centrotherm

Förderprojekt Olivia

Abschlussvortrag im PV-Dialog



Projekt Olivia – technische Daten

- **2-Jahres Projekt** 01.03.2024 – 31.08.2026, kostenneutral verlängert
- **Folgeprojekt** von Popei, 01.05.2021 - 30.04.2023
- **Gesamtbudget** 3.45 M€, Fördersumme 2.5 M€ 1.725 M€ p.a. = **klassisches Großprojekt**

- **Verteilung**
  - ISFH 21%
  - centrotherm 20%
  - RENA 18%
  - ISC Konstanz 17%
  - FhG ISE 15%
  - Uni Konstanz 9% + Datensicherung

6 Geförderte Partner: centrotherm (Koordinator), ISFH, RENA, Universität Konstanz, ISC Konstanz, FhG ISE

2 Nicht geförderte Partner: LPKF, EnPV

Projekt Olivia - Arbeitsinhalte

Gewünscht

- Kostengünstige p-IBC Solarzellen < 4.5 US-ct/W_p
- Wirkungsgrad > 24.5%
- Fortführung vom Popei-Projekt
- Reduktion von Ag-Verbrauch
- Automatisierte Handhabung von Schattenmasken
- PECVD-Tunneloxid
- Weniger toxische Dotierstoffe
- Einseitige nasschemische Textur
- Nachweis der Langzeitstabilität von Solarzellen
- „schöne“ Solarzellen für BIPV
- PV-Produktion in Deutschland

Erreicht

- 3.17 €-ct/W_p + Kosten für Masken
- Erreicht und bestätigt durch ISFH CalTec
- Gelungen, nahezu vollendet
- - 25%
- Halterung und Handhabungskonzept
- **Ja – wichtig für alle aktuellen Projekte**
- Vorversuche – Umsetzung in neuen Projekten
- Ja + wichtige Erkenntnisse zu Additiven
- UVID – Stabilität für Schichten aus dem Projekt
- **Gelungen – hier und anderswo**
- Noch nicht

Herstellungssequenzen für Solarzellen (APs 2-4, 7, 9, 10)

- p-Typ Basismaterial Prozesse von Popei-Projekt weitergeführt

IBC Prozessfluss 1 (IBC1)	IBC Prozessfluss 2 (IBC2)	PERC Prozessfluss
1. Texturierung / Reinigung / TO	1. Texturierung	1. Texturierung / Reinigung
2. PECVD polySi	2. Politur / **HCl/O_3** Rückseite	2. Emitter Diffusion ($POCl_3$)
3. polySi-Anneal / FFE	3. **Lokale** PECVD ox/poly-Si	3. Laser Dotierung SE
4. Laserablation Basis	4. Thermischer Anneal	4. Kantenisolation / Reinigung
5. LDE / Reinigung	5. Passivierung Rücks. (AlOx/SiN)	5. Thermischer Anneal
6. Thermischer Anneal	6. ARC AlOx/SiN Vorderseite	6. Passivierung Rücks. (AlOx/SiN)
7. Passivierung Rücks. (AlOx/SiN)	7. Laseröffnung Basiskontakte	7. ARC SiN Vorderseite
8. ARC SiN Vorderseite	8. Siebdruck Kontakte	8. Laseröffnung Basiskontakte
9. Laseröffnung Basiskontakte	9. Kontaktsintern	9. Siebdruck Kontakte
10. Siebdruck Kontakte	10. IV-Messung	10. Kontaktsintern
11. Kontaktsintern		11. IV-Messung
12. IV-Messung		

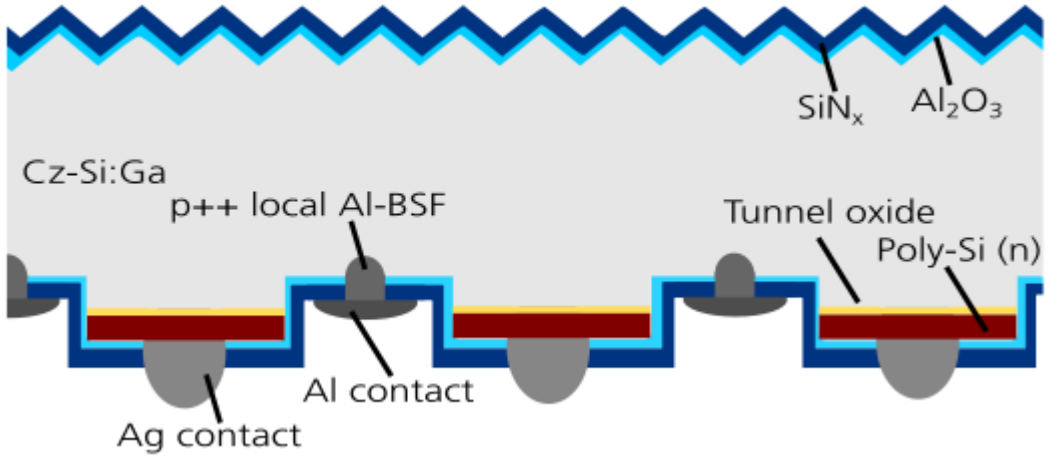
- n-Typ Basismaterial

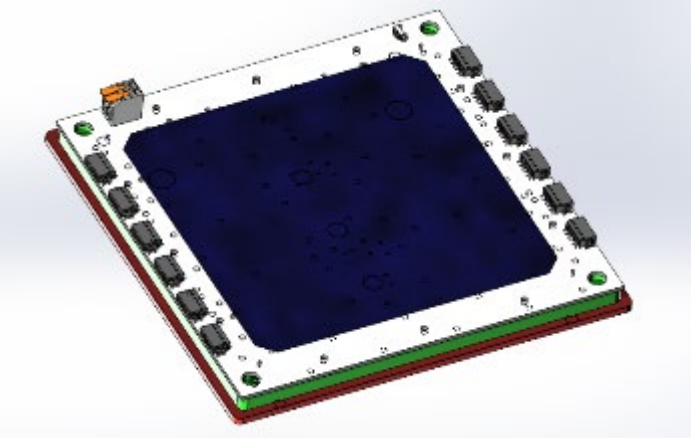
Industrieller TOPCon Prozess

1. Texturierung / Reinigung
2. Emitter Diffusion (BCl_3)
3. PSG-Entfernung
4. PECVD Tunneloxid + a-Si + Schutzoxid
5. Poly Anneal
6. Poly wrap around entfernen (Vorderseite)
7. Vorderseiten-Passivierung + ARC
8. Siebdruck Kontakte
9. Kontaktsintern + LECO + Lichtinduzierte H-Passivierung
10. IV-Messung

centrotherm

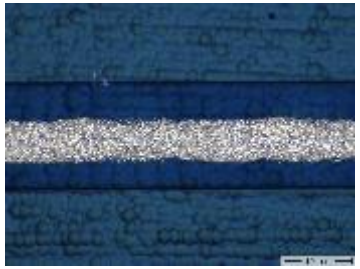
p-IBC 1 Zelle (APs 2-5)



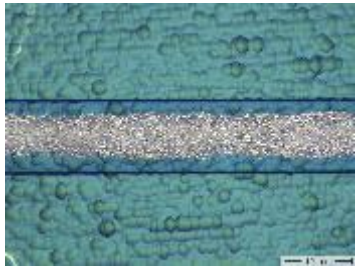


Herausforderungen

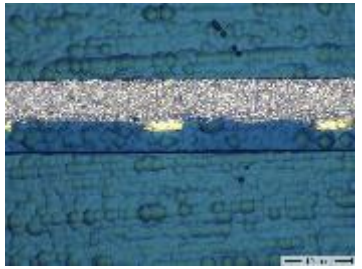
- Layout mit verringerten Strukturbreiten ✓
- Laseröffnung für Al-BSF Kontakte ✓
- Al-Siebdruck auf gelaserte Bereiche ✓
- Basisplatine für IV-Messplatz ✓
- Herstellung Minimodule … läuft noch
- Zuverlässigkeit Minimodule … läuft noch



300µm
Alignment ✓



200µm
Alignment ✓



200µm
Alignment ✗

Masken für lokale PECVD – Ideen für IBC 2

Horiboote – Labor

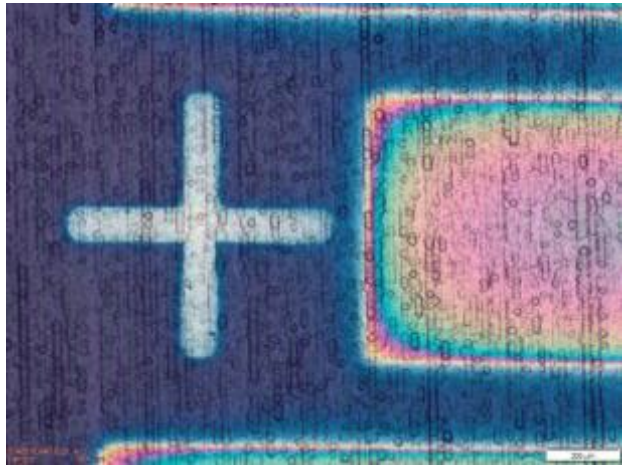
- Maske wird auf die Wafer gelegt



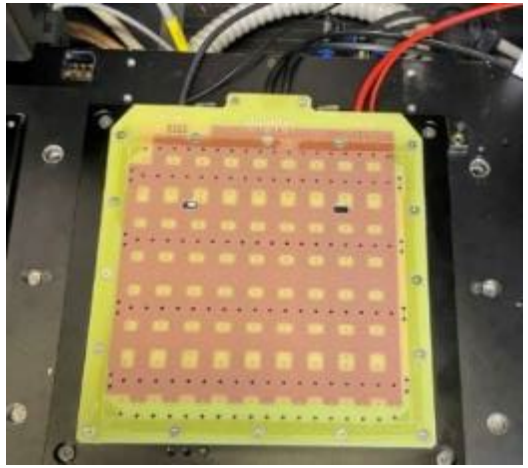
Vertikalboote – Produktion

- Pins halten Wafer und Maske als Paket

Fiducials



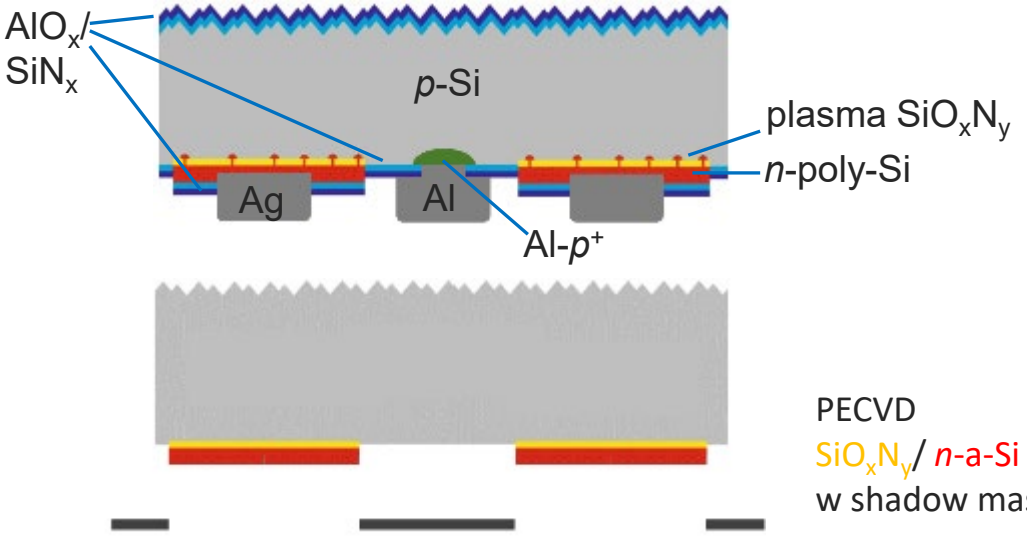
Chuck für CalLab



centrotherm

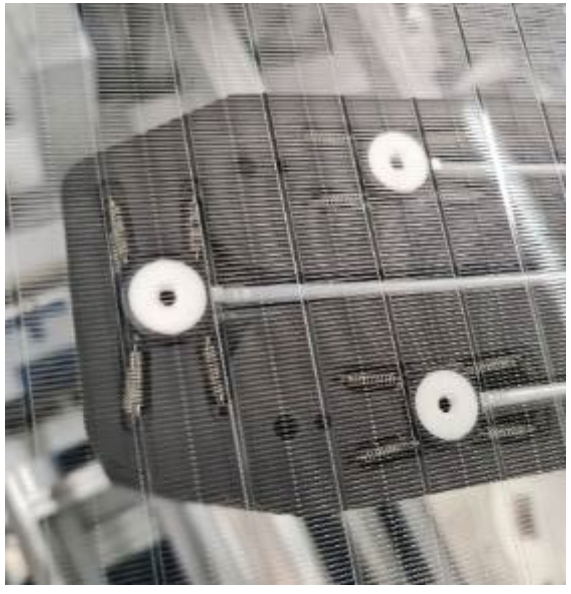
p-IBC 2 Zelle (APs 6-10)

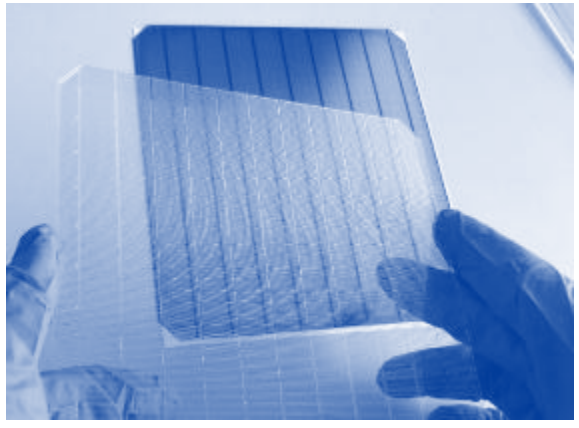
Zelle und Maske für lokale PECVD a-Si Beschichtung



PECVD
SiO_xN_y/ *n*-a-Si
w shadow mask

- Keine Kontamination des Cz Wafers[2]
- Mechanisch stabil[1]
- µm-genaue Umsetzung des Layouts[1,2]
- Unterwanderung der Maske < 10 µm[1]
- Hohe Abscheiderate durch die Maske[1]
- Siebdruckausrichtung an den Maskenstrukturen[3]
- Spezifikation einer automatisierten Maskenbeladung (Jonas&Redmann)

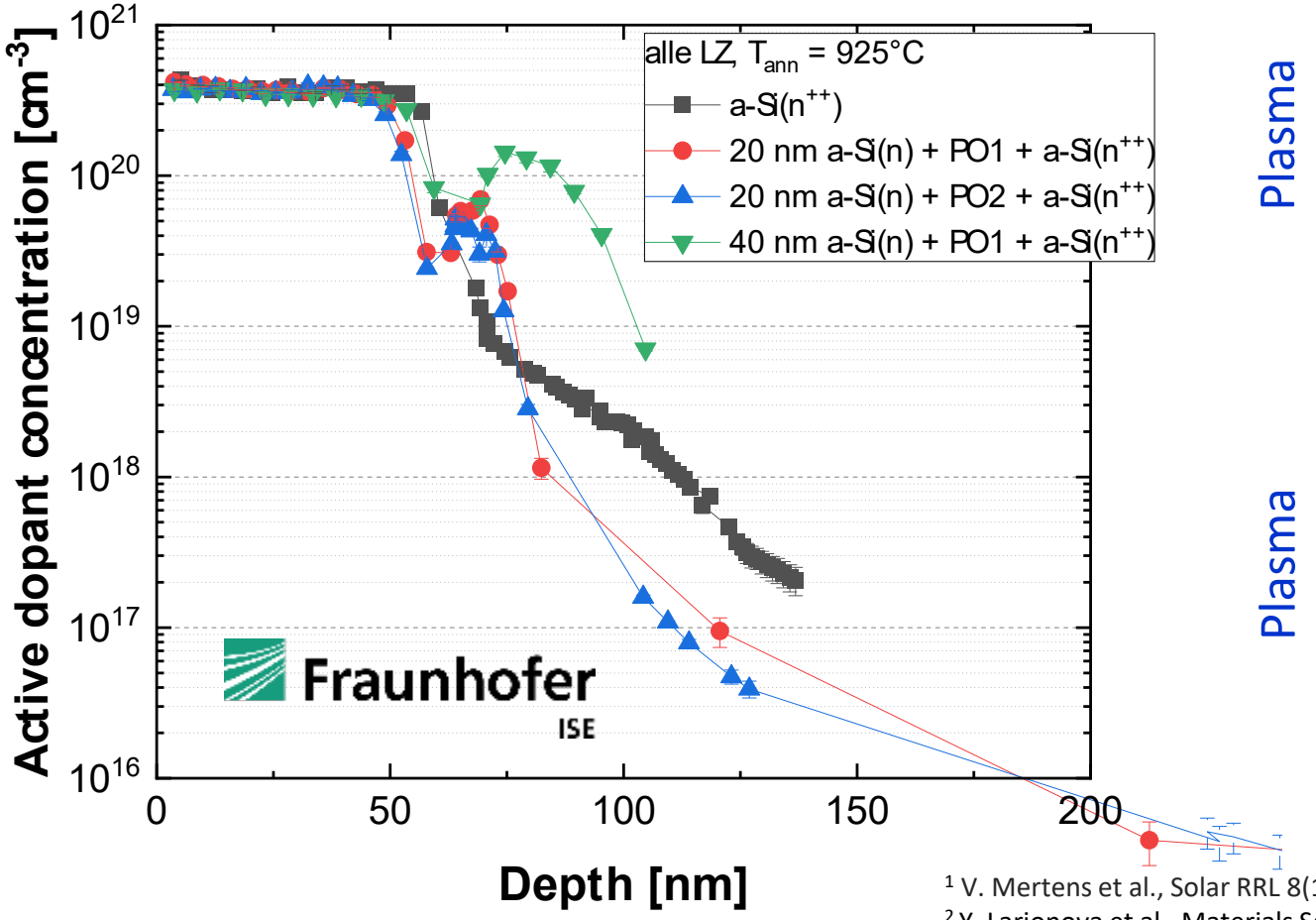




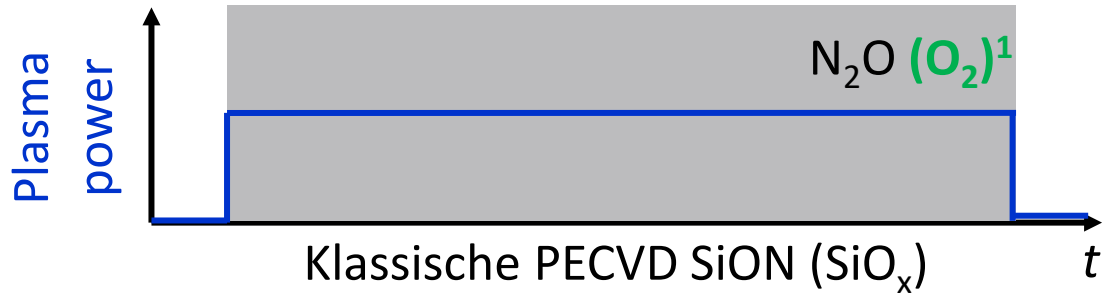
[1]M. Stoehr et al., EUPVSEC (2020), pp. 521 - 524
[2]V. Mertens et al., EUPVSEC (2021), pp. 135 – 139
[3]V. Mertens et al., presented at Back Contact Workshop, Munich (2022)

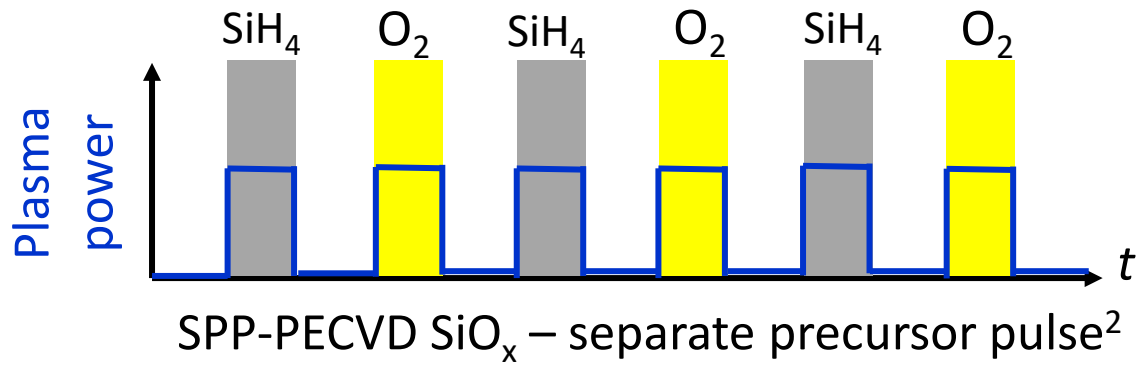
a-Si Entwicklung für alle TOPCon-Schichten (APs 1&2)

- Optimierung Dotierprofile, Zweischicht a-Si



- Optimierung PECVD Tunneloxide



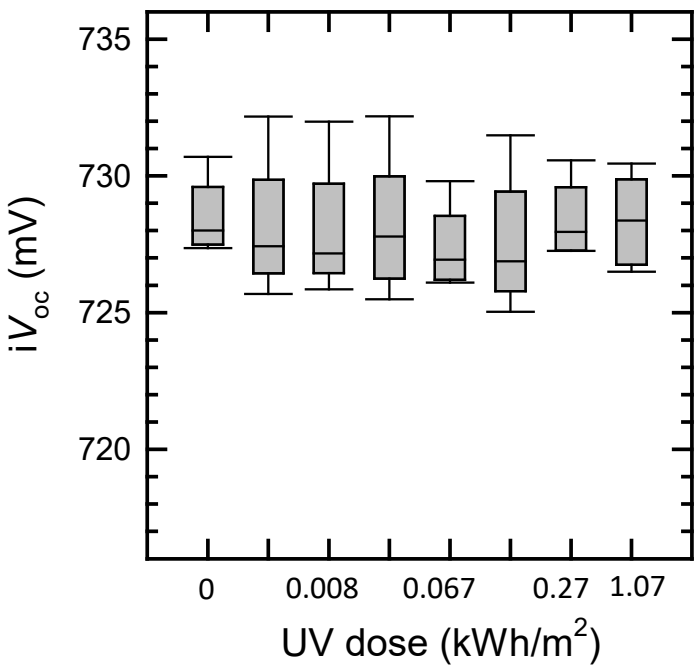


[1] V. Mertens et al., Solar RRL 8(12) 2024
[2] Y. Larionova et al., Materials Science in Semiconductor Processing 208 (2026) 110563

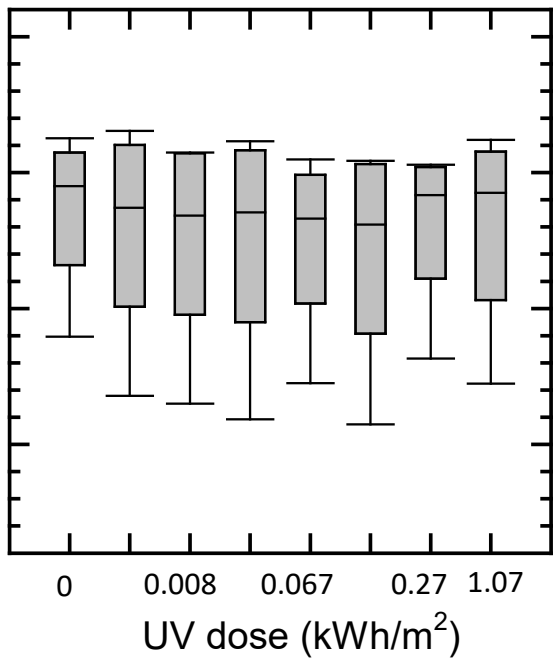
ISFH
centrotherm

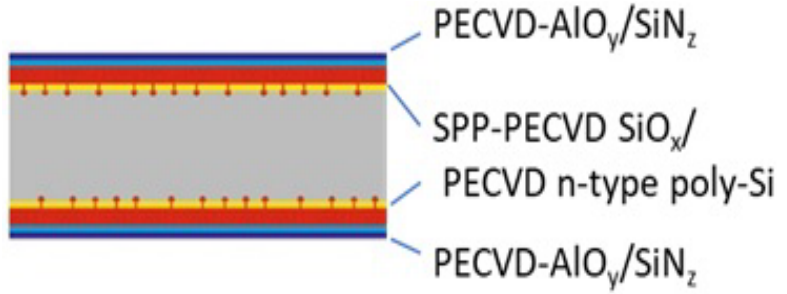
Nachweis der UV-Stabilität von SPP-Oxiden (AP 11)

SPP-PECVD SiO_x



PECVD SiON

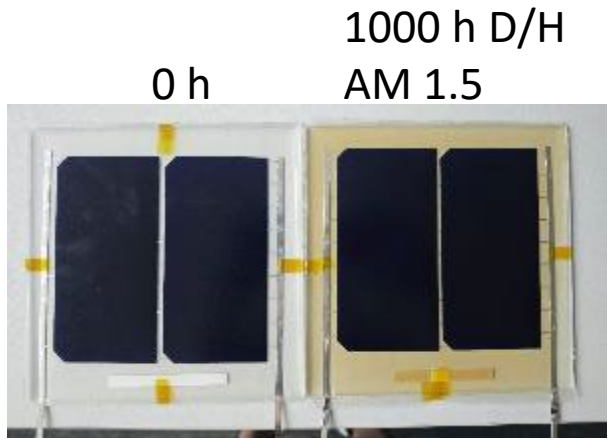


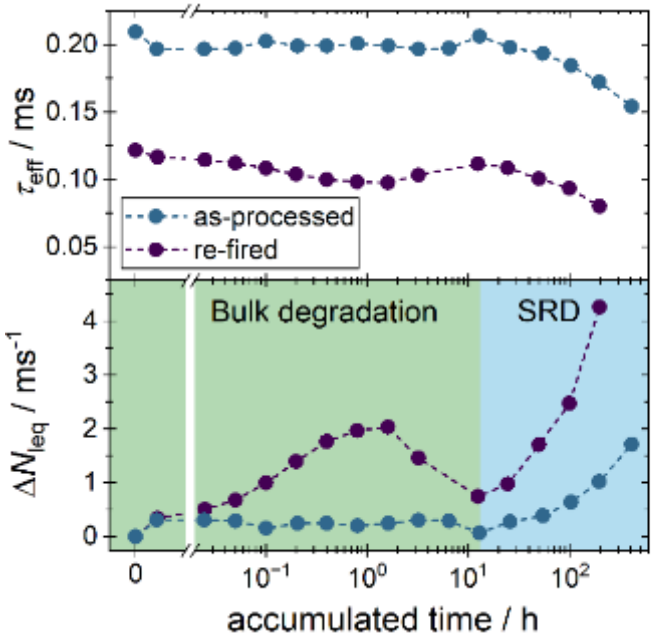


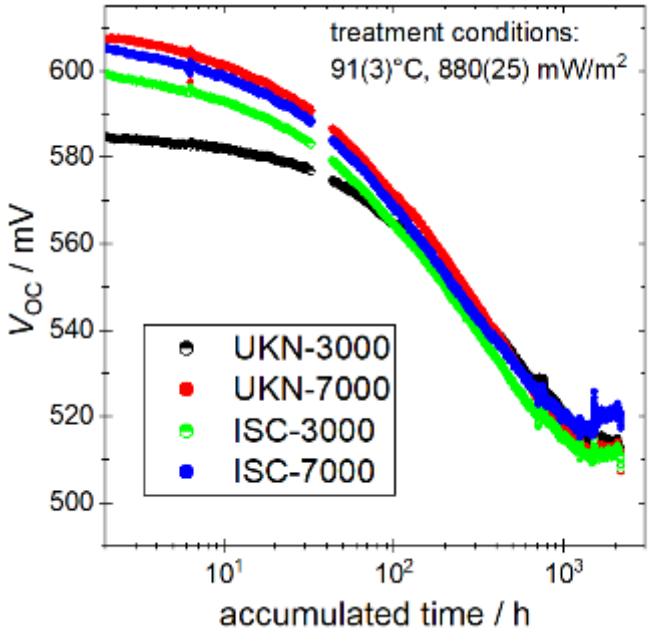
Die relevante UV-Dosis zum Nachweis ist noch nicht festgelegt.

Stabilität von Zellen und Minimodulen (AP 11)

- Einfluss des Feuerschritts
  - absichtlich 2x Feuern 👎
- Einfluss des Laminierschritts beeinflusst durch Feuerprozess
  - Langsam 👍 / schnell 👎
- Tests in der Klimakammer: noch nicht abgeschlossen







Universität Konstanz

Klassische a-Si PECVD Hardware-Prozessoptimierung (AP 1)

Schonung des klassischen Quarzrohres durch Liner – Vorbild: LPCVD

Quarz-Liner gebrochen
Titan-Liner erfolgreich
Umstellung auf
optimierte Ti-Liner



Rezepte

- Wafergröße M10 → G12R
  - Waferlänge +15% / Boothöhe + 10%
  - Bessere Ausnutzung der Zylinderkammer
  - Kein Mehrverbrauch
- Einschicht-Rezepte – Niedertemperatur 420°C
- Zweischicht-Rezepte – 450…480 °C
  - „Tunneloxid“ als Phosphorbarriere
  - Temperaturoptimierung für Liner
  - Niedertemperatur erste Tests erfolgreich
- Umstellung auf O_2-Tunneloxid läuft an

centrotherm

Große Industrieöfen (AP 1, AP 12)

PECVD - Produktionsanlage (Metallkammer)



Front ARC	7754 wafer/h
Rück ARC	8064 wafer/h
Rück a-Si	7754 wafer/h

a-Si mit O_2-Tunneloxid als neuer Standard

Diffusion und Annealing

$POCl_3$	7400 wafer/h
Oxidation	5500 wafer/h
LP-Anneal	6500 wafer/h



centrotherm

OLIVIA - Entwicklung neuer nasschemischer Prozesse (AP 8)

RENA-Additive

- Entwicklung eigener Additive (Oxidschutz / Ätzratensteigerung) für nasschemische Politur und Reinigung

→stärkt die Marktstellung durch die Kombination aus Anlagen + Additiven

Technologischer Vorsprung

- Additive sind sowohl für TOPCon-, wie IBC-Zellen nutzbar

→ bereit für zukünftige Generationen von Solarzellen

Integration in neue Anlagen

- Optimierte HF/HCl/O_3-Reinigungen führen zu Prozessverbesserungen und Kosteneinsparungen, welche in eine neue Generation von Anlagen implementiert werden

→ Potenzial für Verkäufe weltweit und gestärkte Marktposition im wachsenden TOPCon-/IBC-Segment

Zusammenfassung erreichte Meilensteine

- a-Si Prozess auf Metallkammer-Anlage transferiert und nachgemessen (MS 1.1)
- Dotiergas-Injektionssystem für klassische PECVD konstruiert und Betriebssicherheit bestätigt (MS 1.2) (keine Folie)
- Dotiergas-Injektionssystem für Metallkammer PECVD integriert und getestet (MS 1.3) (keine Folie)
- Spezielle Rückkontakt-Strukturen von ISC und ISE mit geringerer Breite (MS 3.1-3.3)
- Optimierte p-IBC 1 Zelle (MS 4.2)
- POLO-IBC Wirkungsgrad von **24,5 %** wurde erreicht (MS 9.1)
- Herstellungskosten des POLO-IBC Prozessflusses: **3.2 €ct/W_p** + Schattenmaskenkosten vs 4.2 €ct/W_p für TOPCon (auf Basis der Kostendaten von ISE) (MS 9.2)
- POLO-IBC Messblockentwicklung (MS10.1): günstiger PCB Chuck zertifiziert für ISFH CalTec
- ISFH Nachweis UVID-Tests von SPP

Zusammenfassung und Wirkungsgrade

- Olivia und Paris: Rückkontaktsolarzellen und deren Potenzial als Tandem-Trägerzellen
  - n-Typ Trägerzellen aus Industrie n-Typ TOPCon
  - p-Typ Trägerzellen aus Olivia
- Olivia = großes, industrienahes Projekt, großes Konsortium und breite Wissensbasis
- Paris = kleines, bilaterales Projekt für „Schaffer“: spezialisiert, wenig Organisationsaufwand, partnerschaftlich schnell vorankommen
- Was ist unser wichtigstes Ergebnis aus Olivia?

- Wirkungsgrade … p-Typ Laborzellen

Efficiency [%]	V_{oc} [mV]	J_{sc} [mA/cm²]	FF [%]
23.9	720	41.1	80.5
24.1*	723	40.8	81.5
24.5*	726	41.2	82.0

- iV_{oc} 742-744 mV entspricht J_0 = 2-3 fA/cm²
- Echte V_{oc} 715-725 mV bei p-Typ

centrotherm



centrotherm

centrotherm international AG
Württemberger Str. 31
89143 Blaubeuren
Germany
Tel +49 7344 918-0
Fax +49 7344 918-8388

www.centrotherm.de