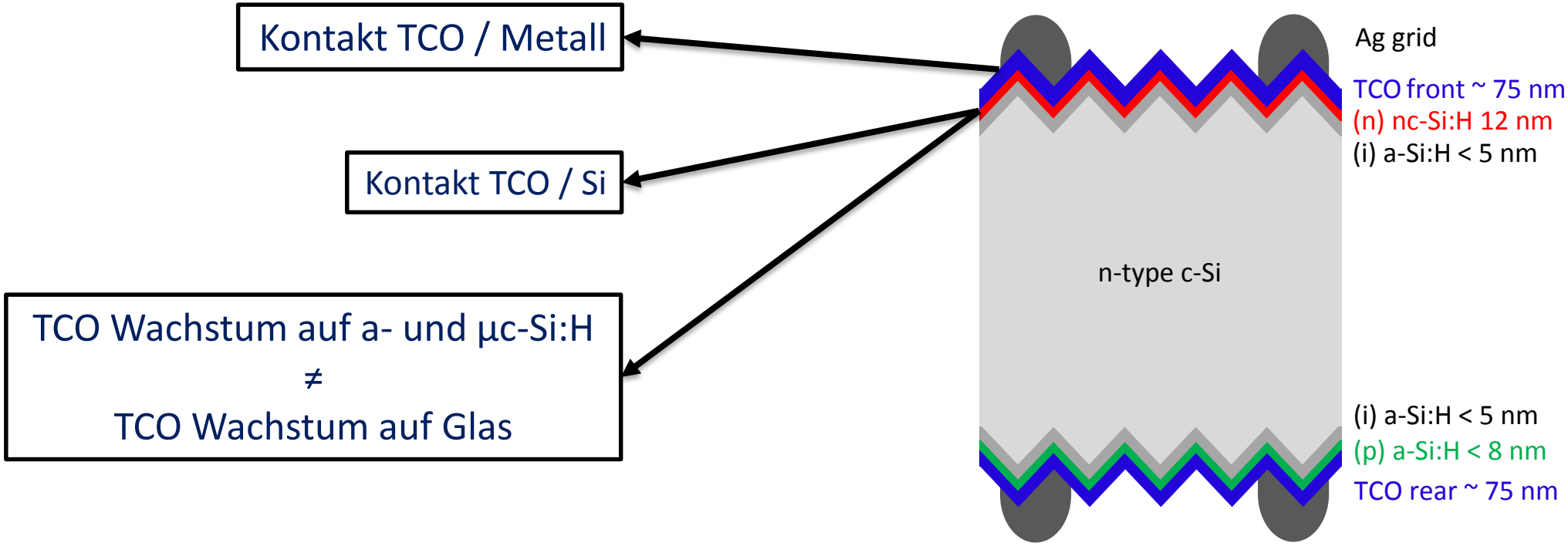

- ITiO und ITO 99/1
  - höchste Effizienz und Füll Faktor
- Alle Materialien
  - $V_{oc}$ ~ 735 – 740 mV

  → Keine Schäden durchs Sputtern
- $In_xO_y$ basierte Materialien Y1, Y2
  - Höchste $J_{sc}$ Werte
  - Geringer Füll Faktor

    → TCO / Si Kontaktprobleme

M. Dimer *et al.*, presented at EU-PVSEC Brussels 2018.

# Kreuzexperiment mit Von Ardenne GmbH – weitere Schwerpunkte



Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

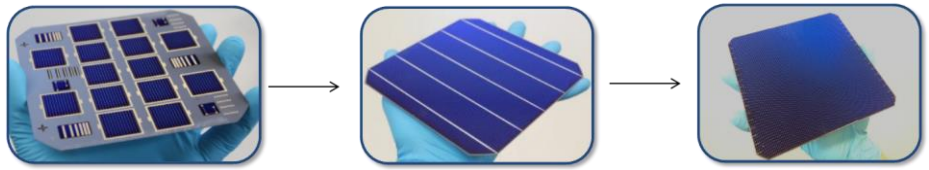
# Nationales Project DYNASTO

HZB Helmholtz Zentrum Berlin PVcomB

## Teilvorhaben: Entwicklung des vorderseitigen Kontaktsystems

VON ARDENNE

- Entwicklung kostengünstiger & stabiler TCOs für Hoch-Effizienz SHJ Solarzellen
- 6“ SHJ Solarzellen mit 24 % Wirkungsgrad



HZB Helmholtz Zentrum Berlin PVcomB

PI Photovoltaik Institut Berlin

- Modulfertigung und Langzeitstabilitäts-Tests
- Massenfertigungstaugliche in-line Charakterisierungsmethode für TCO (auf texturiertem Wafer)

NXT

# Zusammenfassung

- Industrielle Prozessentwicklung
  - TCO Abscheidung auf bis zu 30 x 60 $cm^2$ möglich
  - Verschiedene TCOs verfügbar (ITO, IOH, ZnO, …)
  - SHJ Solarzellen auf bis zu 6 Zoll Wafern möglich

- PVcomB als Kooperationspartner
  - Langjährige Erfahrung in Zusammenarbeit mit industriellen Partnern und Instituten
  - Bereitstellung und Charakterisierung von Proben
  - Beratende Funktion

Technologietransfer von der akademischen Forschung zu industriell kompatiblen, relevanten und tragfähigen Technologien !

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!