
Hocheffiziente Silicium-Solarzellen durch Niederohmkontakte aus Silber und Glas

M. Eberstein, U. Partsch, A. Michaelis

Fraunhofer IKTS, Dresden, Germany



Gliederung

- Dickschichtpasten – eine Einführung
- Effizienzmaximierung durch moderne Pastenwerkstoffe
- Aspektverhältnis der Kontaktschicht: Pastenrheologie und Druck
 - Siebdruck
 - Koextrusionsdruck
 - Aerosoldruck
- Sintern der Kontaktschicht
 - Reaktionen am Interface zwischen Silberpaste und Silicium in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit
 - Phasentransport im Mikrogefüge der Paste
- Zusammenfassung



Gliederung

- Dickschichtpasten – eine Einführung
- Effizienzmaximierung durch moderne Pastenwerkstoffe
- Aspektverhältnis der Kontaktschicht: Pastenrheologie und Druck
 - Siebdruck
 - Koextrusionsdruck
 - Aerosoldruck
- Sintern der Kontaktschicht
 - Reaktionen am Interface zwischen Silberpaste und Silicium in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit
 - Phasentransport im Mikrogefüge der Paste
- Zusammenfassung

Was sind Dickschichtpasten?



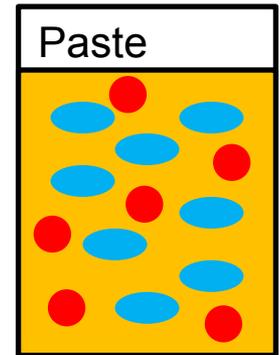
Glas,
Wirkphasen,
Additive



Lösungs-
mittel,
Polymer



Dispergierprozess



Anforderungen an Dickschichtpasten

Druck

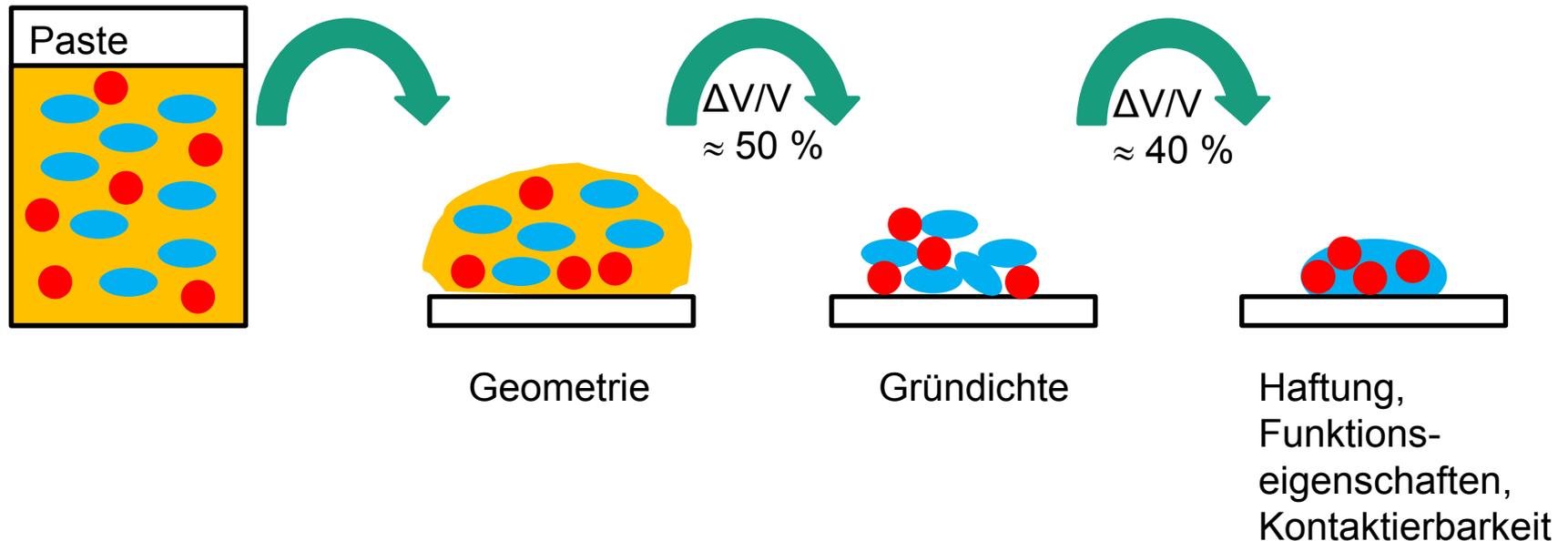
- Rheologie, Relaxationsverhalten
- Verfahren

Trocknung

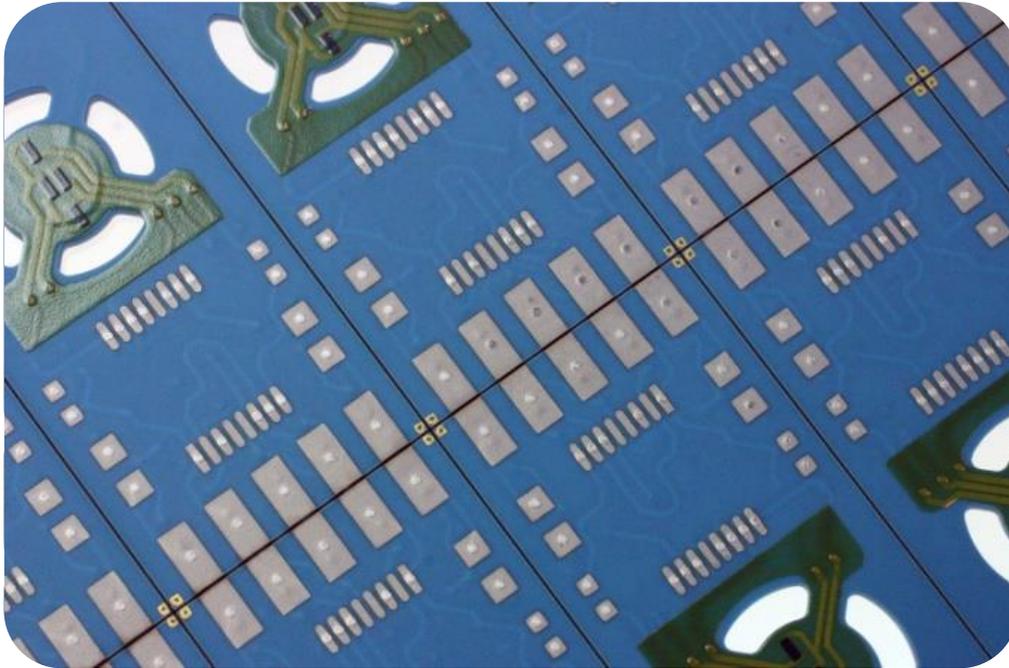
- Lösungsanteil
- Verdampfungsgeschwindigkeit.

Sinterung (z.B. 850°C)

- Temperatur
- Zeit
- Atmosphäre



Typical Applications of Thick-Film and Multilayer Technology



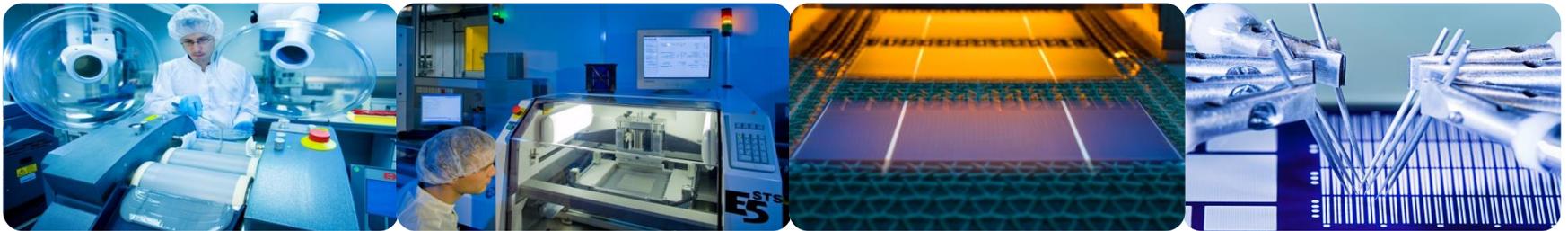
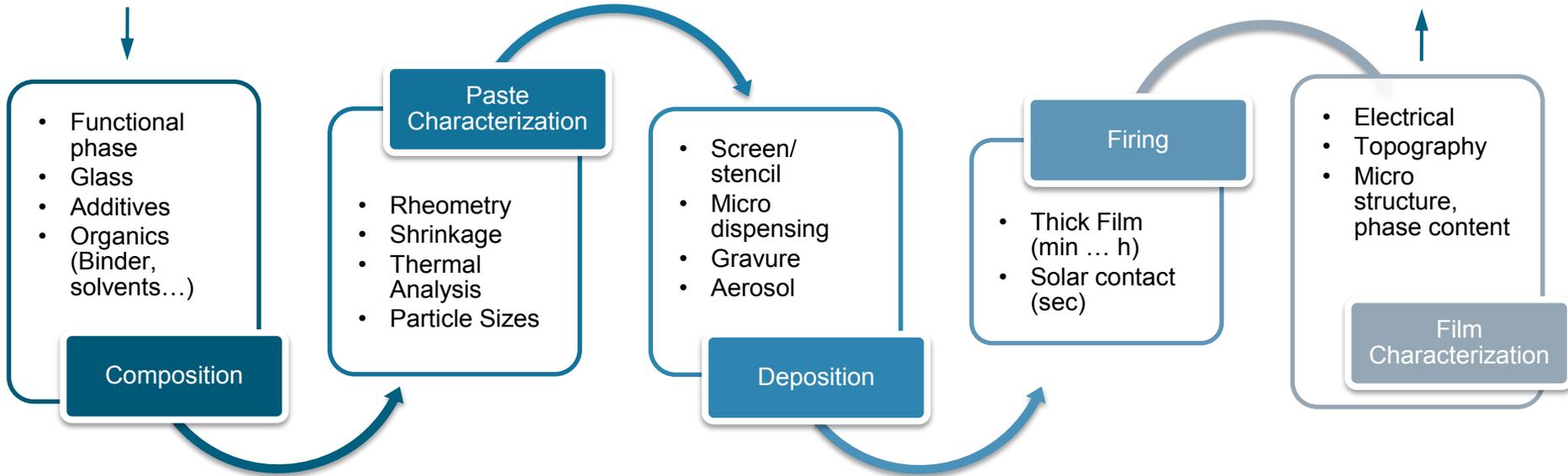
source: IKTS

- thermische und mechanische Stabilität, Robustheit, Zuverlässigkeit
- Variable physikalische Eigenschaften
- Hohe Selektivität durch flexible Abscheidemöglichkeiten
- hoher Integrationsgrad, komplexe 3D-Architekturen
- Kostengünstige Fertigung über Mehrfachnutzen

Group Thick Film Technology, Photovoltaics

Paste Development, Manufacturing and Characterization

Functional Requirements

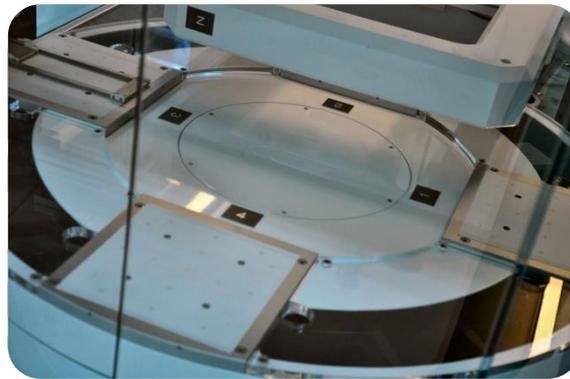


Group Thick Film Technology, Photovoltaics @ IKTS

Photovoltaics – PV Pilot line (10 MW)

- PV-pilot line (Cooperation R&R)
 - Texture etching/ saw damage removal (alkaline/ acid)
 - P-doping, PSG removal
 - ARC deposition
 - FS, BS metallization, firing
 - Edge isolation
 - Test, sorting
 - + BS- passivation, Laser processing, alternative printing technologies ...

- Cell concepts: standard, selective emitter, PERC

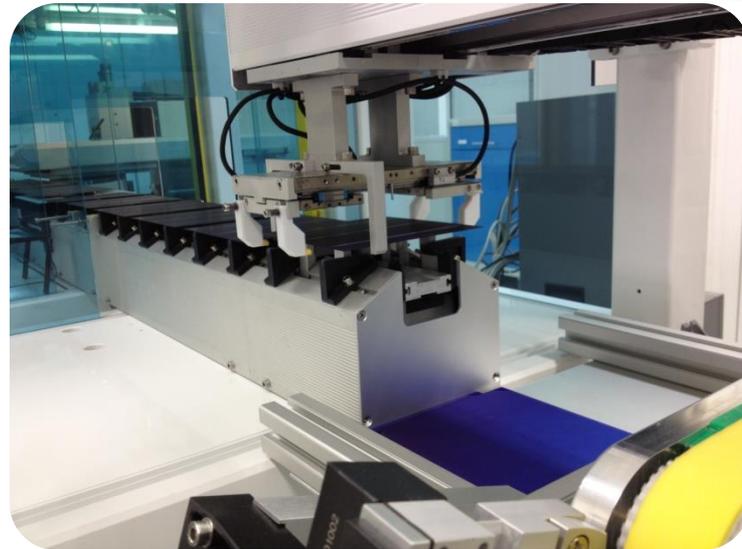


Group Thick Film Technology, Photovoltaics @ IKTS

Photovoltaics – PV Pilot line (10 MW)



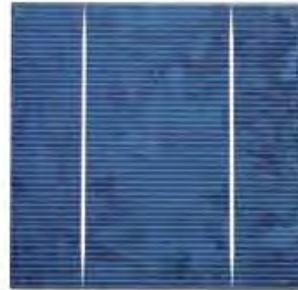
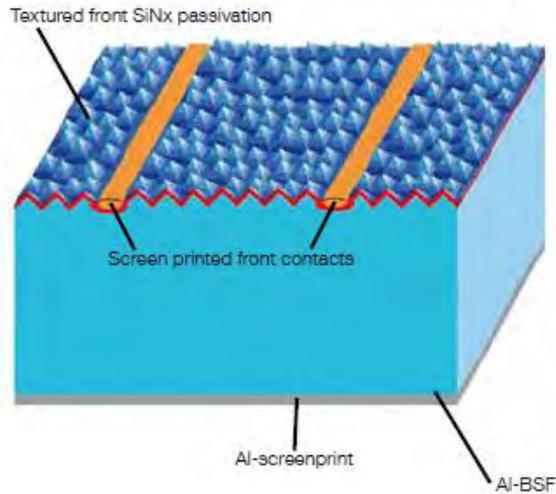
IKTS Paste PV440 (PbO): 16.9 %
multicrystalline wafer 60Ω/sq-emitter



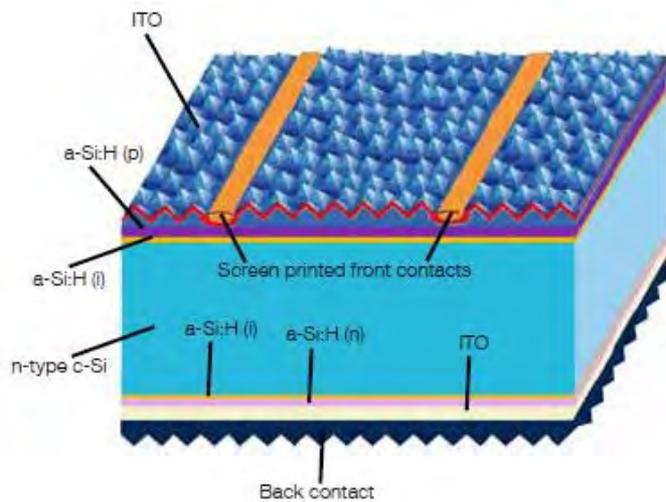
Gliederung

- Dickschichtpasten – eine Einführung
- Effizienzmaximierung durch moderne Pastenwerkstoffe
- Aspektverhältnis der Kontaktschicht: Pastenrheologie und Druck
 - Siebdruck
 - Koextrusionsdruck
 - Aerosoldruck
- Sintern der Kontaktschicht
 - Reaktionen am Interface zwischen Silberpaste und Silicium in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit
 - Phasentransport im Mikrogefüge der Paste
- Zusammenfassung

Moderne Zellkonzepte (Quelle: Roth&Rau)



■ Effizienzen > 16 %



Front Side

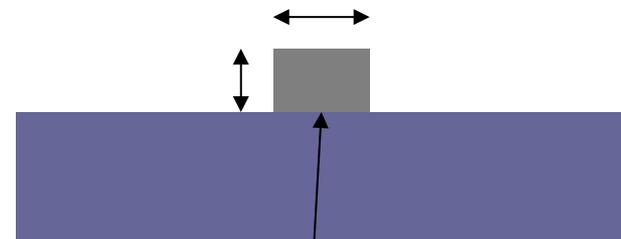


Back Side

■ Effizienzen > 20 %

Kristalline Standardzelle, Effizienzmaximierung

Aspektverhältnis der Kontaktschicht
→ neue Drucktechnologien!

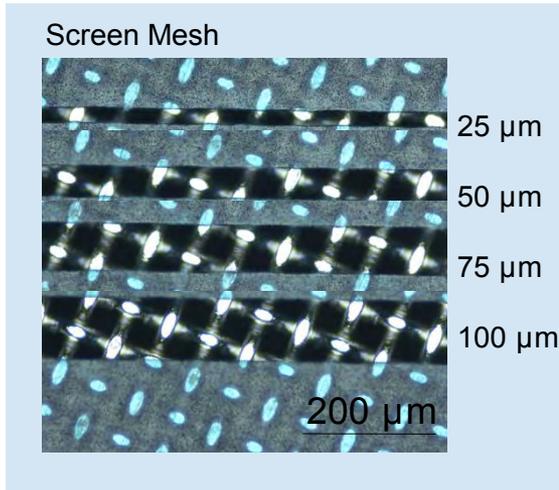


elektrischer Widerstand
der Kontaktschicht
→ neue Werkstoffe!

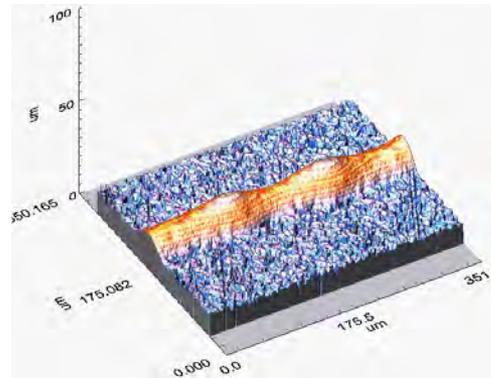
Gliederung

- Dickschichtpasten – eine Einführung
- Effizienzmaximierung durch moderne Pastenwerkstoffe
- Aspektverhältnis der Kontaktschicht: Pastenrheologie und Druck
 - Siebdruck
 - Koextrusionsdruck
 - Aerosoldruck
- Sintern der Kontaktschicht
 - Reaktionen am Interface zwischen Silberpaste und Silicium in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit
 - Phasentransport im Mikrogefüge der Paste
- Zusammenfassung

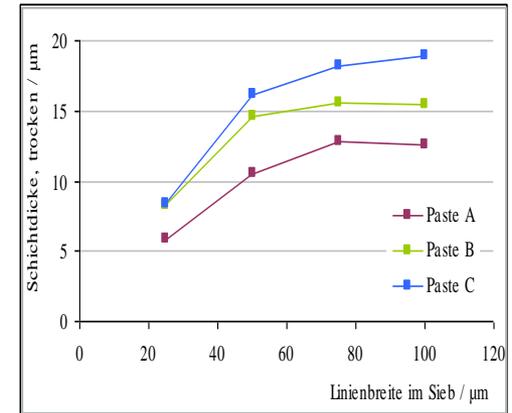
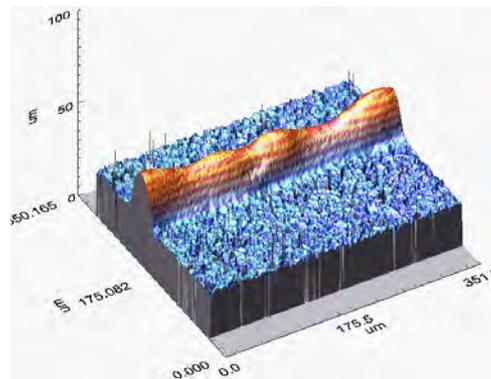
Fineline-Siebdruck



50 µm line, single print

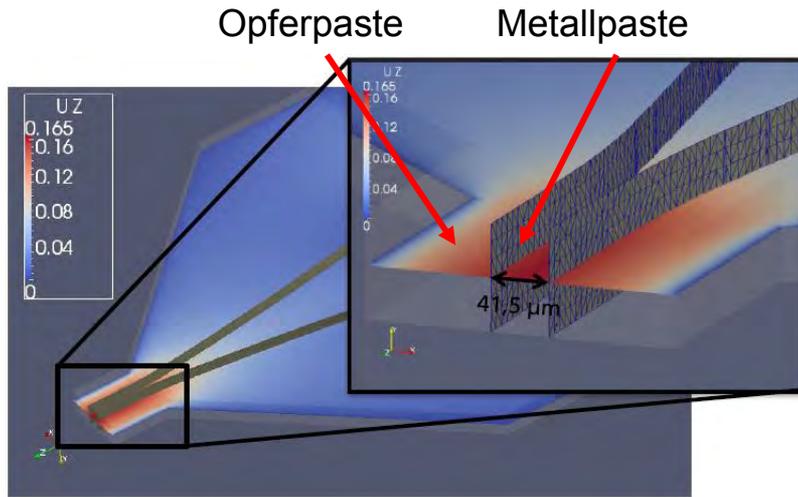


50 µm line (double print)

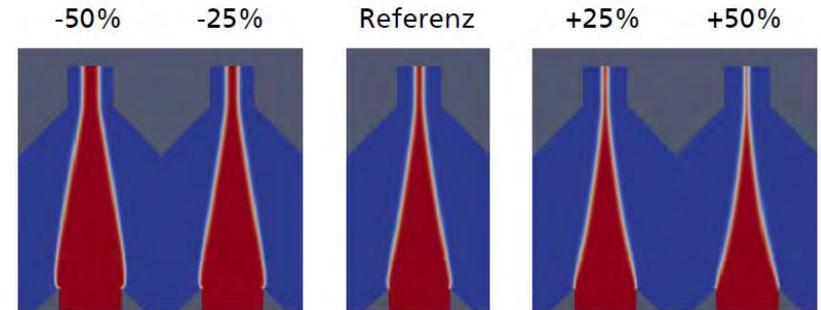


- Geringe Partikelgrößen
- Geeignete Emulsion am Sieb, geringe Fadenstärken
- Einfachdruck bis 25µm
- Doppeldruck für höhere Aspektverhältnisse

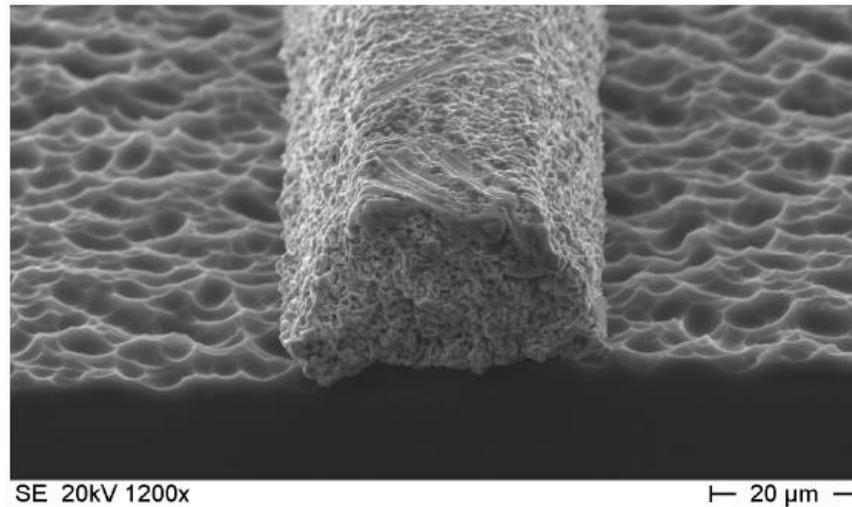
Koextrusionsdruck



Variation Viskosität Metallpaste



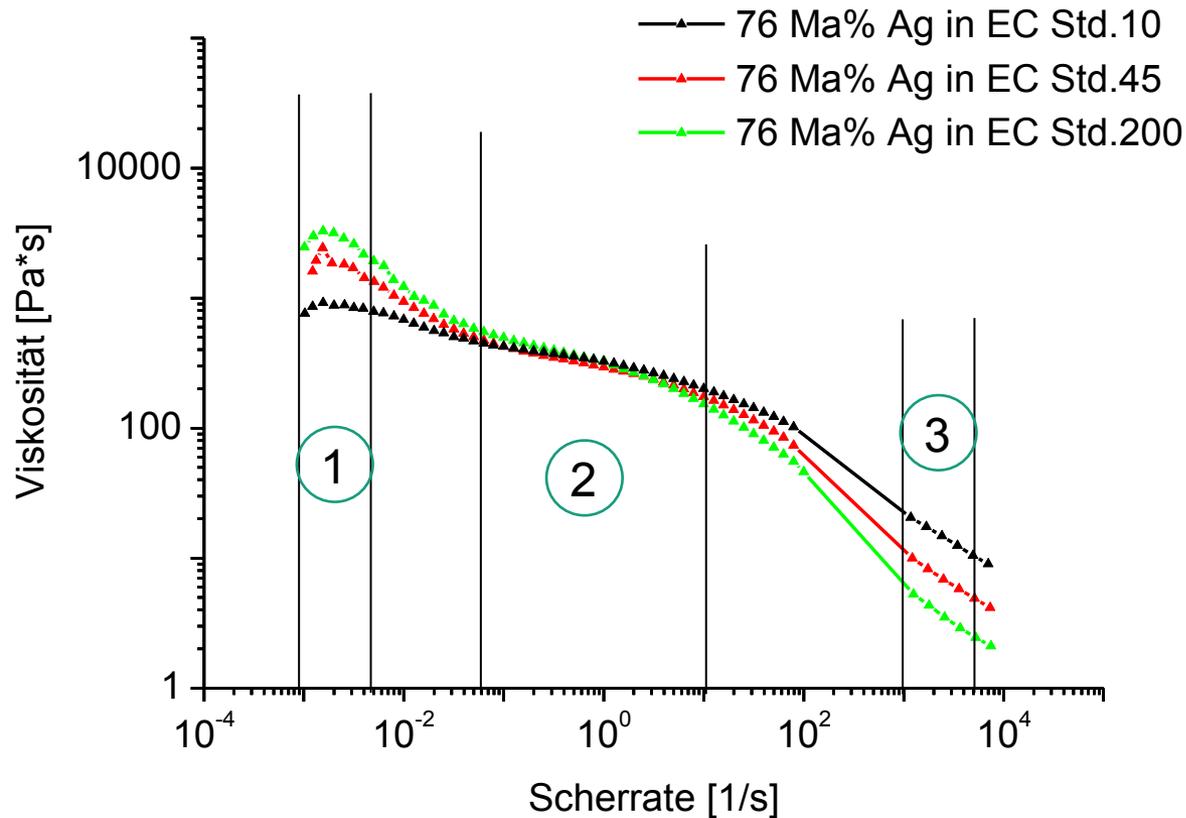
SWIN GmbH



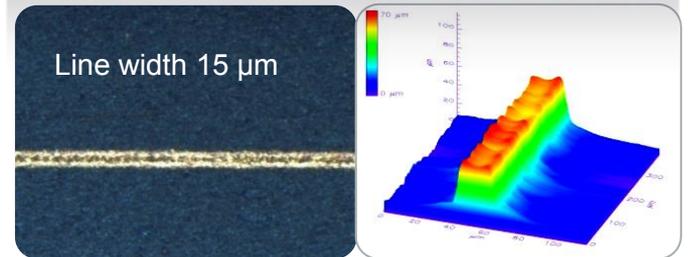
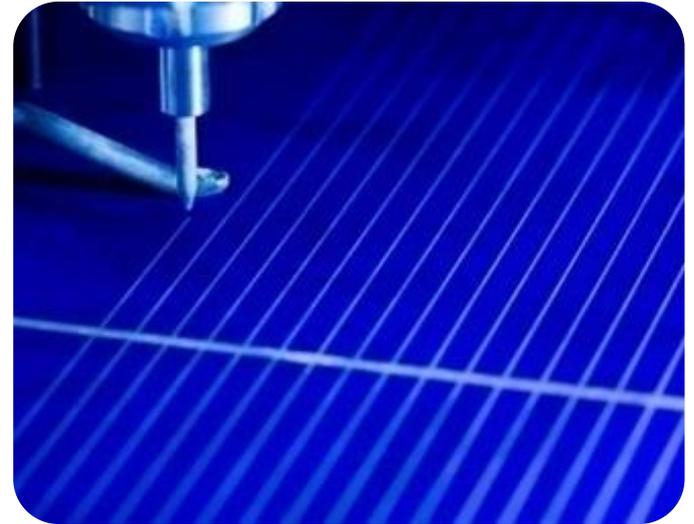
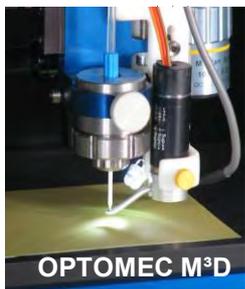
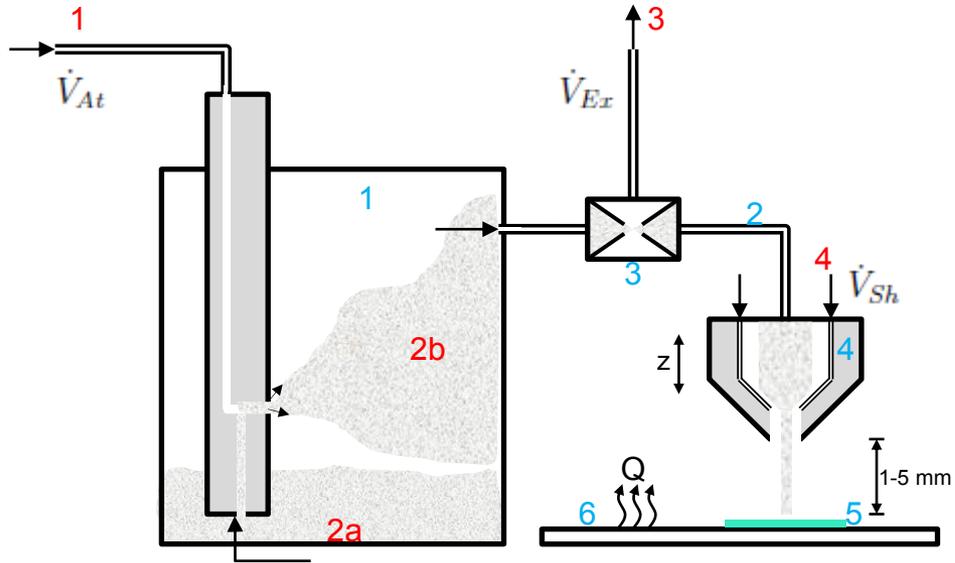
Variation Polymer-Kettenlängen / FSG

Extrusions-Silberpasten – 76 Ma% Feststoffgehalt

Rheometer-Messung (Kegel-Platte & Kapillarr.) @ 22 °C



Aerosoldruck



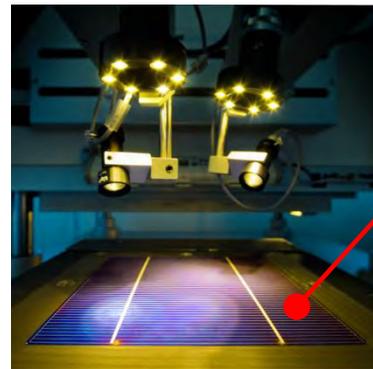
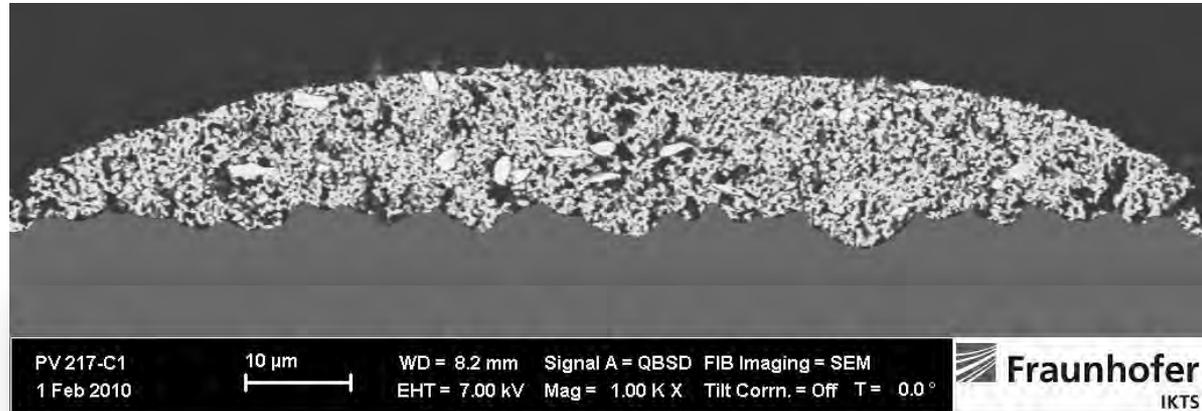
Gliederung

- Dickschichtpasten – eine Einführung
- Effizienzmaximierung durch moderne Pastenwerkstoffe
- Aspektverhältnis der Kontaktschicht: Pastenrheologie und Druck
 - Siebdruck
 - Koextrusionsdruck
 - Aerosoldruck
- Sintern der Kontaktschicht
 - Reaktionen am Interface zwischen Silberpaste und Silicium in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit
 - Phasentransport im Mikrogefüge der Paste
- Zusammenfassung

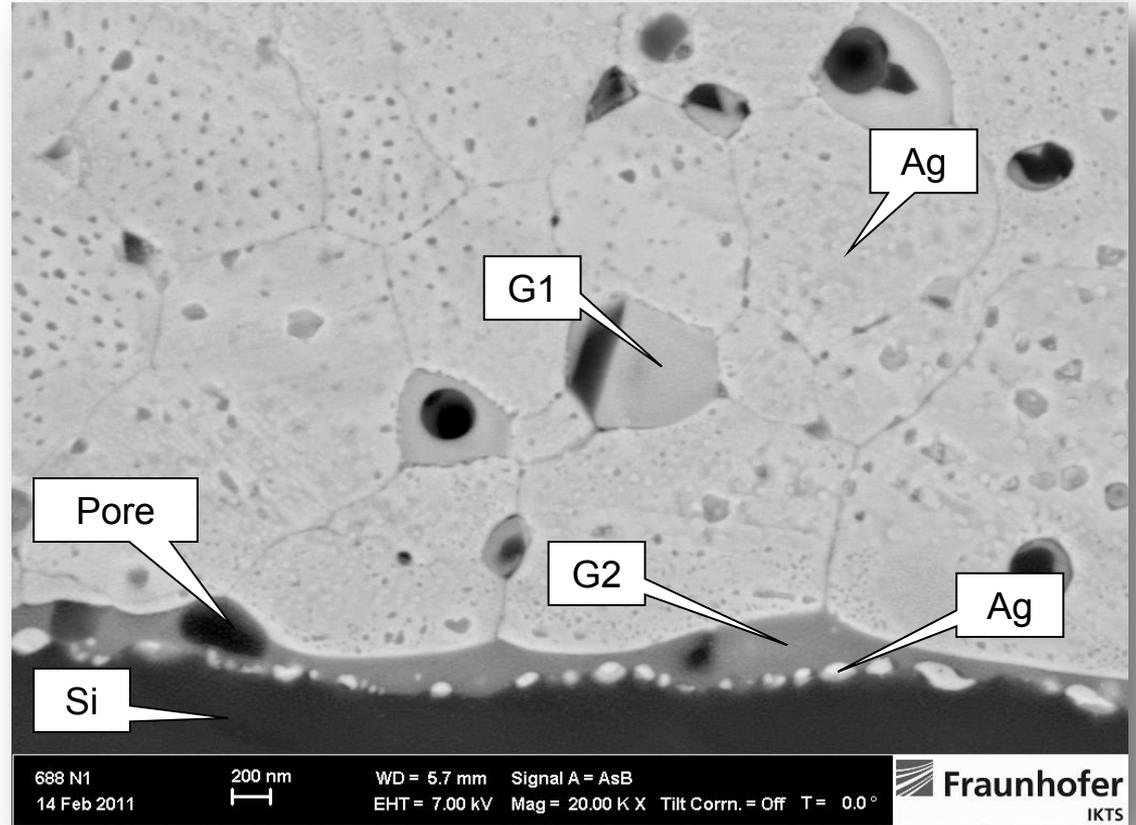
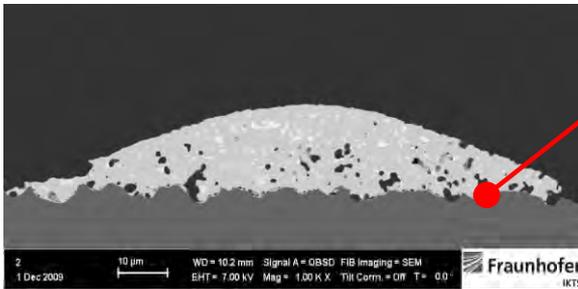
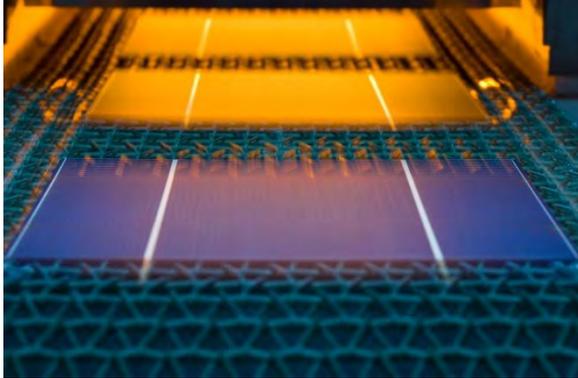
time dependence of reactions at the paste/wafer interface



Cross section of a printed Front Side paste (FIB-preparation)

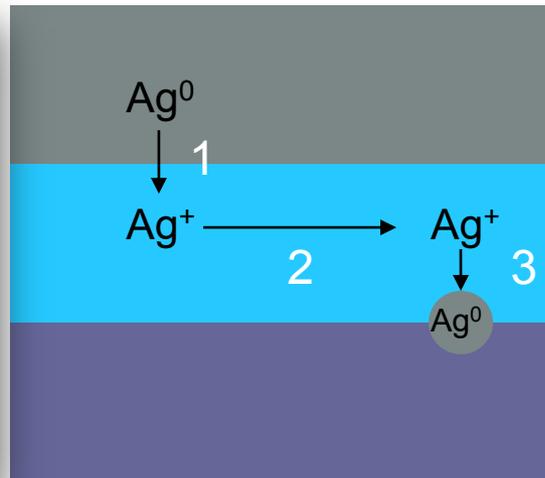
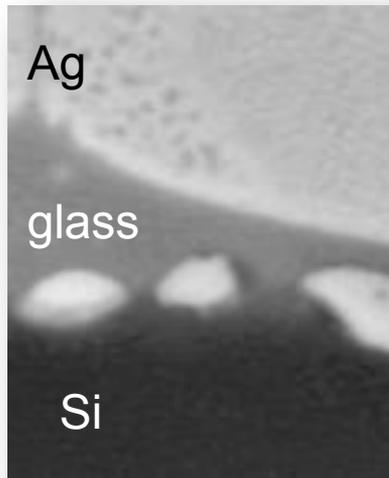


time dependence of reactions at the paste/wafer interface



Ziel: $R_k < 10 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$

Silver transport during firing

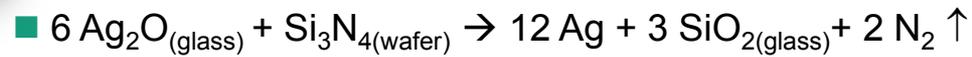


■ 3 single kinetics:

1 Ag-dissolution (-oxidization)

2 Ag-diffusion

3 Ag-precipitation

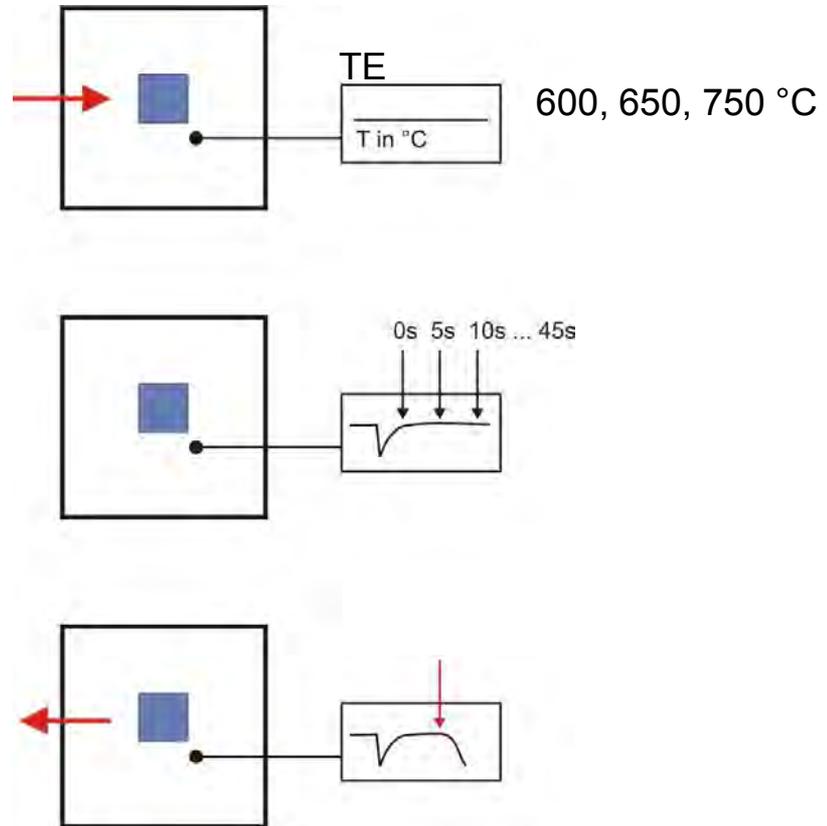


- Which kinetics determines the process?
- How do material parameters (glass viscosity, particle size) influence the process?
- Which dependence on temperature and time?

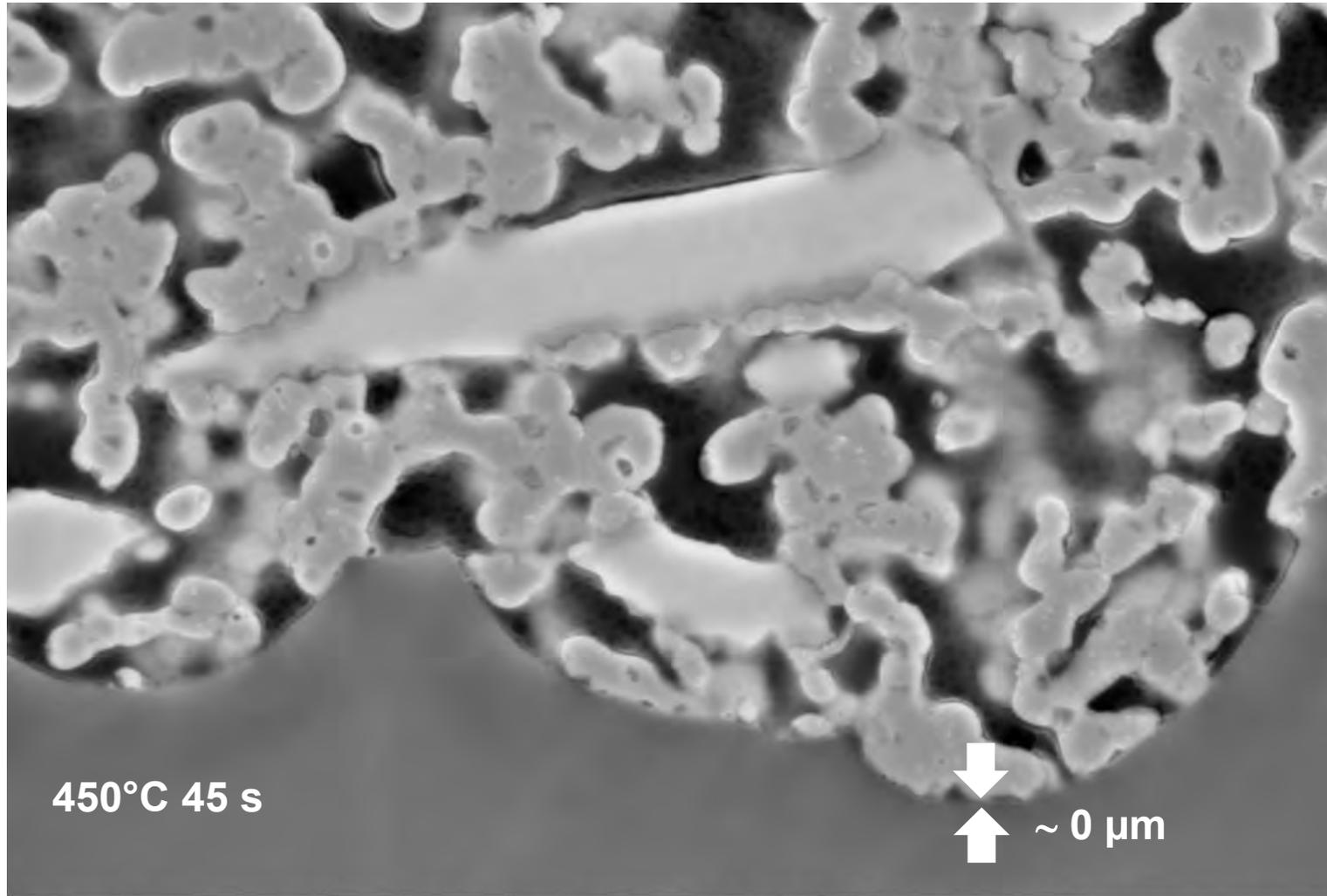
T-t dependence of reactions at the paste/wafer interface

Simulation of high speed firing conditions by usage of a simple laboratory furnace

muffel furnace



T-t dependence of reactions at the paste/wafer interface



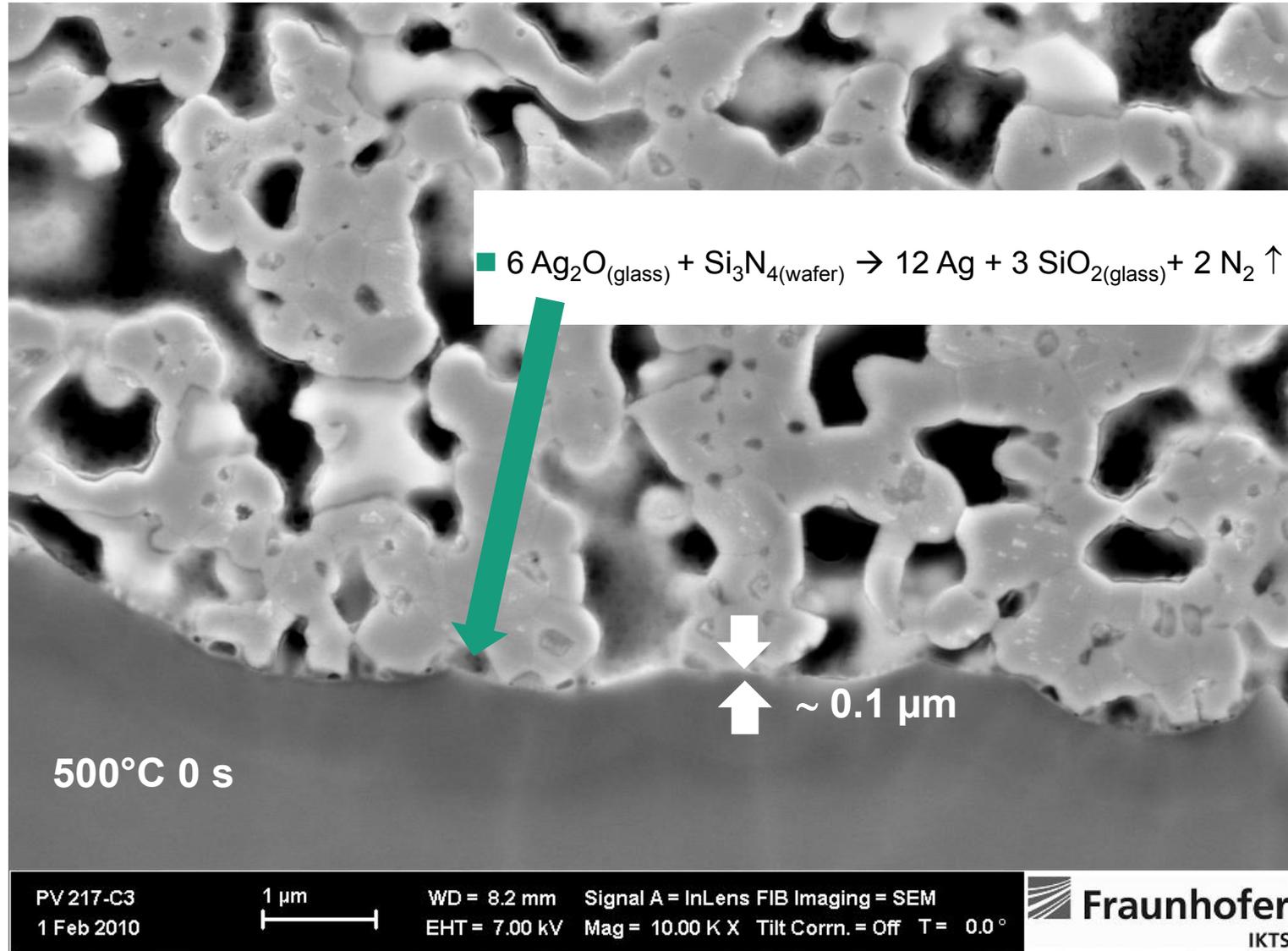
PV 217-C2
1 Feb 2010

1 μm

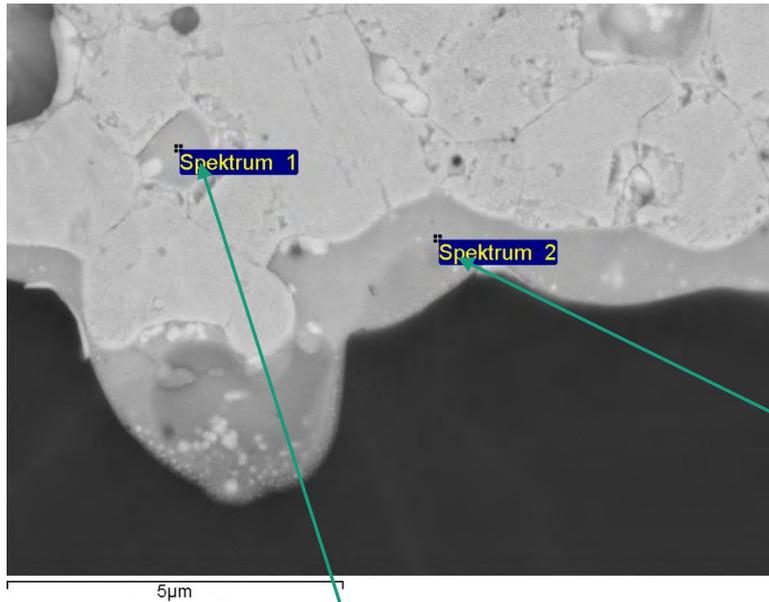
WD = 8.2 mm Signal A = InLens FIB Imaging = SEM
EHT = 7.00 kV Mag = 10.00 K X Tilt Corr. = Off T = 0.0°

 **Fraunhofer**
IKTS

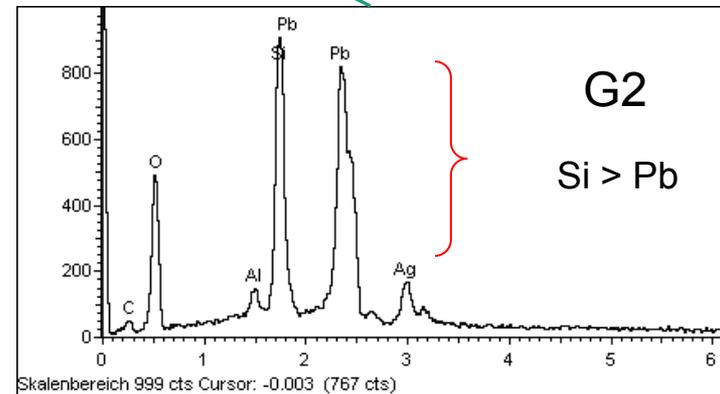
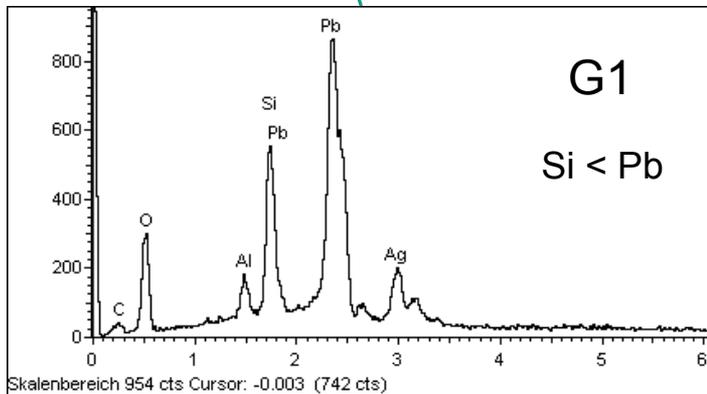
T-t dependence of reactions at the paste/wafer interface



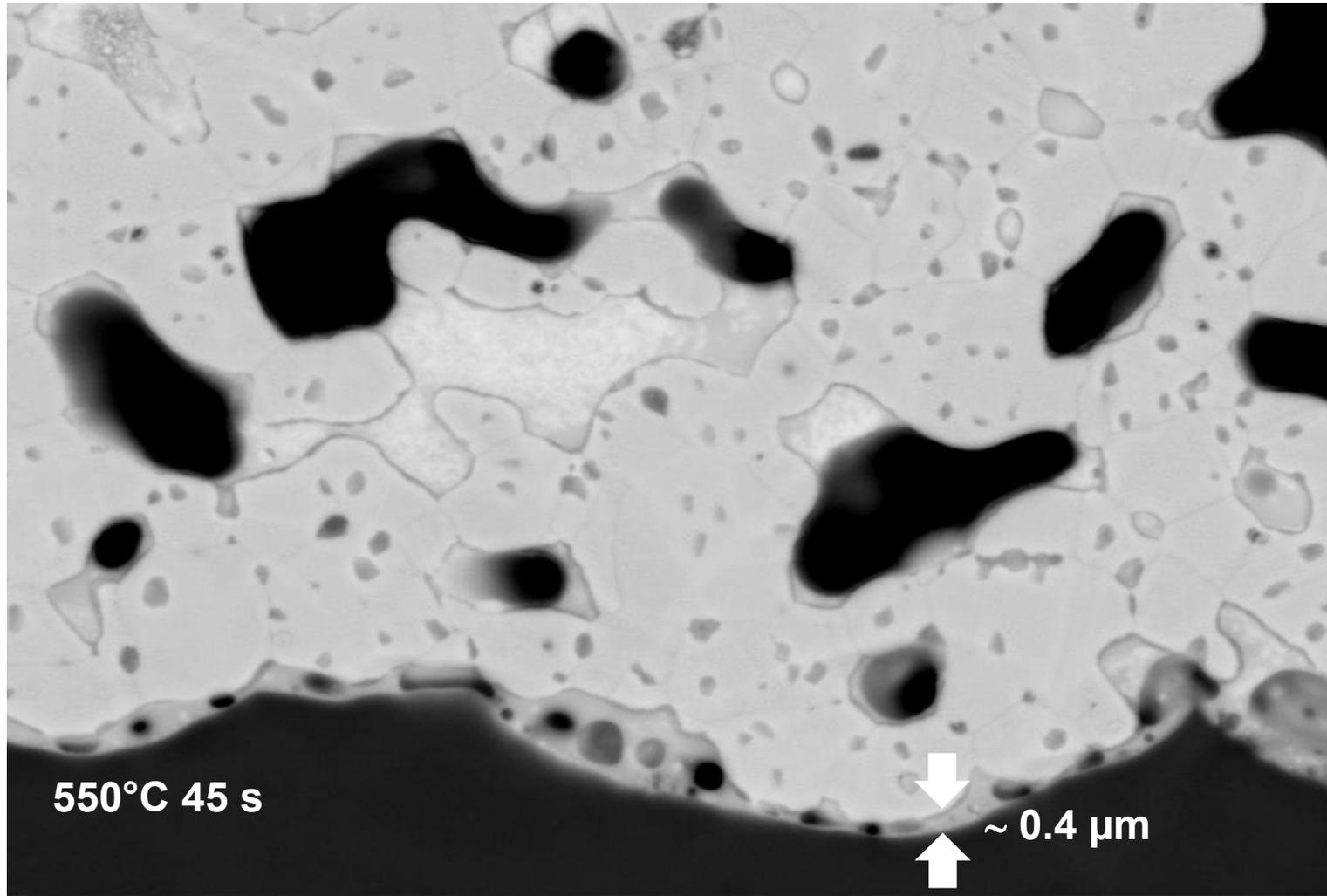
SiO₂-content of the interface melt, 700°C 45s



■ interface glass SiO₂ enriched



T-t dependence of reactions at the paste/wafer interface



550°C 45 s

~ 0.4 μm

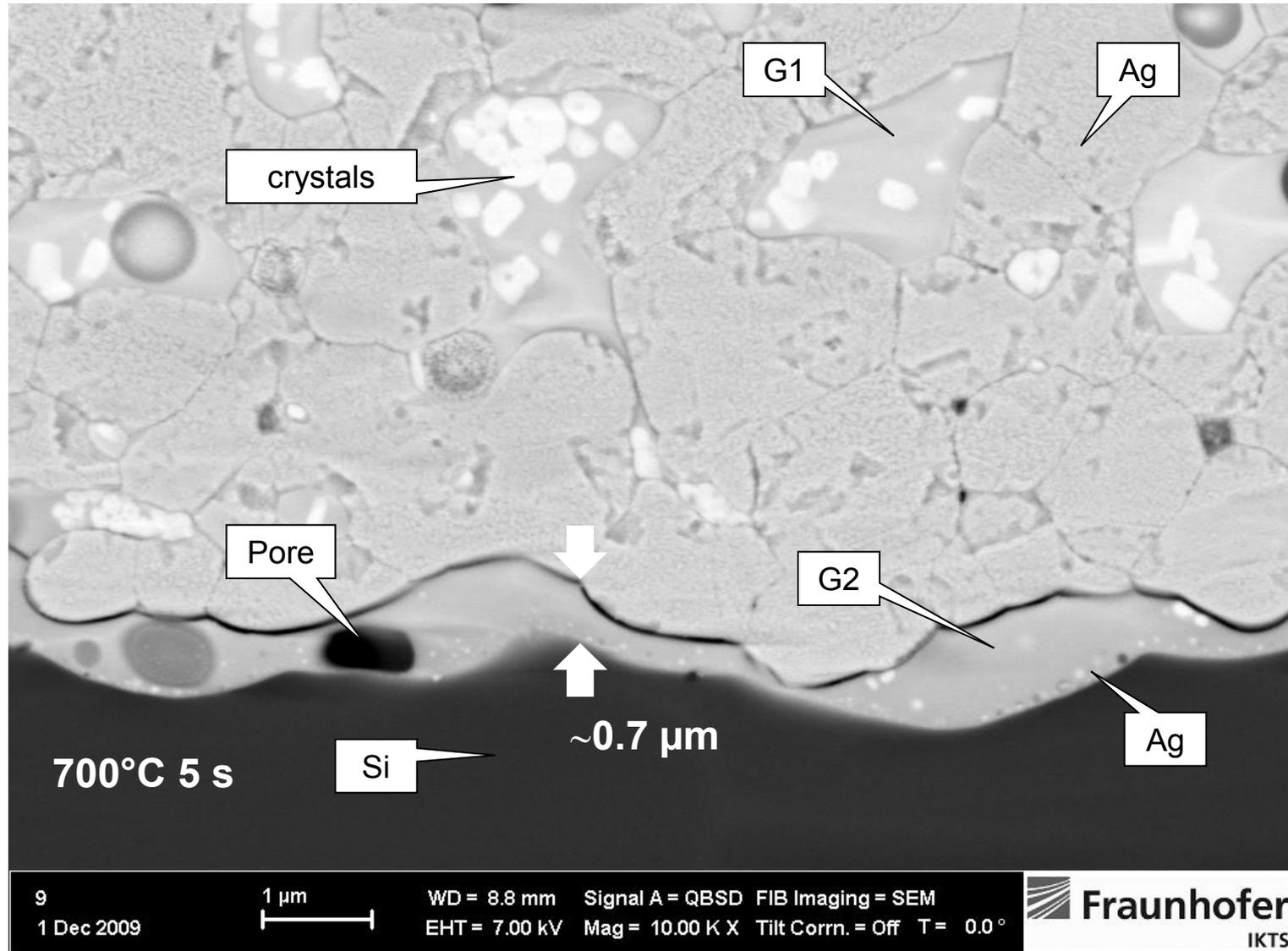
PV 217-C6
1 Feb 2010

1 μm
|-----|

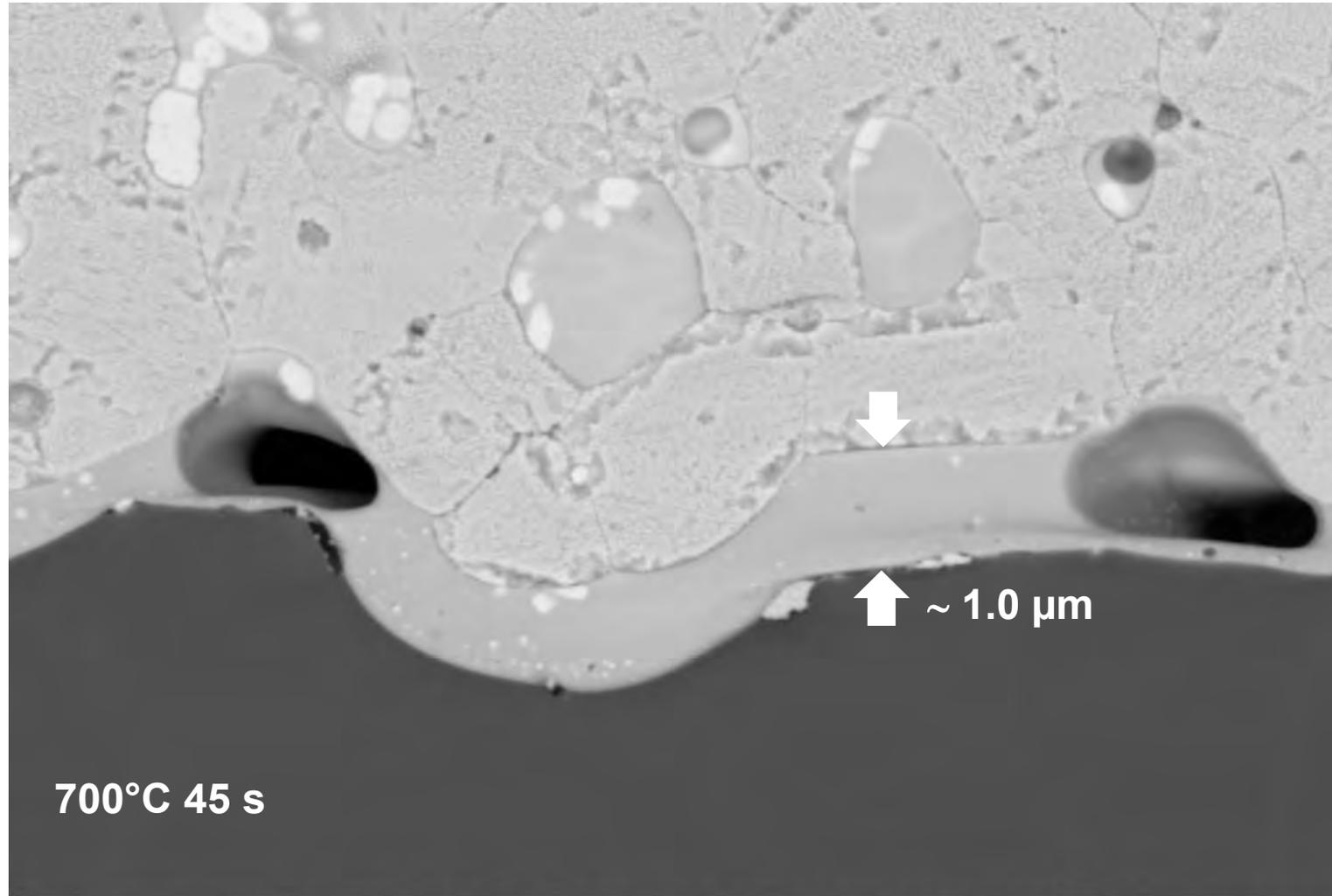
WD = 8.2 mm Signal A = QBSD FIB Imaging = SEM
EHT = 7.00 kV Mag = 10.00 K X Tilt Corr. = Off T = 0.0°

 **Fraunhofer**
IKTS

T-t dependence of reactions at the paste/wafer interface



T-t dependence of reactions at the paste/wafer interface



700°C 45 s

10
1 Dec 2009

1 μm

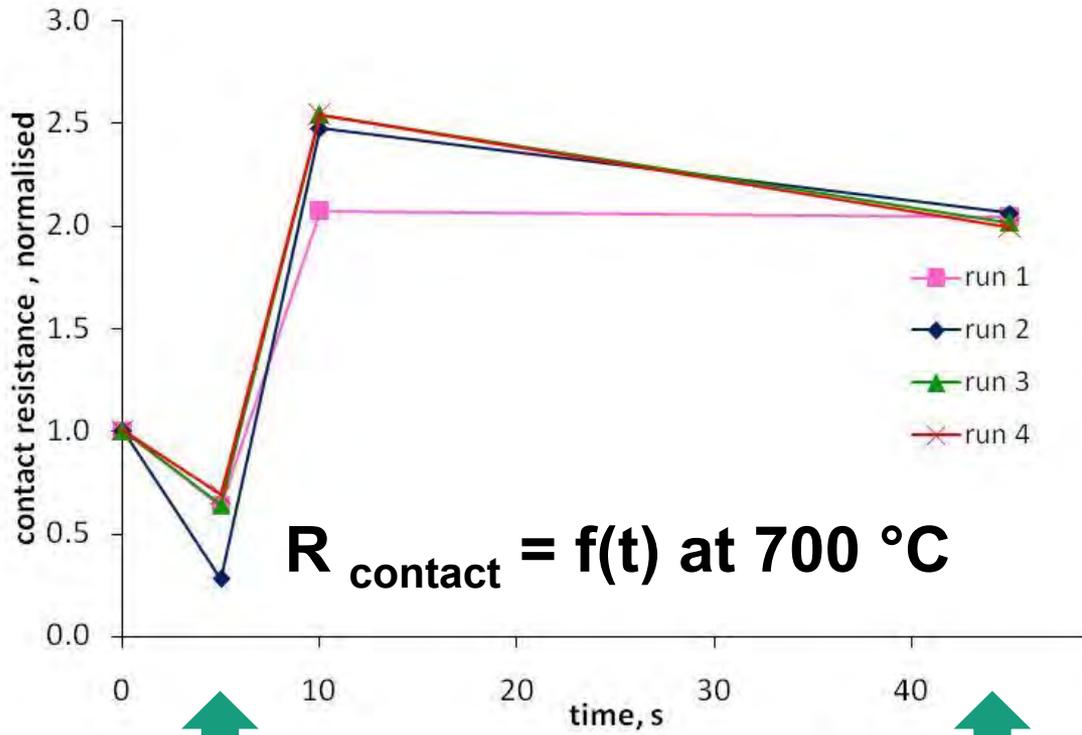
WD = 8.8 mm
EHT = 7.00 kV

Signal A = QBSD
Mag = 10.00 K X

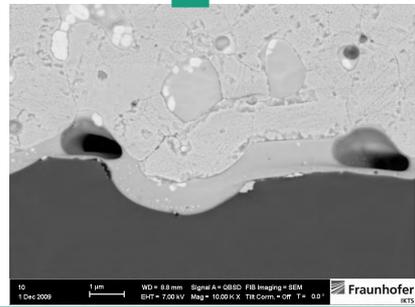
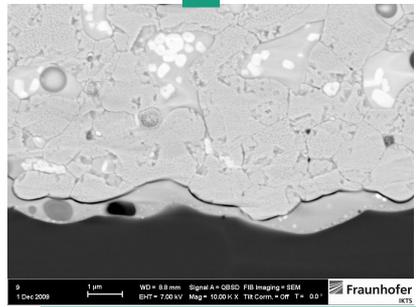
FIB Imaging = SEM
Tilt Corr. = Off T = 0.0°

 **Fraunhofer**
IKTS

T-t dependence of reactions at the paste/wafer interface

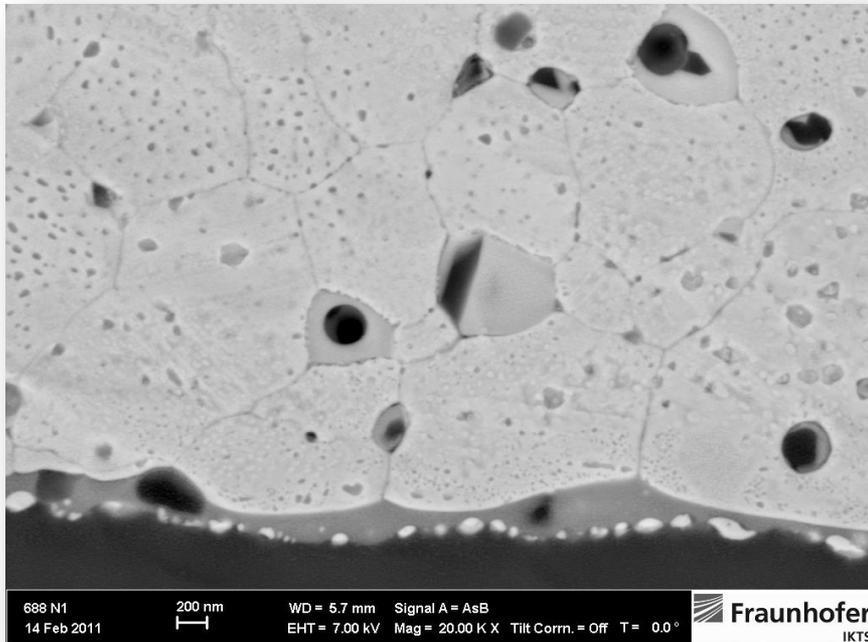


- silver precipitation (R ↘)
- interface layer growth (R ↗)
- silicon etching (R ↗)



Summary (I)

Contact formation = setting of „corrosion scenario“ and stop at the right moment
control of the cell efficiency = control of kinetics!



Cross section of interface having low contact resistance.



200 m race start of Jesse Owens
[www. badische-zeitung.de](http://www.badische-zeitung.de)

Gliederung

- Dickschichtpasten – eine Einführung
- Effizienzmaximierung durch moderne Pastenwerkstoffe
- Aspektverhältnis der Kontaktschicht: Pastenrheologie und Druck
 - Siebdruck
 - Koextrusionsdruck
 - Aerosoldruck
- Sintern der Kontaktschicht
 - Reaktionen am Interface zwischen Silberpaste und Silicium in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit
 - Phasentransport im Mikrogefüge der Paste
- Zusammenfassung

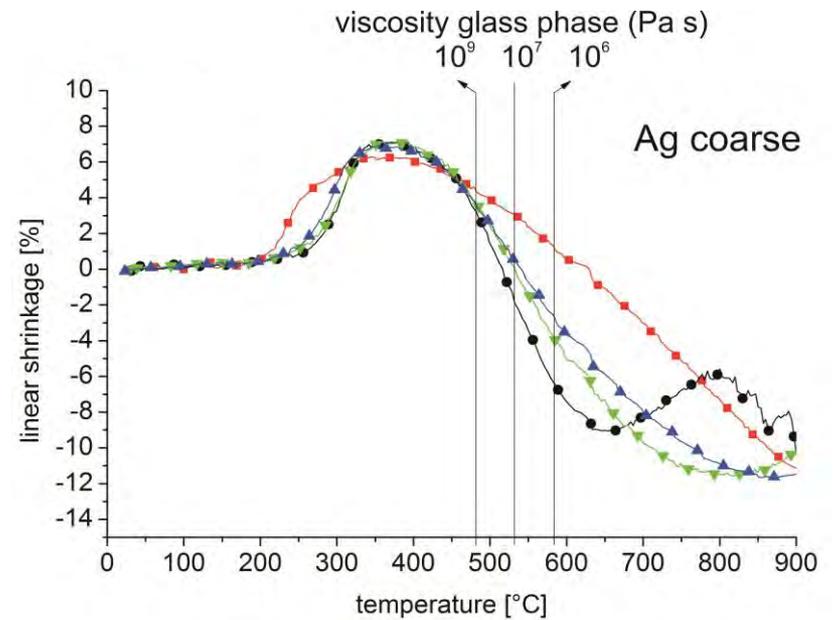
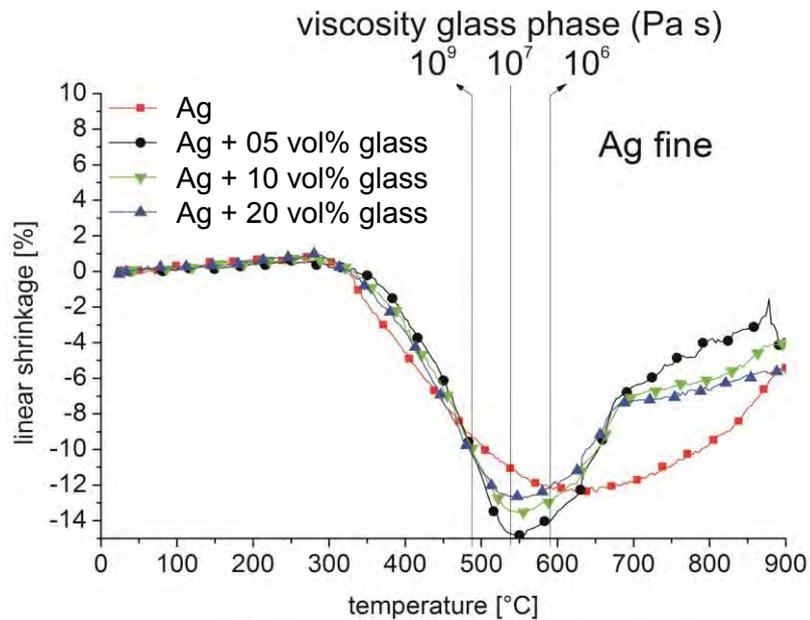
Sinterschwindung von Ag-Pulvern im Erhitzungsmikroskop

Voruntersuchung: Ermittlung des geringsten Anpressdruckes für EHM-Prüfkörper

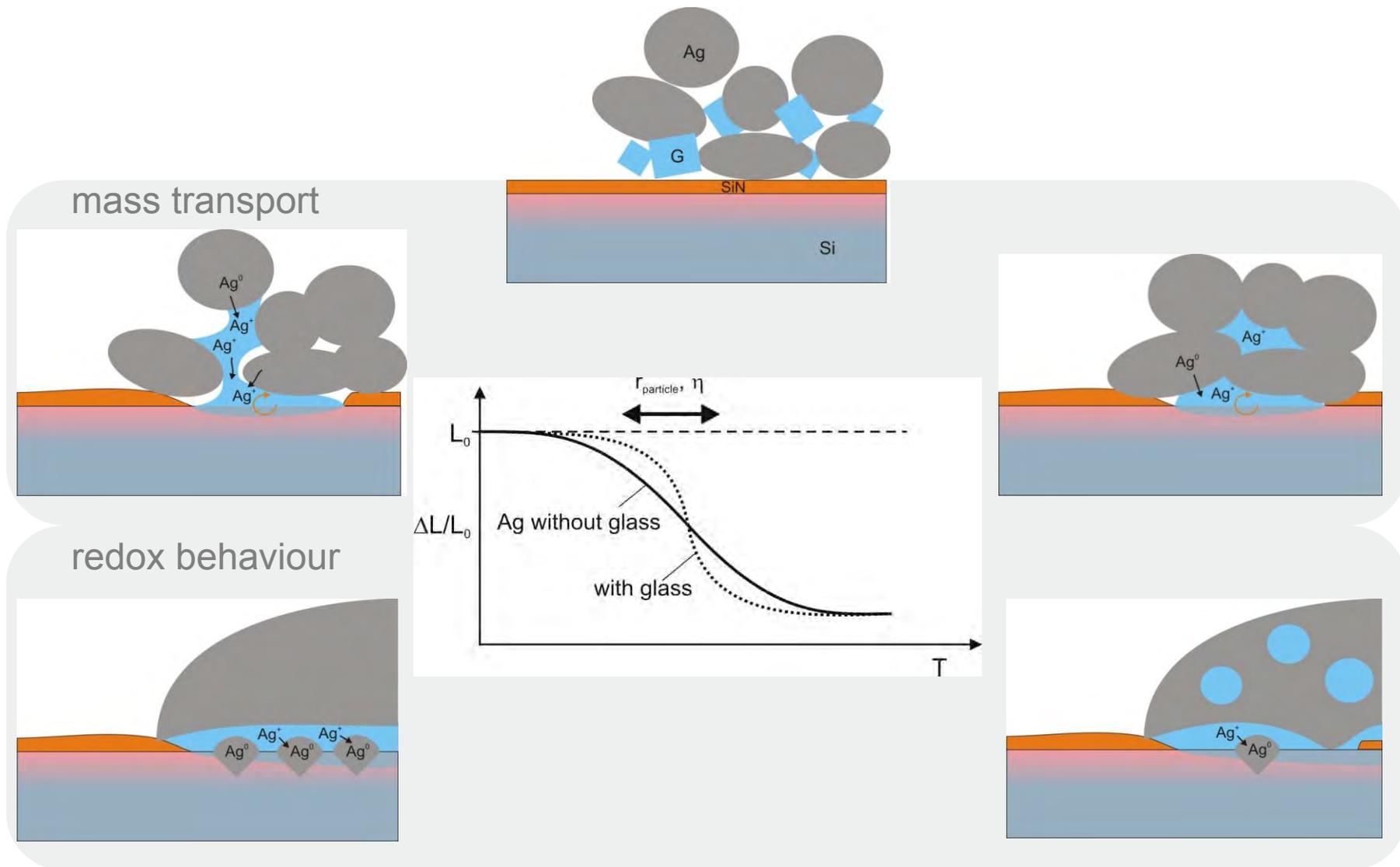
- Stabilität der Probe muss gewährleistet sein
- Verformung der Silberpartikel minimieren
- möglichst geringer Druck (200 N) zum Pressen der Zylinder
- relative Dichte ca. 56 %, alle Schwindungskurven wurden auf 55% normiert



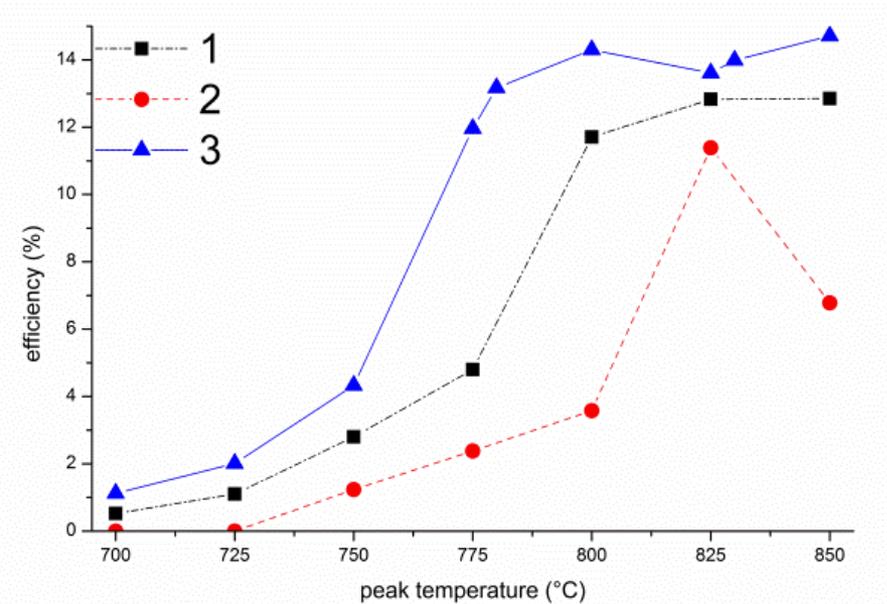
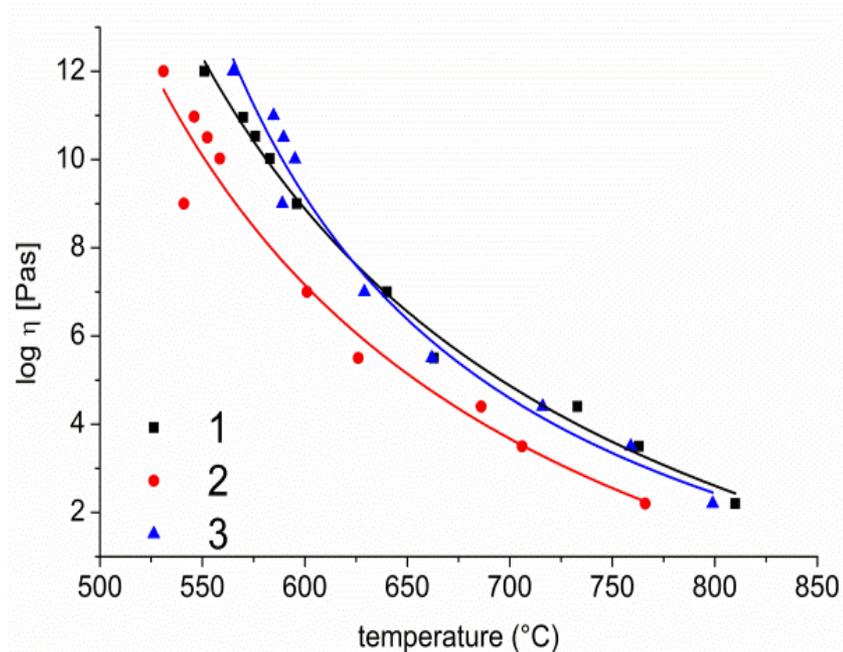
phase transport kinetics in the sintering pastes microstructure



phase transport kinetics in the sintering pastes microstructure

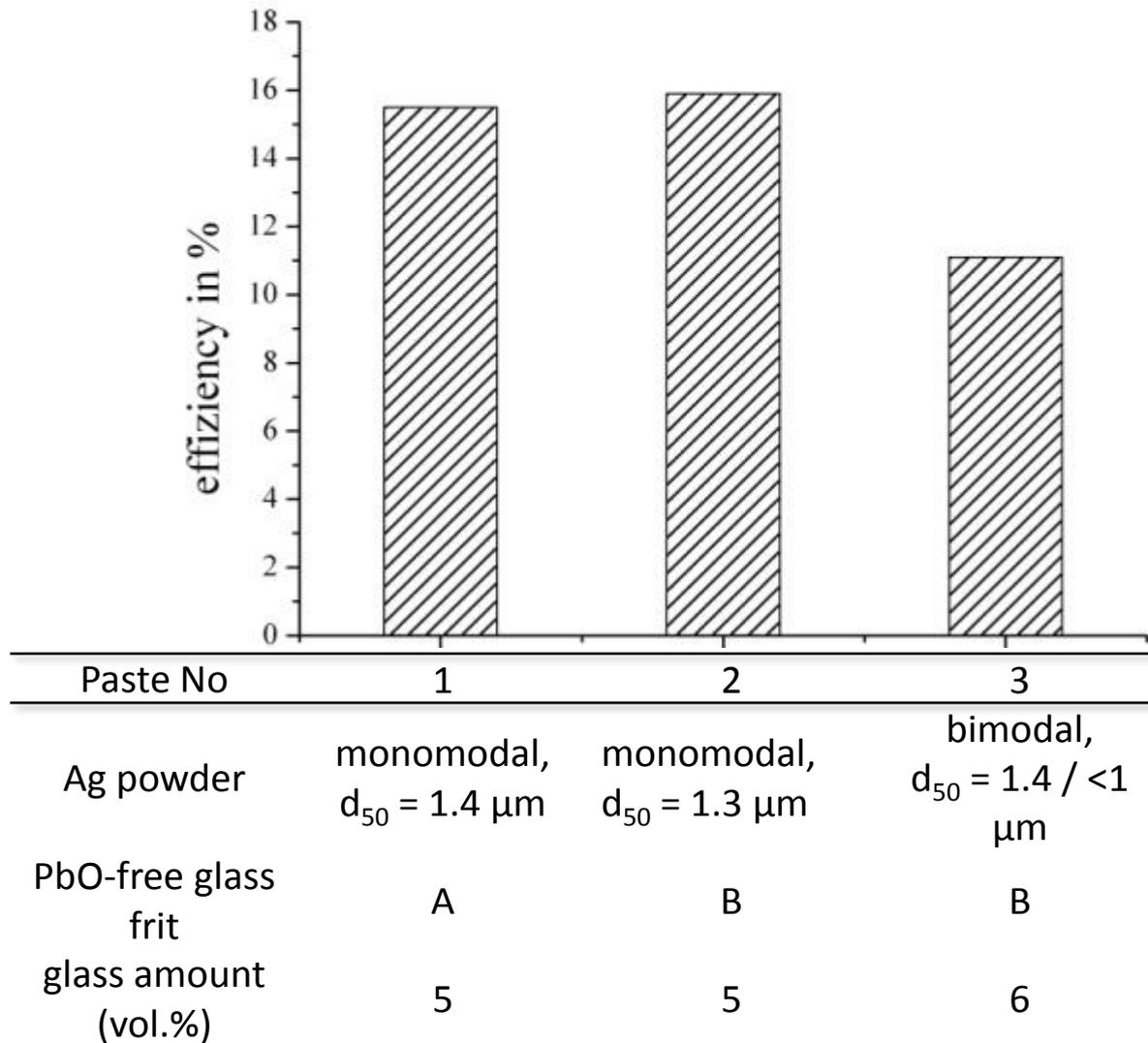


phase transport kinetics of the metallization paste



M. Eberstein, H. Falk-Windisch, M. Peschel, J. Schilm, T. Seuthe, M. Wenzel, C. Kretzschmar, Sintering and contact formation of glass containing silver pastes, Proceedings of the 2nd International Conference on Silicon Photovoltaics SiliconPV: April 03-05, 2012, Leuven, Belgium (accepted to be published in Energy Procedia)

new PbO-free front side metallization pastes



Gliederung

- Dickschichtpasten – eine Einführung
- Effizienzmaximierung durch moderne Pastenwerkstoffe
- Aspektverhältnis der Kontaktschicht: Pastenrheologie und Druck
 - Siebdruck
 - Koextrusionsdruck
 - Aerosoldruck
- Sintern der Kontaktschicht
 - Reaktionen am Interface zwischen Silberpaste und Silicium in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit
 - Phasentransport im Mikrogefüge der Paste
- Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Kristalline Standardsolarzelle bietet bisher ungenutzte Effizienzpotentiale, Nutzung kann gelingen durch:
 - maßgeschneiderte Fließeigenschaften der Kontaktpasten
 - → hohes Aspektverhältnis durch neue Drucktechnologien (z.B. Fineline-, Koextrusions-, Aerosoldruck)
- verbesserte Sintereigenschaften der Kontaktpasten
 - → kontrollierte Redoxchemie und Massentransport im Mikrogefüge
- Beispiele aus der Entwicklungspraxis am IKTS Dresden wurden dargestellt

Danke

... an alle Kollegen, die in den Projekten „SF2020“ und „KOMET“ mitgewirkt haben!

Financial support of the Sächsische AufbauBank in the projects #128947/2154 „SF2020“ and #1000694198 „KOMET“ is gratefully acknowledged.



Further Informations:

Dr. Markus Eberstein

+49-351-2553-7518

Markus.Eberstein@ikts.fraunhofer.de

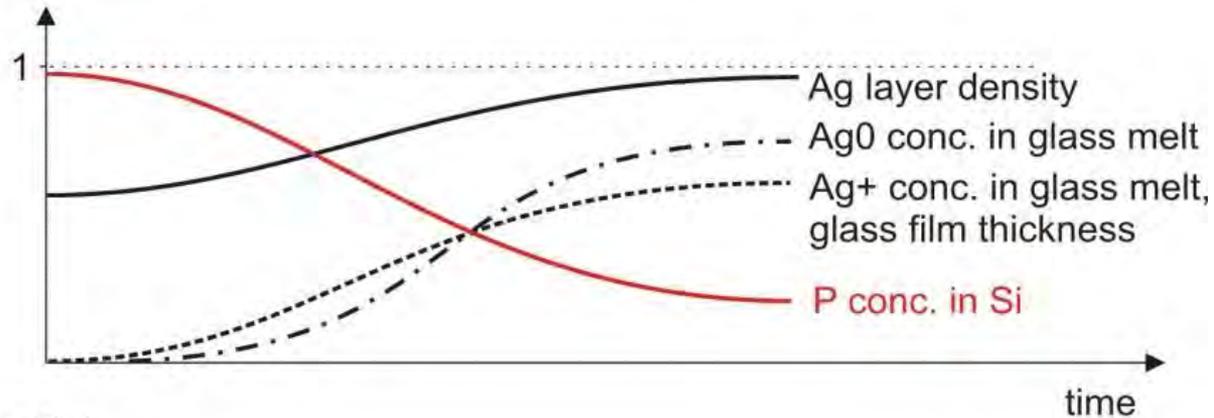
Fraunhofer Institut Keramische

Technologien und Systeme

Winterbergstraße 28, 01277 Dresden

time dependence of reactions at the paste/wafer interface

normalized
density/
concentration



specific/
contact
resistivity

