

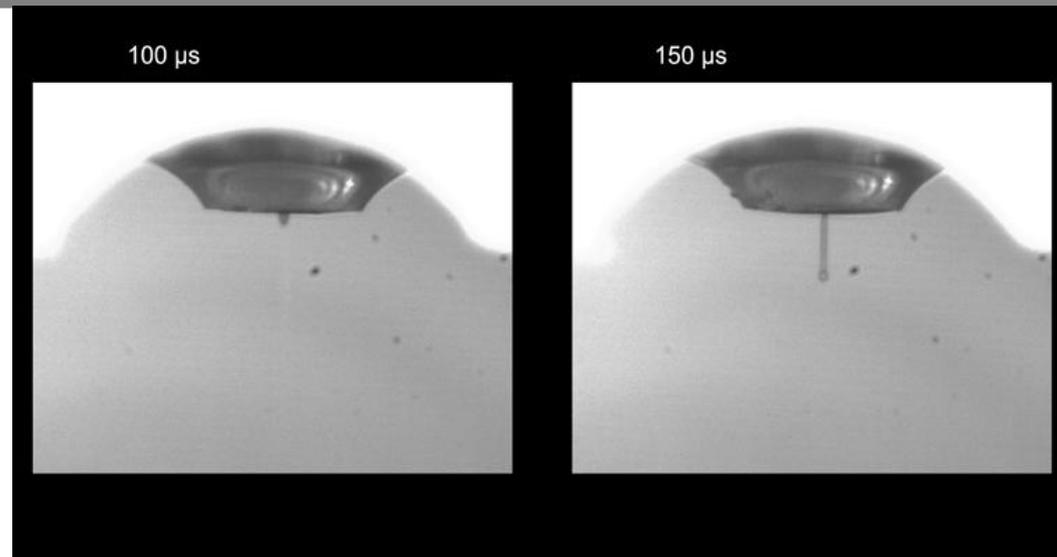
# Darstellung steuerbarer dielektrischer Barium-Strontium-Titanat-Schichten mittels Tintenstrahldruck

DKG-Tagung 2012 Nürnberg

K. F. Schumann<sup>\*,\*\*</sup>, F. Paul<sup>\*</sup>, J.R. Binder<sup>\*\*</sup>, J. Haußelt<sup>\*,\*\*</sup>

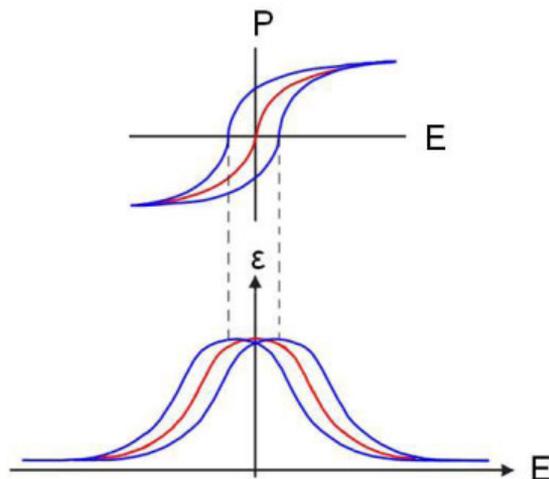
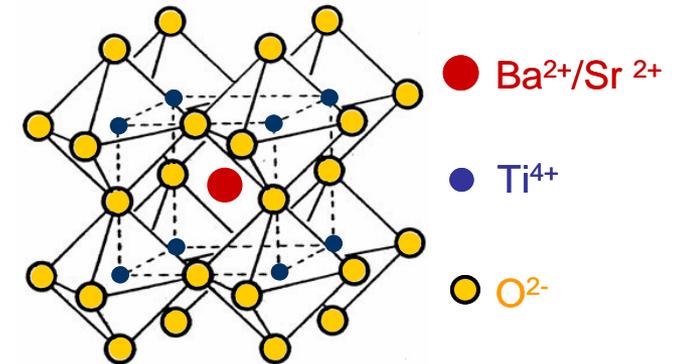
\*\* KIT / IAM-WPT

\* Universität Freiburg / IMTEK - WPT



# Einige Eigenschaften von $\text{Ba}_x\text{Sr}_{(1-x)}\text{TiO}_3$

- Perovskit  $\text{ABO}_3$
- $\text{Ba}^{2+}/\text{Sr}^{2+}$  and  $\text{O}^{2-}$  bilden dichteste Kugelpackung
- Tetragonale Verformung der Einheitszelle bei



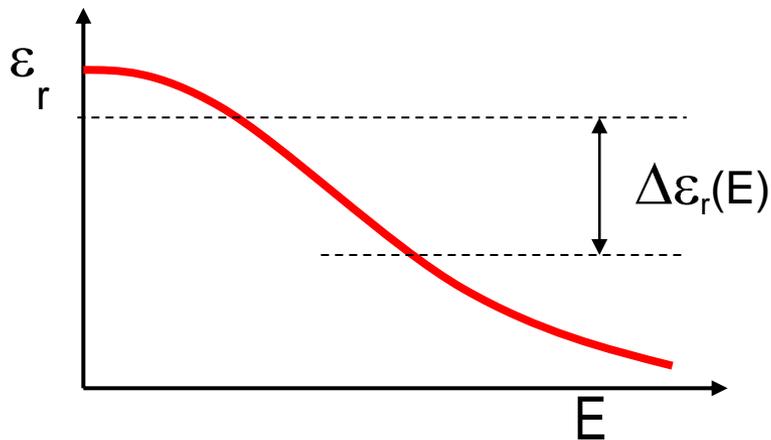
$$T > T_c$$

Materialsystem  $\text{Ba}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{TiO}_4$

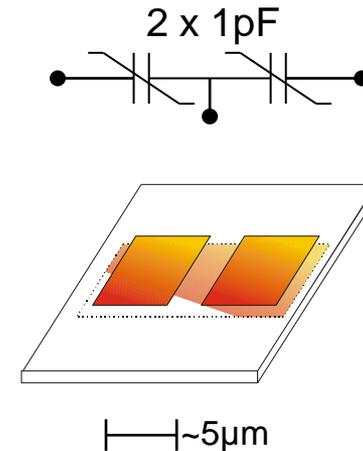
- $T_c \approx 0^\circ\text{C}$
- paraelektrisch bei Raumtemperatur

$T < T_c$ : ferroelektrisch, tetragonal, steuerbar (hohe Verluste)  
 $T > T_c$ : paraelektrisch, kubisch, steuerbar (niedrige Verluste)

# Für was braucht man Steuerbarkeit?



Steuerbarkeit  $\tau = \frac{\Delta \varepsilon_r(E)}{\varepsilon_r(E=0)}$



Au
BST
Pt
Si

→ Erlaubt externe Kontrolle der Kapazität

## Verwendung:

- Mobilfunk
- kontaktlose Sensoren (RFID)

# Warum Herstellung mittels Tintenstrahldruck?

## Drop on Demand

- Kontaktlose Herstellung von 2D und 3D Strukturen
- Exakte Tropfenkontrolle
- günstige und vielseitige Methode
- Druck vieler verschiedener Materialien möglich

## Textildruck



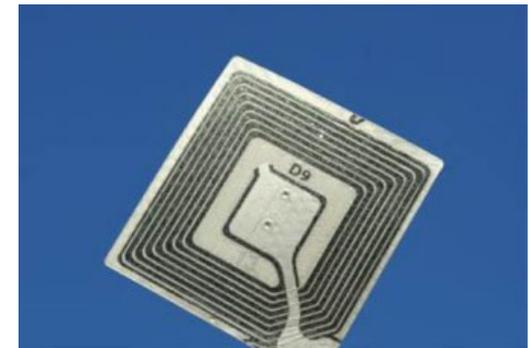
[www.creation-concetta.at](http://www.creation-concetta.at)

## 3D-Druck



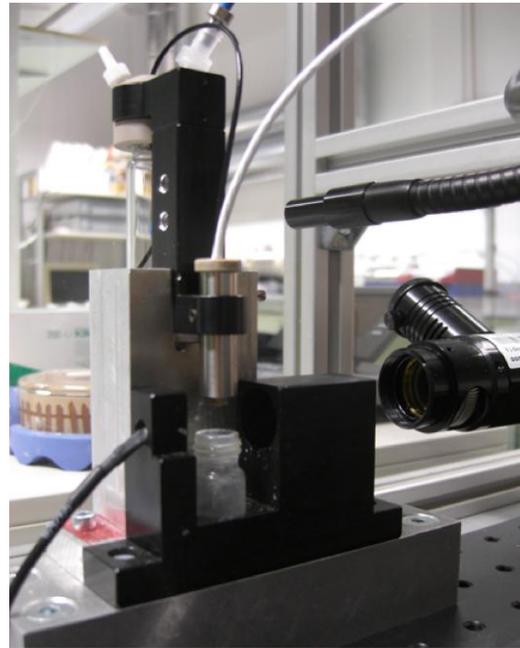
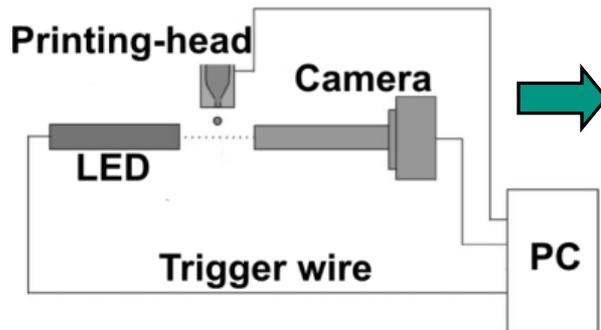
[www.everyjoe.com/files](http://www.everyjoe.com/files)

## Elektronische Bauteile



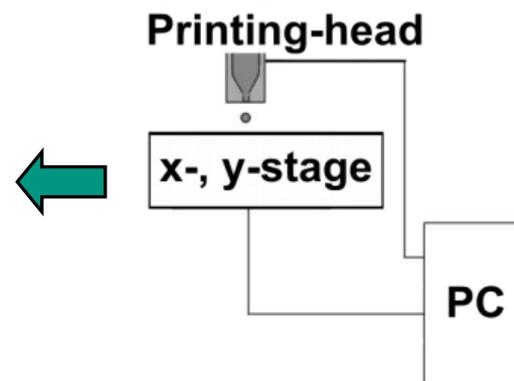
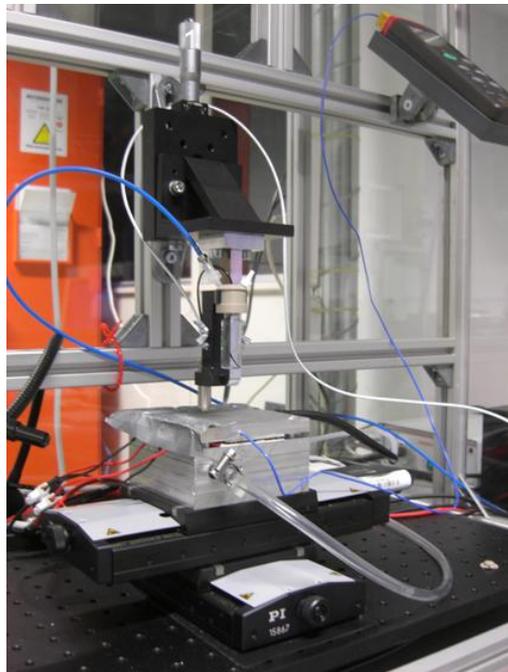
[www.icmpnet.com](http://www.icmpnet.com)

# Experimenteller Aufbau am IMTEK / Freiburg



## Drucksystem

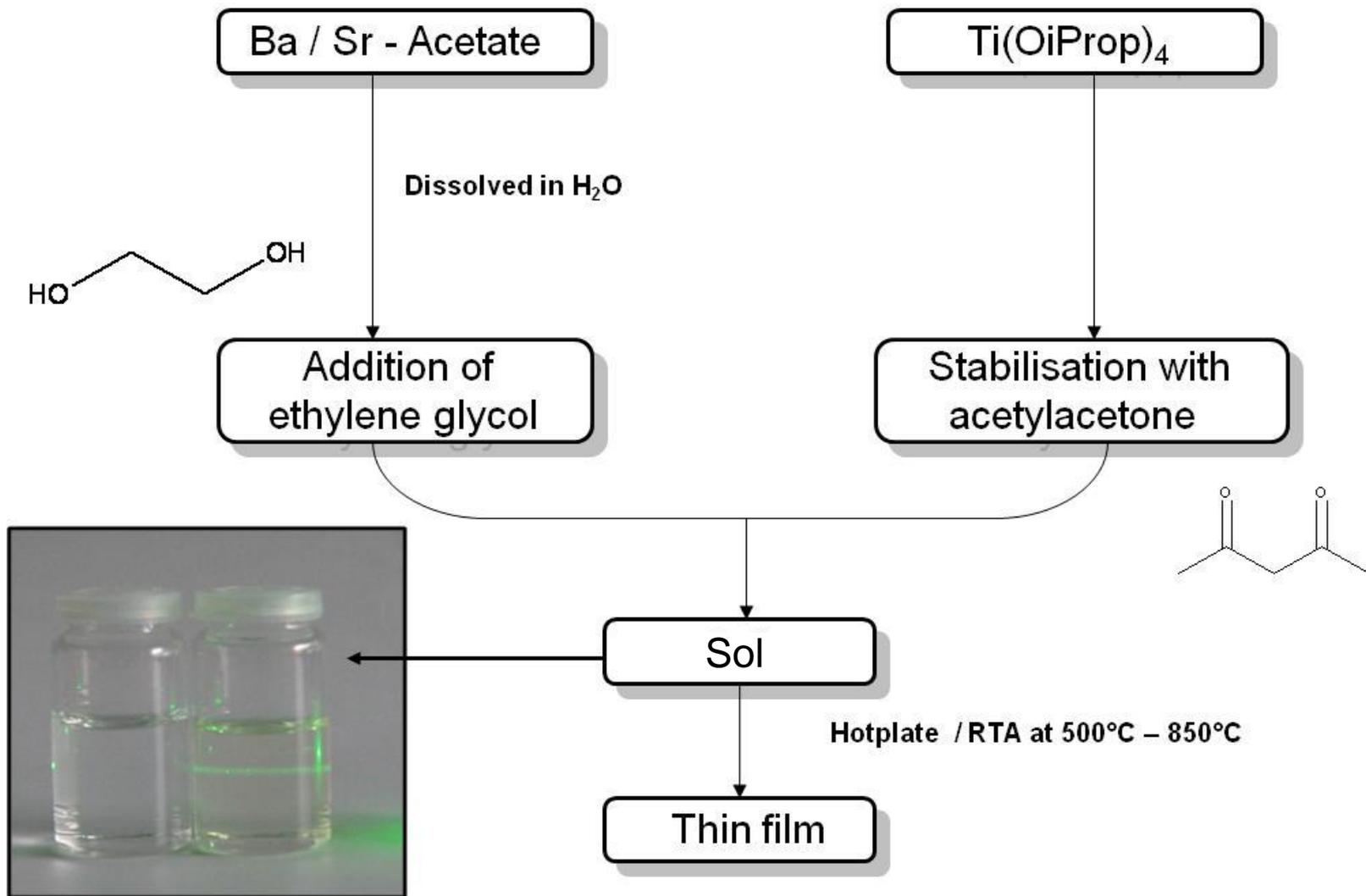
- MicroDrop Druckkopf
  - 70  $\mu\text{m}$ , wässrig. Medien
  - Viskosität  $\approx 8 - 20$  mPas
- Lineartisch
  - hohe Positionierungs-  
genauigkeit
  - $v_{\text{max}} = 700$   $\mu\text{m/s}$

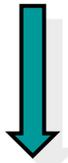
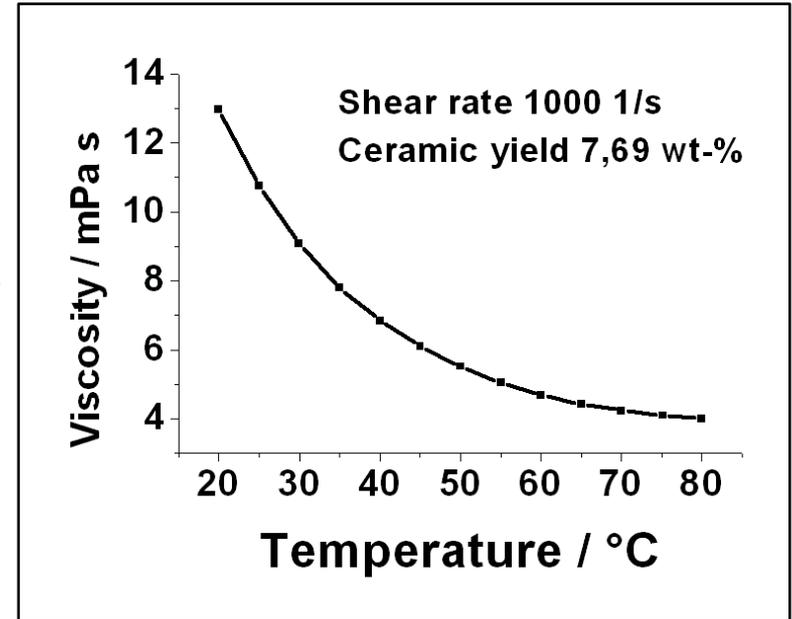
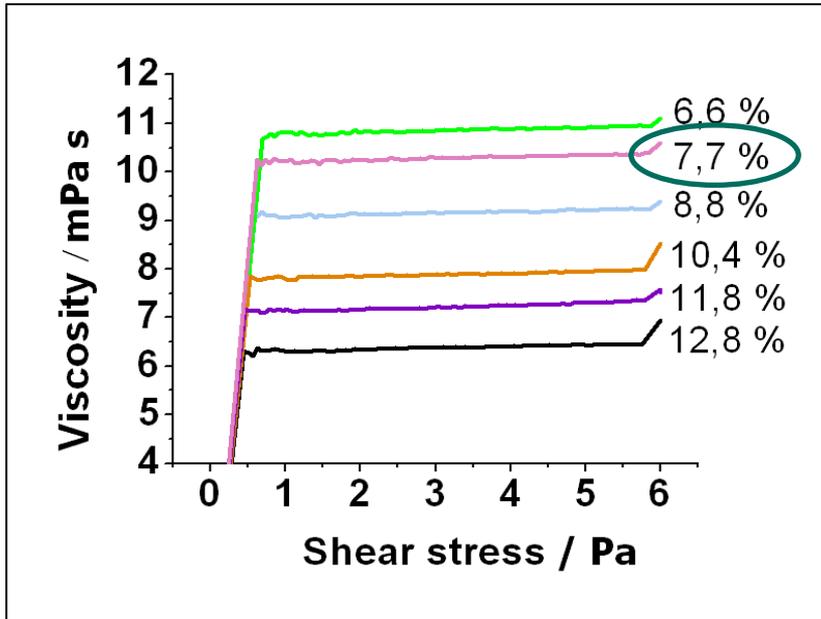


## Parameter

- Tropfengröße
- Abstand Düse - Substrat
- Pulsfrequenz, - länge
- Tisch Temperatur ( $< 180^\circ\text{C}$ )

# Darstellung der Tinten für den Druck





- Oberflächenspannung: 31,74 mN/m (RT)
- $Z = 4,26$  ( $= Oh^{-1}$ ) (Optimum  $1 < Z < 10$ )

Abnahme der Viskosität bedingt durch

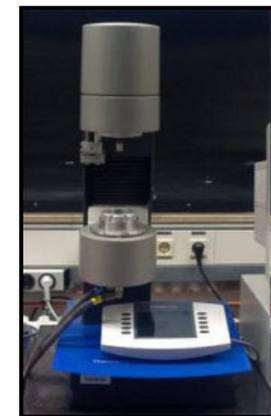
- Zunahme der keramischen Ausbeute
- Zunahme der Temperatur

$$Z = Oh^{-1} = \frac{\sqrt{\rho \sigma d}}{\eta}$$

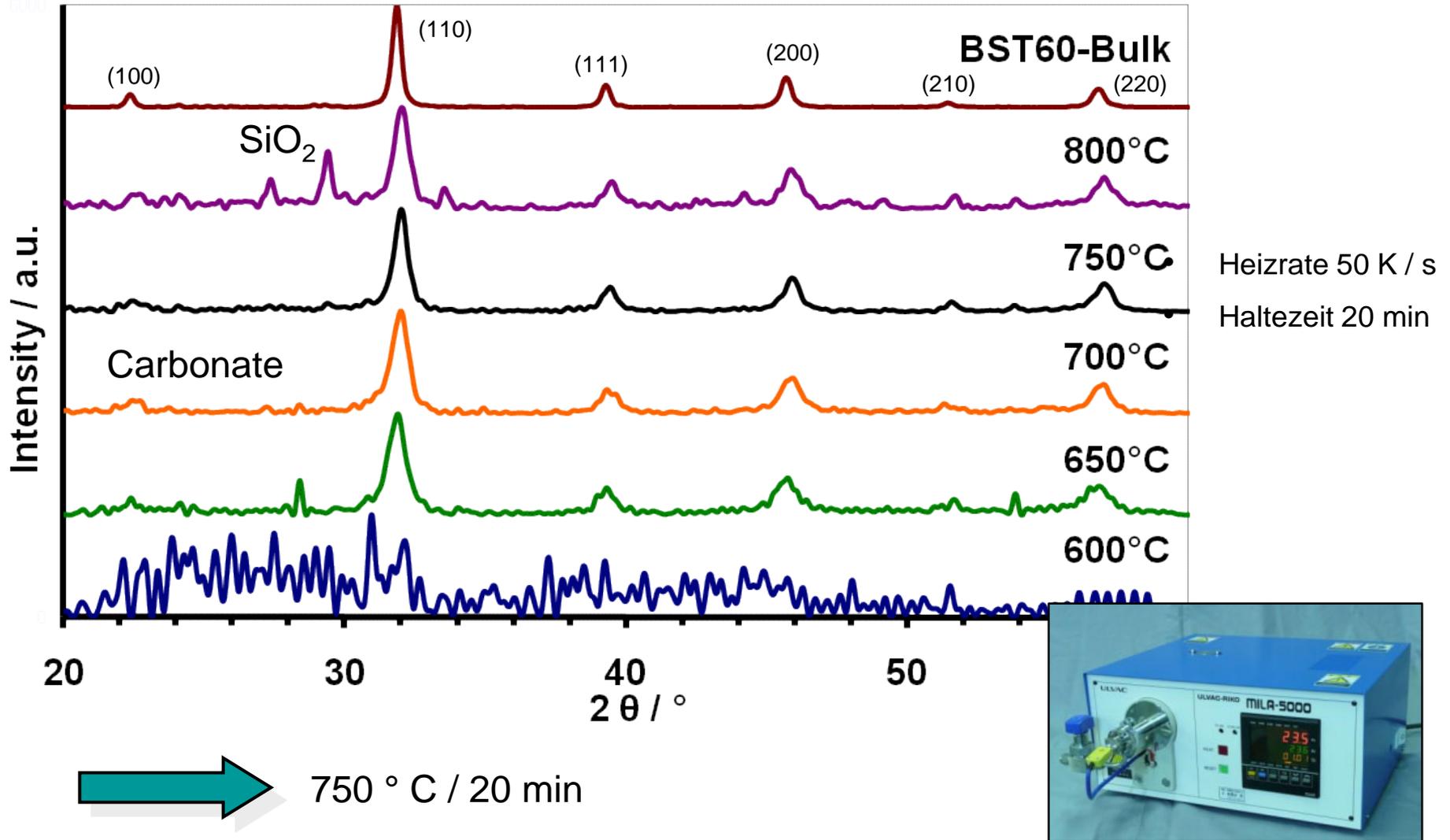
$d$  = Düsendurchmesser

$\rho$  = Dichte

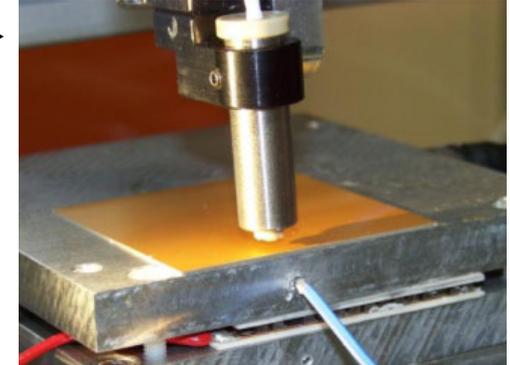
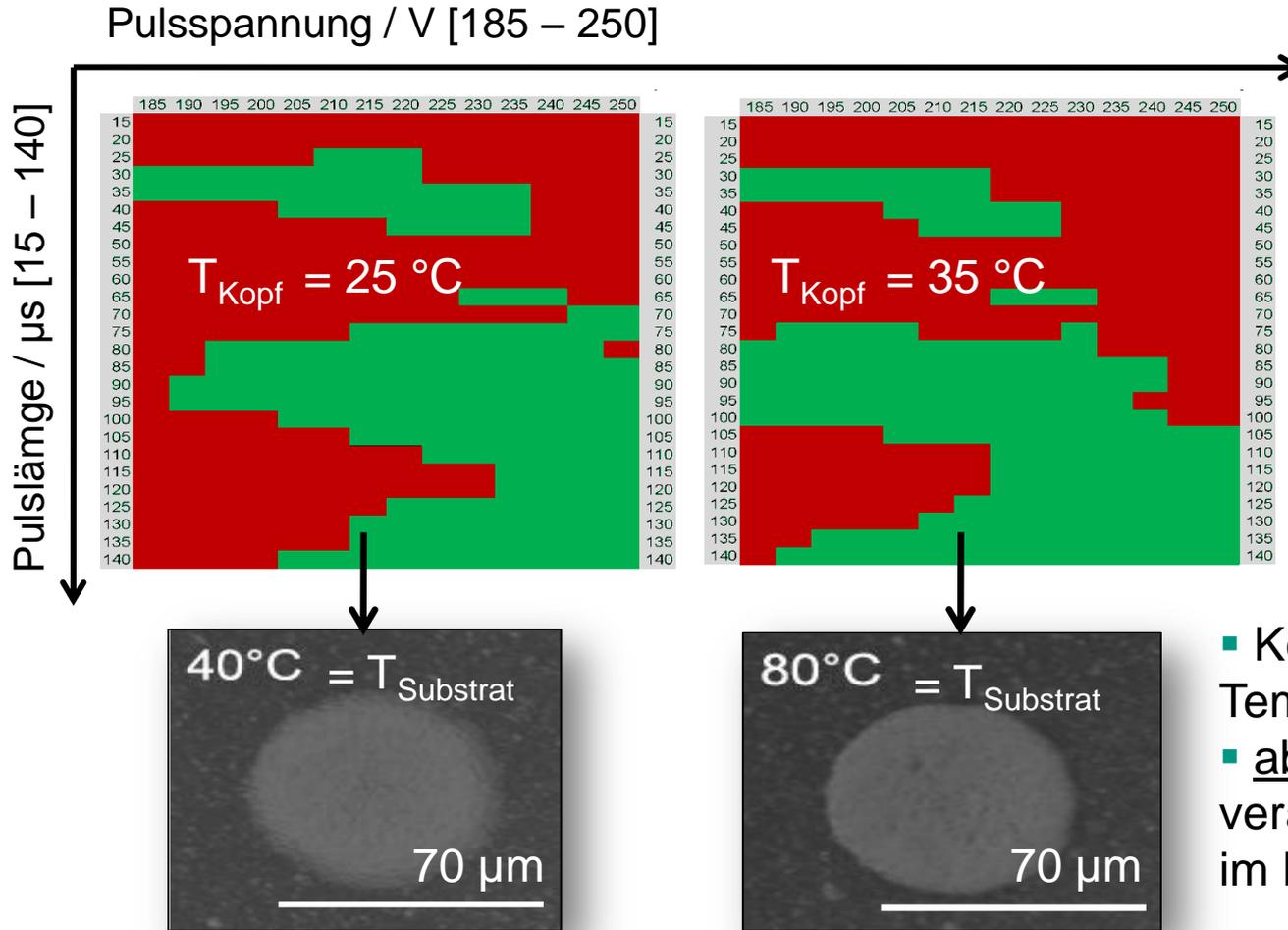
$\sigma$  = Oberflächenspannung



# Kalzinierung der grünen Filme



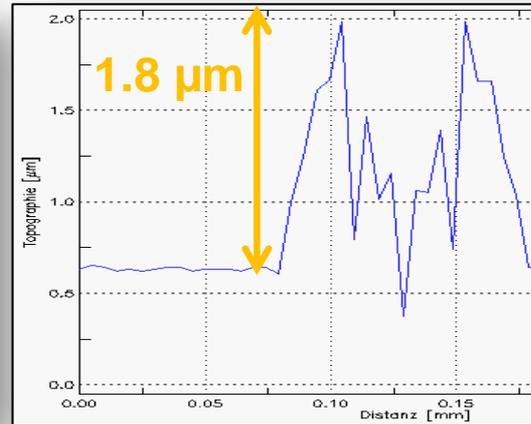
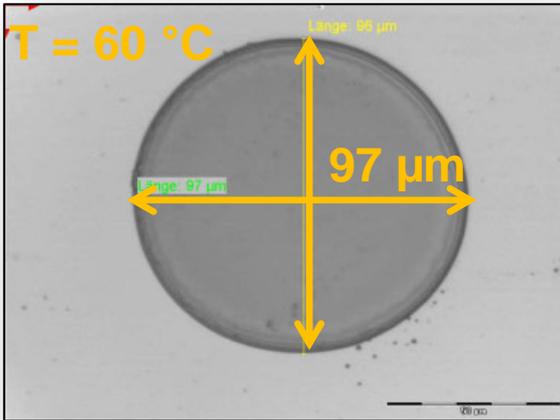
# Einfluss der Substrattemperatur



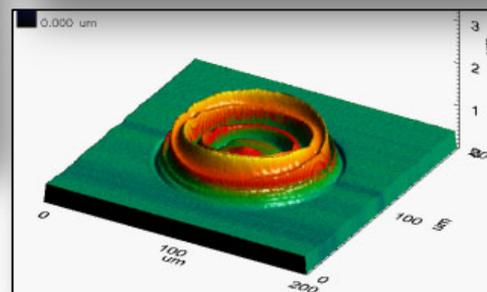
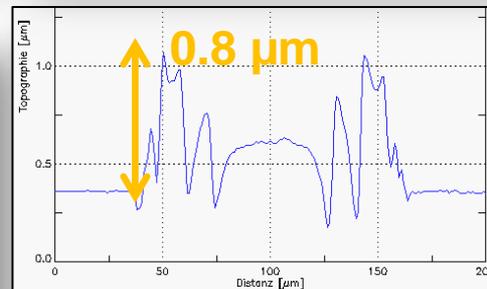
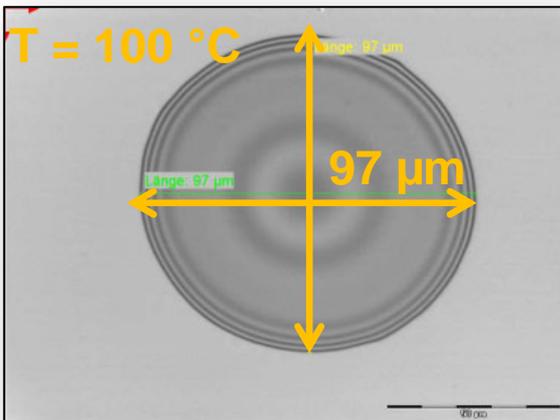
- Konturtreue bei hohen Temperaturen
- aber: abgestrahlte Hitze verändert die Parameter im Druckkopf

Jede Veränderung der Einstellungen bedingt eine erneute Justierung der Parameter innerhalb des Druckkopfes

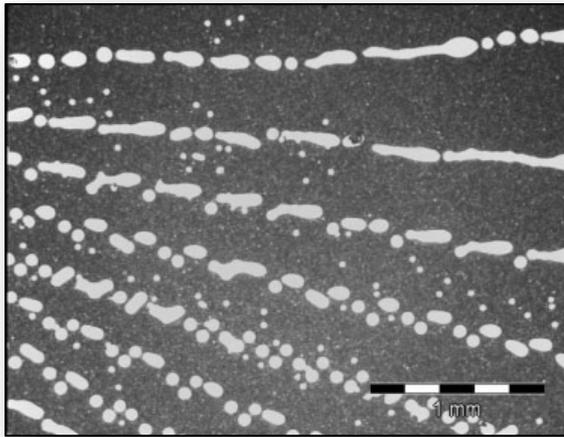
# Tropfengeometrie



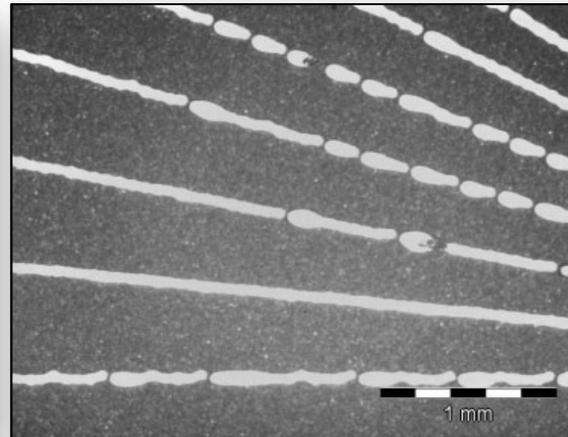
„Kaffeeleck-  
Phänomen“



- 60°C und 100°C ergeben gleiche Tropfengröße
- Kantenhöhe niedriger bei höherer Temperatur
- bedingt durch Materialtransport zu den Kanten während der Trocknung

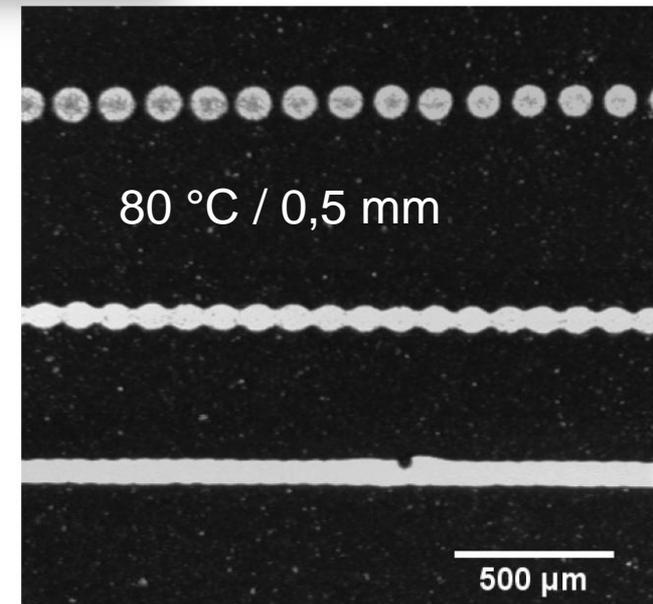


60 °C, 5 mm

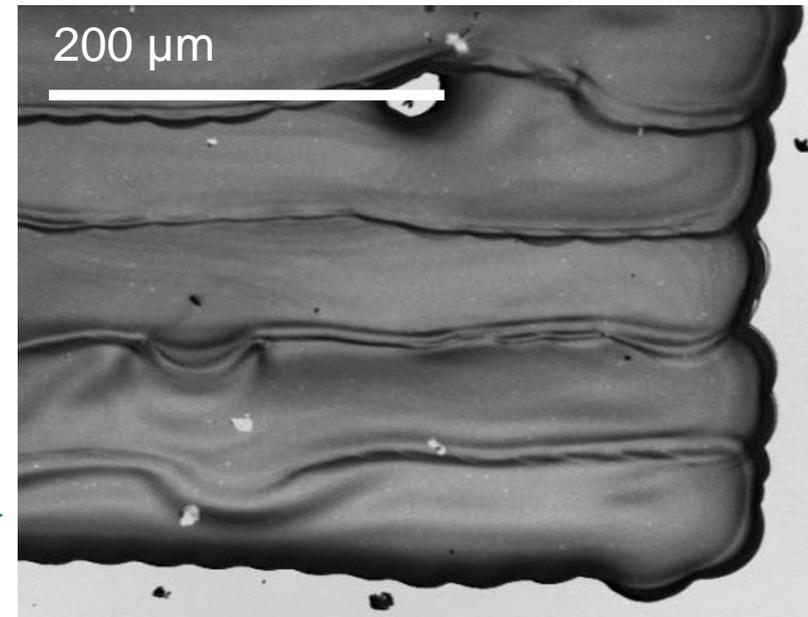
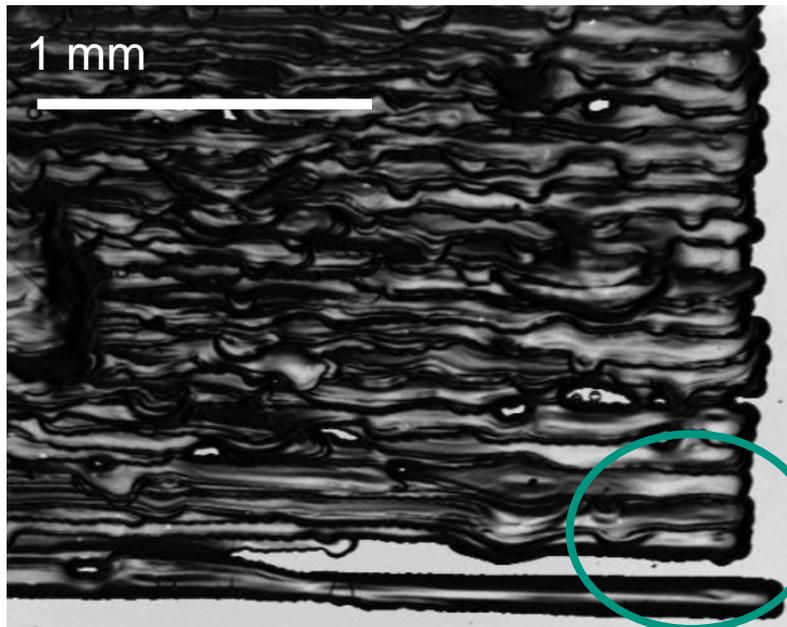


60 °C, 2 mm

- 
- Jede Schicht ist aufgebaut durch eine große Anzahl an überlappenden Tropfen
  - große Abstände zwischen Kopf und Substrat führen zu Satellitentropfen



# Inhomogene Filmqualität bedingt durch...



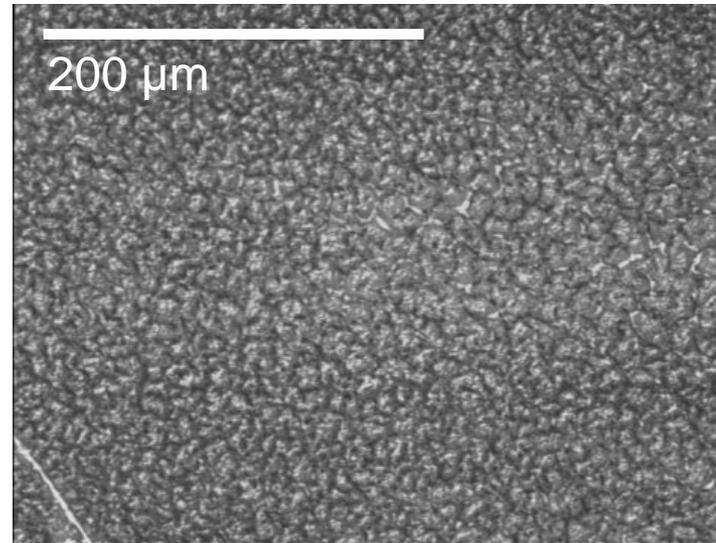
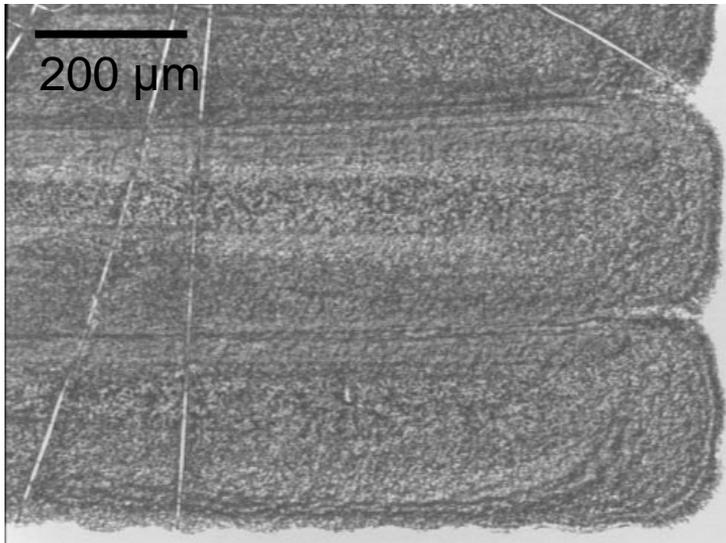
## Parameter

- grüner Film
- Frequenz = 20 Hz
- Abstand 2 mm
- $T_{\text{Tisch}} = 100^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{Kopf}} = 30^{\circ}\text{C}$
- Unterdruck  $p = -17 \text{ mbar}$

... unzureichende Tischgeschwindigkeit.

 Tischgeschwindigkeit zu langsam gewählt

# Homogene Filmqualität bedingt durch...



## Parameters

- kalzinierte Schicht
- Frequenz = 8Hz
- Distanz 2 mm
- $T_{\text{Tisch}} = 100^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{Kopf}} = 30^{\circ}\text{C}$
- Unterdruck  $p = -17 \text{ mbar}$

- ... Minimierung der Frequenz
- ... Adäquate Tischgeschwindigkeit

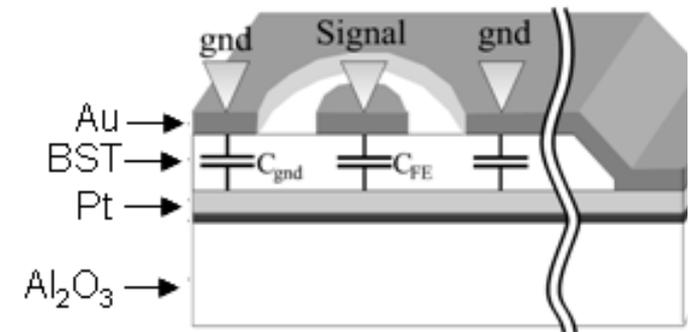
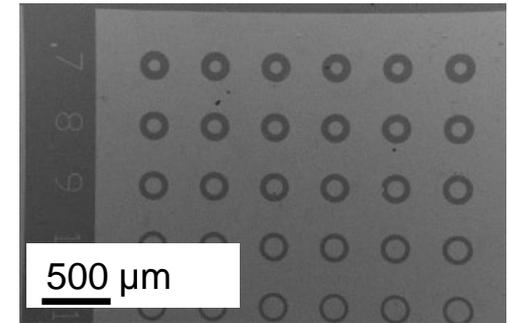
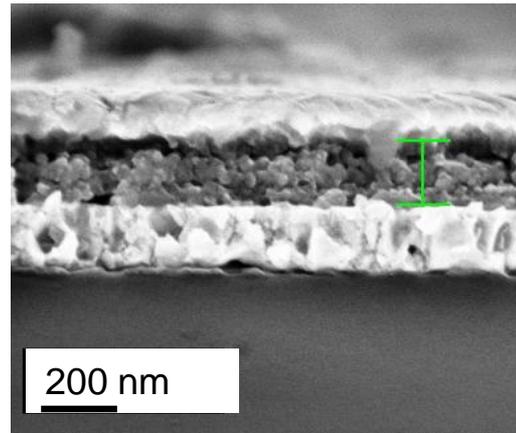
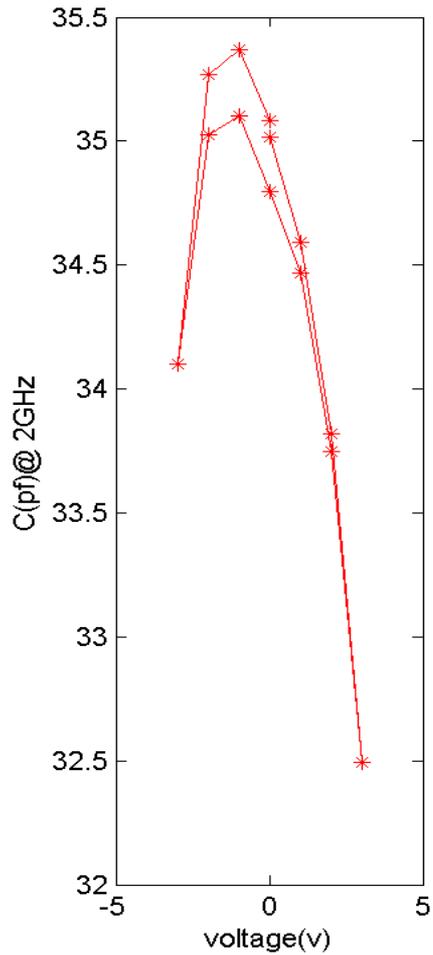
Problem bei niedrigen Frequenzen:

- Satellitentropfen
- Druckkopf arbeitet nicht am Optimum



# Dielektrische Eigenschaften

Schicht T = 750 °C



Quelle: TU Darmstadt

$$\tau = \frac{\Delta \epsilon_r(E)}{\epsilon_r(E=0)}$$

$$\epsilon_r = \frac{E \cdot d}{\epsilon_0 \cdot A}$$

$\epsilon_r = 445$   
 $\tau = 11 \%$   
 $E@2GHz = 14V/\mu m$

- Drucken bei höheren Frequenzen
- Untersuchung des Einflusses von Dotierungen auf die dielektrischen Eigenschaften
- Druck von Metall-BST-Metall Kondensatoren  
(mittels Silbertinte)

# Danke für Ihre Aufmerksamkeit

