

Niedrigsinternde $\text{Ba}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{TiO}_3$ -Dickschichten: Korrelation zwischen Gefüge und dielektrischen Eigenschaften

Institut für Angewandte Materialien – Werkstoffprozesstechnik (IAM-WPT)

C. Kohler, X. Zhou, M. Sazegar, M. Nikfalazar,
F. Stemme, R. Jakoby, J.R. Binder

Doktoranden-Workshop 2012, Stuttgart, 29.-30.03.2012

Gliederung

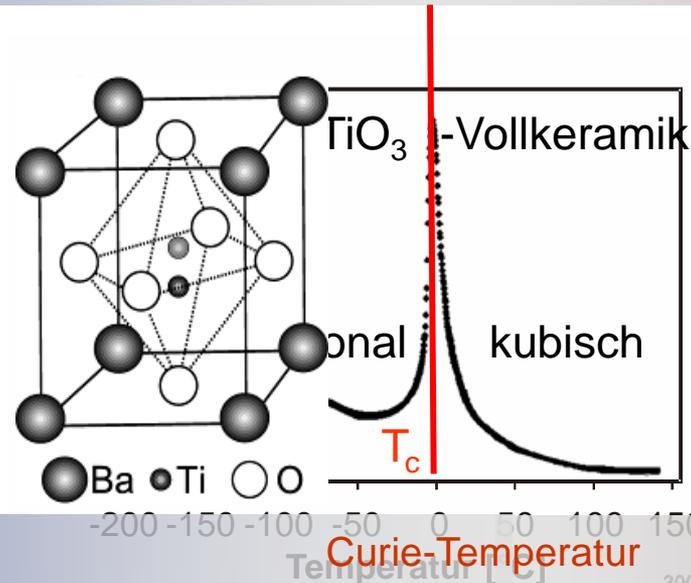
- Grundlagen
- Motivation
- Herstellung niedrigsinternder BST-Dickschichten
 - *Auswahl Additivsystem*
- Charakterisierung
 - *Einfluss Additivmenge*
 - *Einfluss Dotierung*
- Zusammenfassung

System $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ (BST)

Ferroelektrische Phase

Paraelektrische Phase

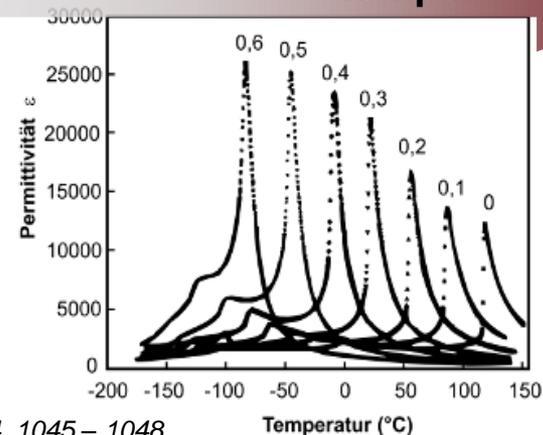
Tetragonale
Kristallstruktur



Kubische
Kristallstruktur

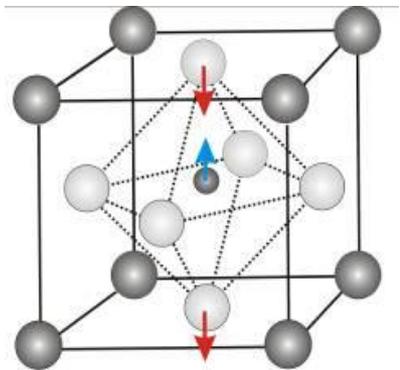
Für Hochfrequenzanwendungen:

- Gebrauch der paraelektrischen Phase
- Anwendung bei RT $\rightarrow Ba_{0,6}Sr_{0,4}TiO_3$

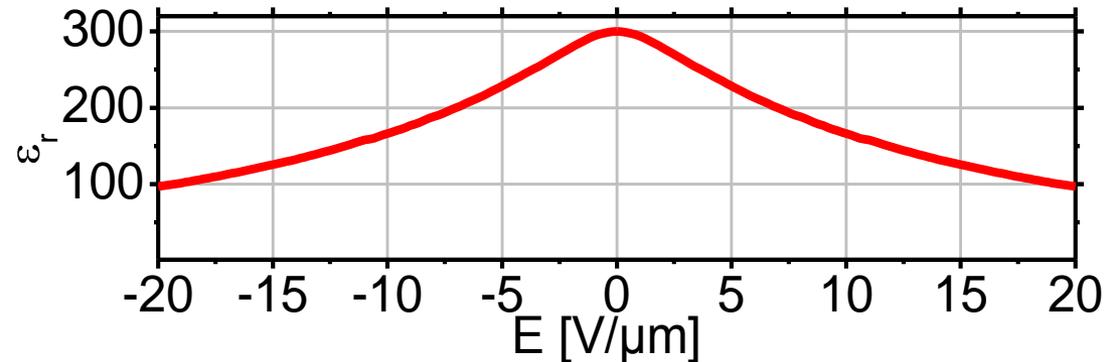


Jeon, J., *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2004, 24, 1045 – 1048

Ba_{0,6}Sr_{0,4}TiO₃ als steuerbares Dielektrikum



● Ba/Sr ● Ti ○ O



BST zeigt eine nicht-lineare Abhängigkeit der Permittivität von einer statischen E-Feldstärke

Auslenkung des Ti⁴⁺-Ions durch ein externes elektrisches Feld

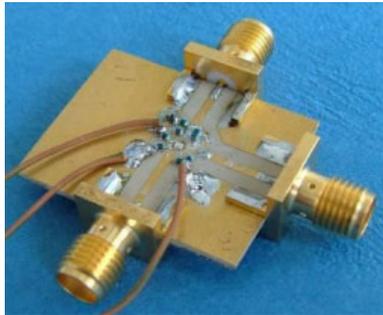
- *Leistungslose Steuerung*
- *Kontinuierlich steuerbar*
- *Steuerung im ns-Bereich*

Dielektrische Steuerbarkeit

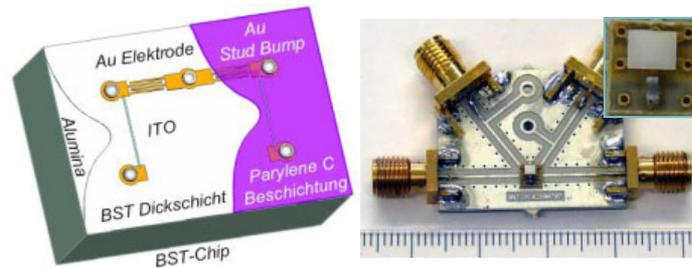
$$\tau_{\varepsilon}(E) = \frac{\varepsilon_r(E=0) - \varepsilon_r(E)}{\varepsilon_r(E=0)}$$

Realisierte Mikrowellenkomponenten

Steuerbarer Filter

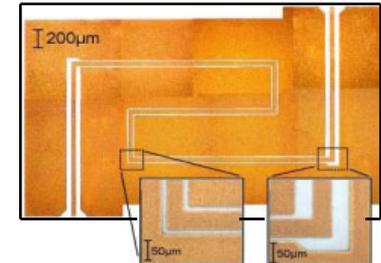


Steuerbares Anpassnetzwerk

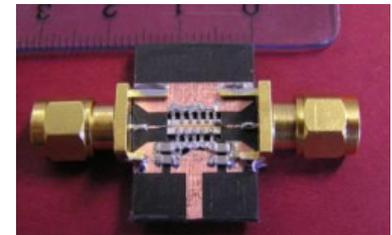


Phasenschieber

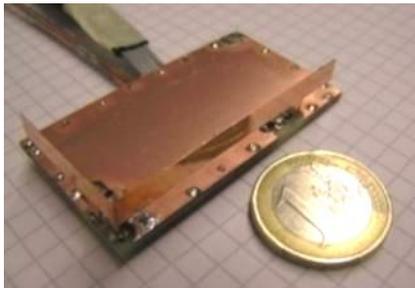
Leistungsgebundener Phasenschieber



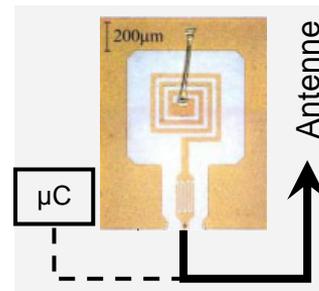
Linkshändiger Phasenschieber



Multibandantenne



RF-ID-Modulator



Mikrowellentechnik, Technische Universität Darmstadt

<http://www.mwe.tu-darmstadt.de/de/fachgebiete/mikrowellentechnik/forschung/ferroelectrics/ferroelectrics.html>

BST-Dickschichten - Einschränkungen

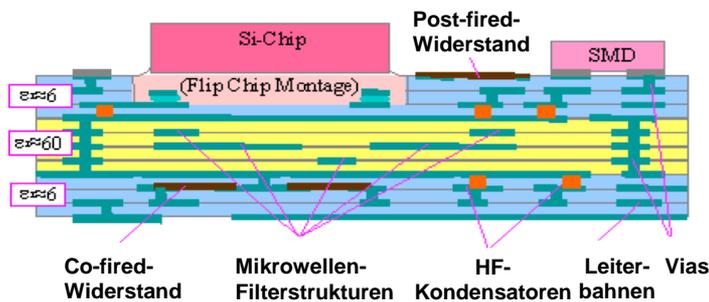
- **Sintertemperatur (~1200°C)**

→ nicht kompatibel mit LTCC-Technologie (Brenntemperatur 850-900°C)

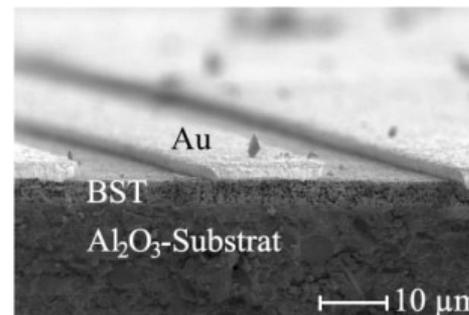
LTCC: Low Temperature Co-fired Ceramics

→ Processing von Elektrodenmaterial (e.g. Ag, Au) **nach** Sintern von BST

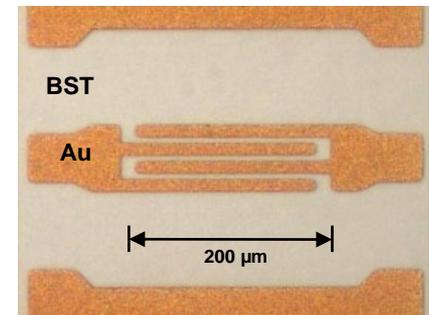
→ MIM-Strukturen in einem Sintervorgang nur möglich mit Platin, etc.



LTCC-Bauteil (<http://www.bam.de>)



Koplanarer Wellenleiter (Giere 2009) Interdigitaler Plattenkondensator



Additive für:

- 1.) Erniedrigung der Sintertemperatur
- 2.) gezielte Einstellung dielektrischer Parameter

Anforderungen Additivsysteme

- Herabsetzung Sinteremperatur
- Keine/kaum Fremdphasenbildung
- Geringe Permittivität und **dielektr. Verlust**
- Niedriger Erweichungspunkt

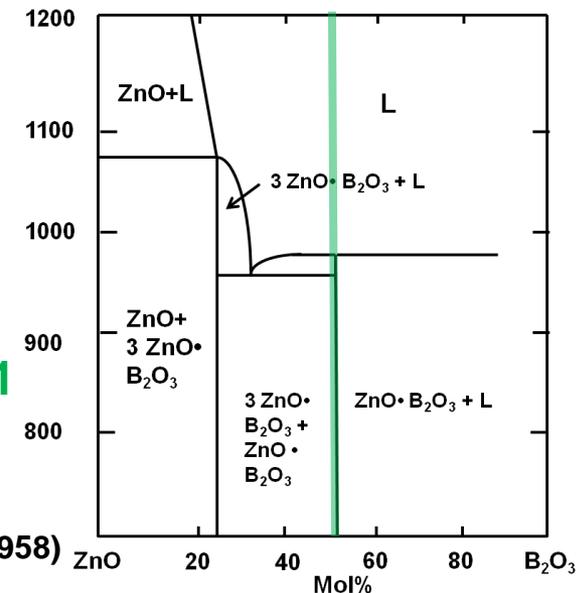
SiO ₂	B ₂ O ₃	Li ₂ O
-	+	+
-	±	±
+	±	-
-	+	+



Fokus auf binäre Boratsysteme

System:
ZnO – B₂O₃ 1:1

(based on Leonov, 1958)



Herstellung von BST-Dickschichten

Edukte:

- (Ba / Sr)-Acetate
- Ti(IV)- Isopropoxid
- in Essigsäure + Wasser
- Bei Cu-F-Kodotierung:
(Cu)-Acetat
- Trifluoressigsäure

Sol

Sprühtrocknen

Precursor

Kalzinieren (900°C)

Kalziniertes Pulver

Zugabe ZnO-H₃BO₃, Mahlen

Pulvergemische

Dispergieren

Paste

Siebdruck, Trocknen

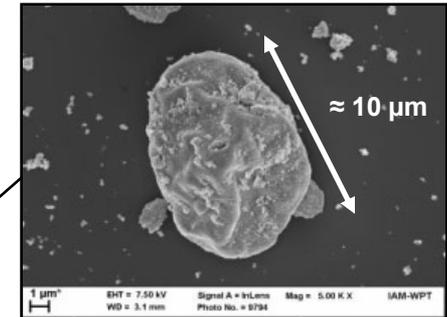
Dickschicht (grün)

Sintern(900°C)

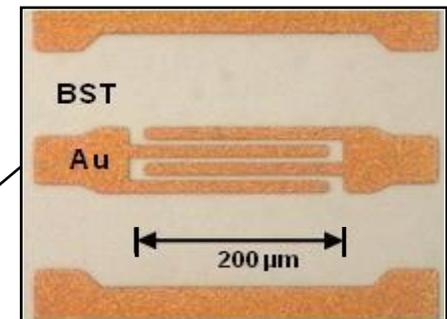
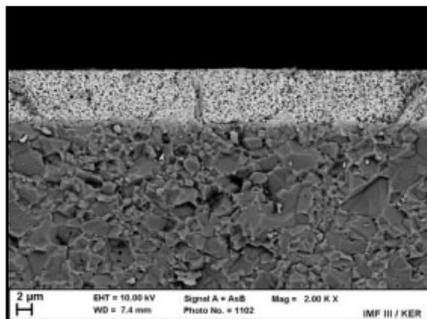
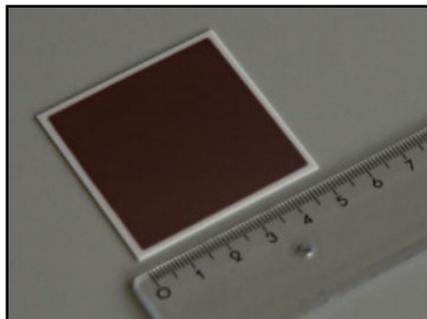
Dickschicht

Metallisierung

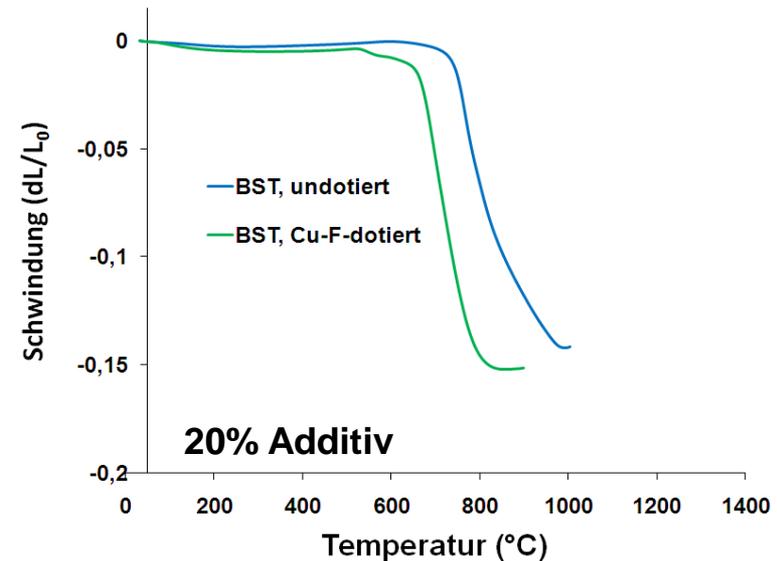
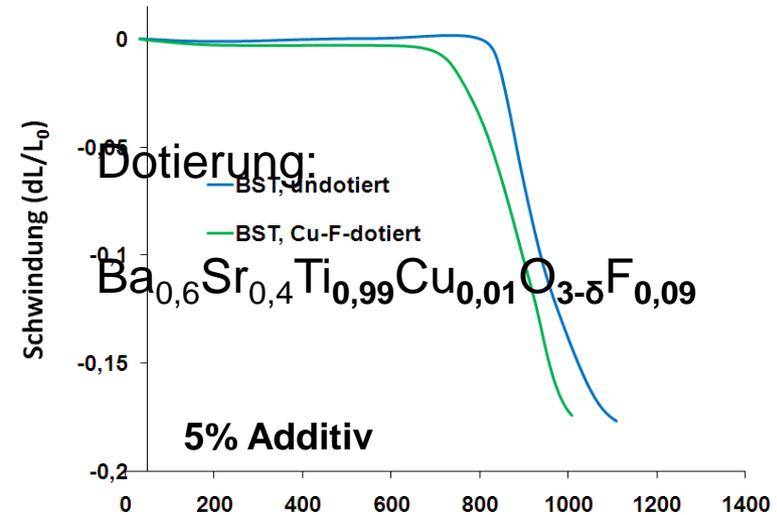
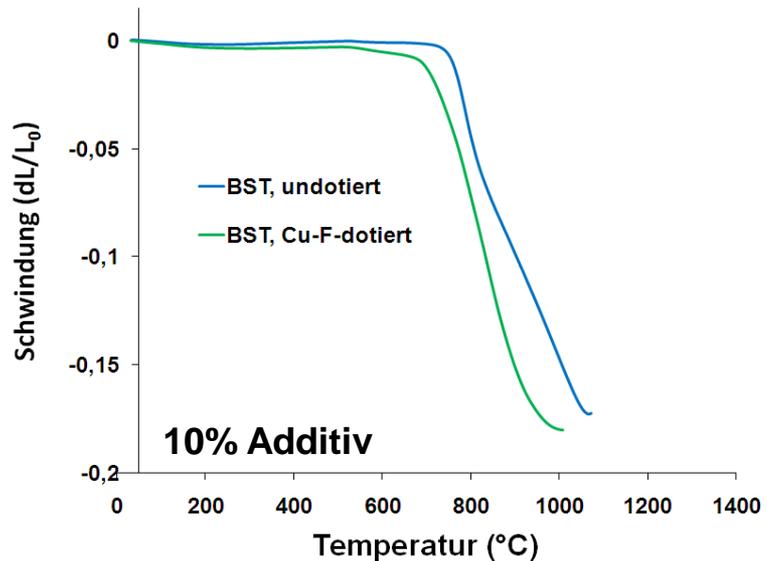
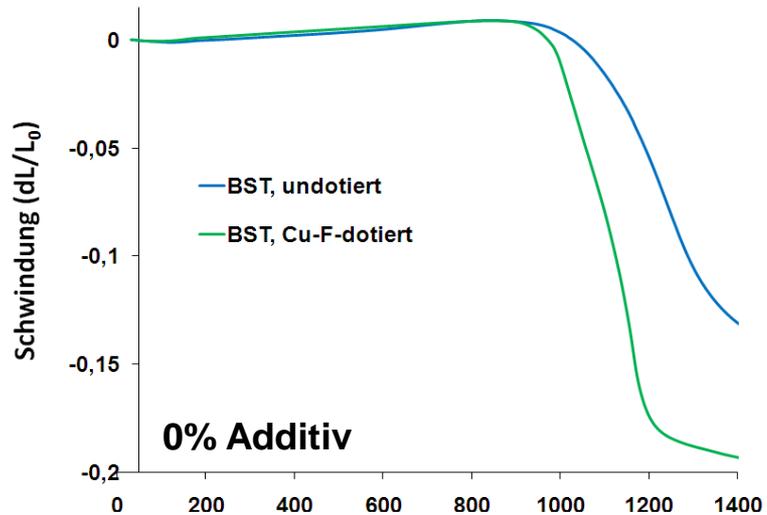
Teststruktur/Bauteil



Anteil ZnO-H₃BO₃:
5, 10, 20 vol%
(1,85, 3,84, 8,24 wt%)

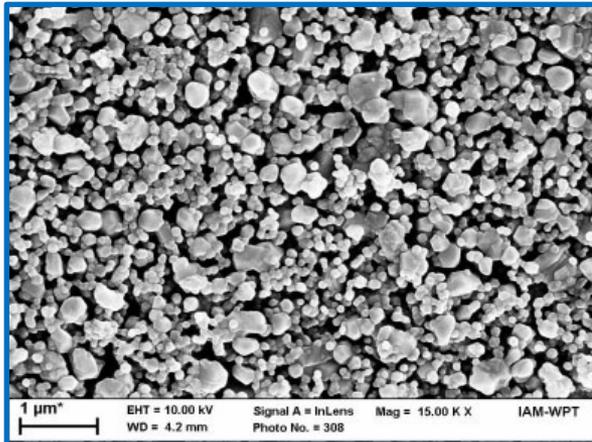


Dilatometrie – Vergleich

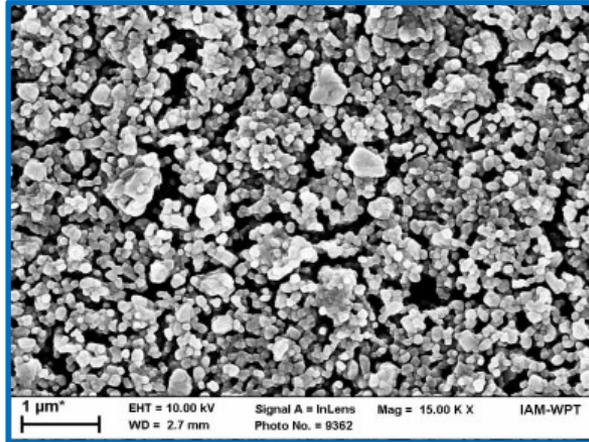


Mikrostruktur – Dickschichten (gesintert @900°C)

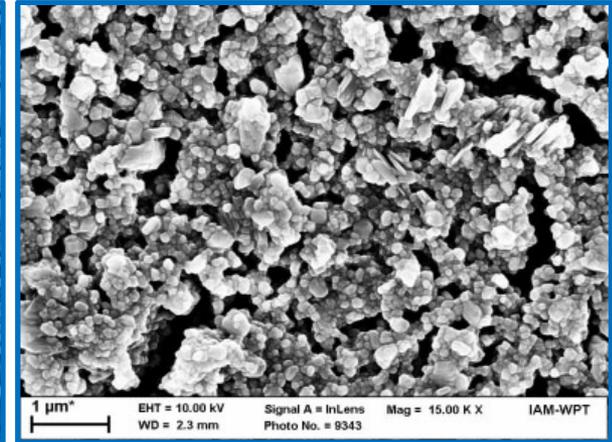
Undotiert, 5% Add.



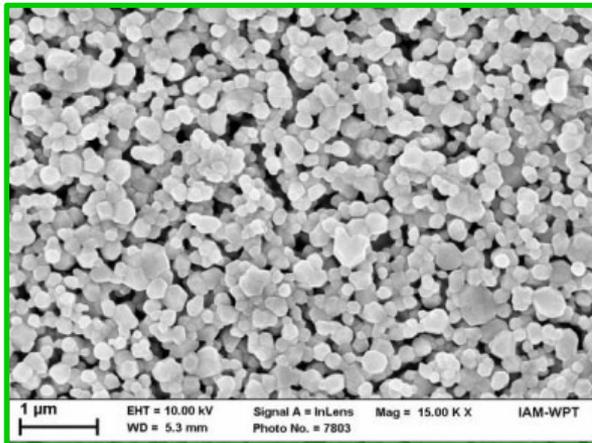
Undotiert, 10% Add.



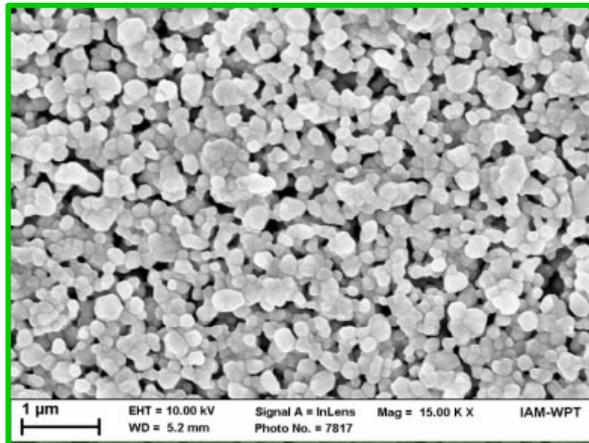
Undotiert, 20% Add.



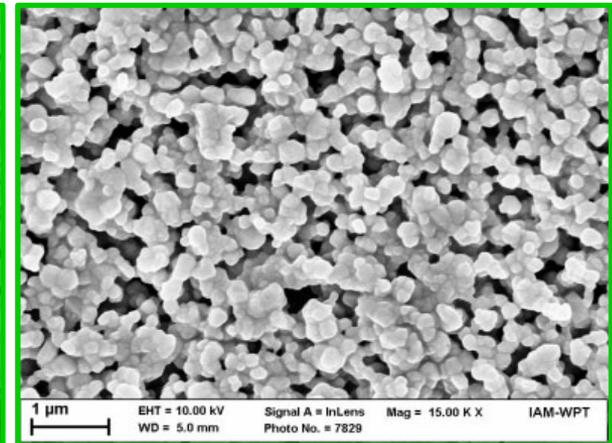
Cu-F-dotiert, 5% Add.



Cu-F-dotiert, 10% Add.

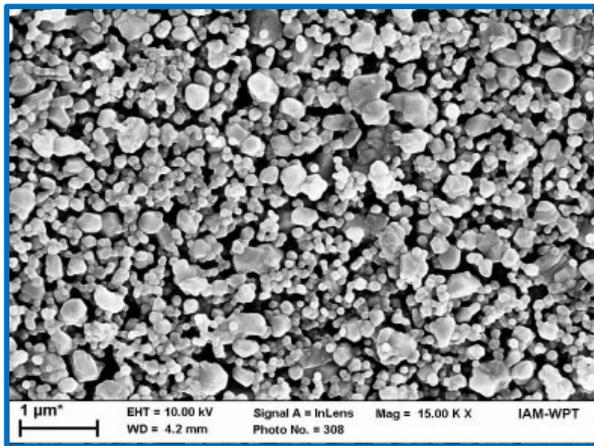


Cu-F-dotiert, 20% Add.

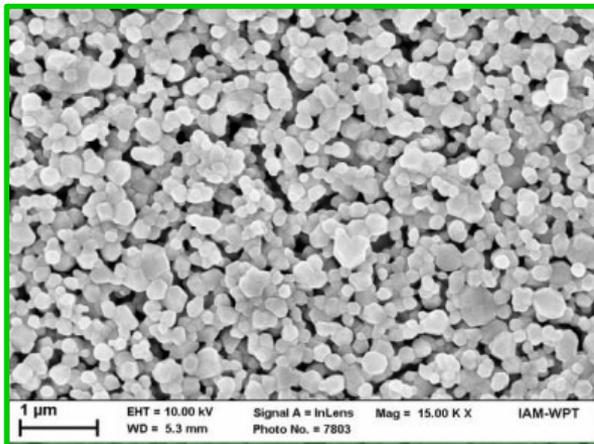


Mikrostruktur – Dickschichten (gesintert @900°C)

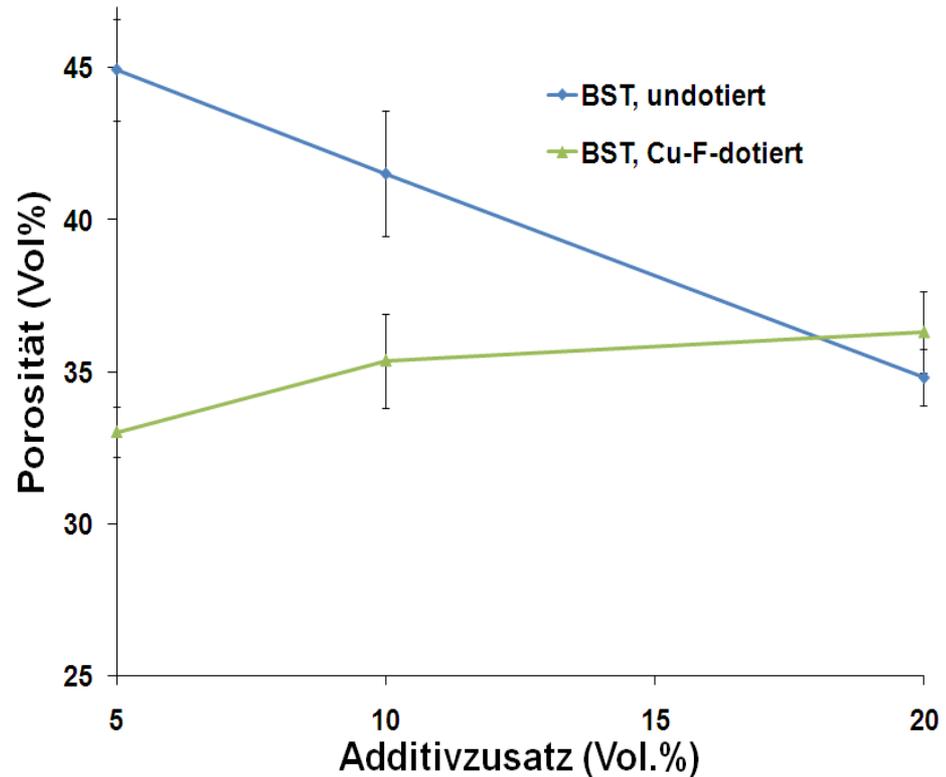
Undotiert, 5% Add.



Cu-F-dotiert, 5% Add.



Porosität



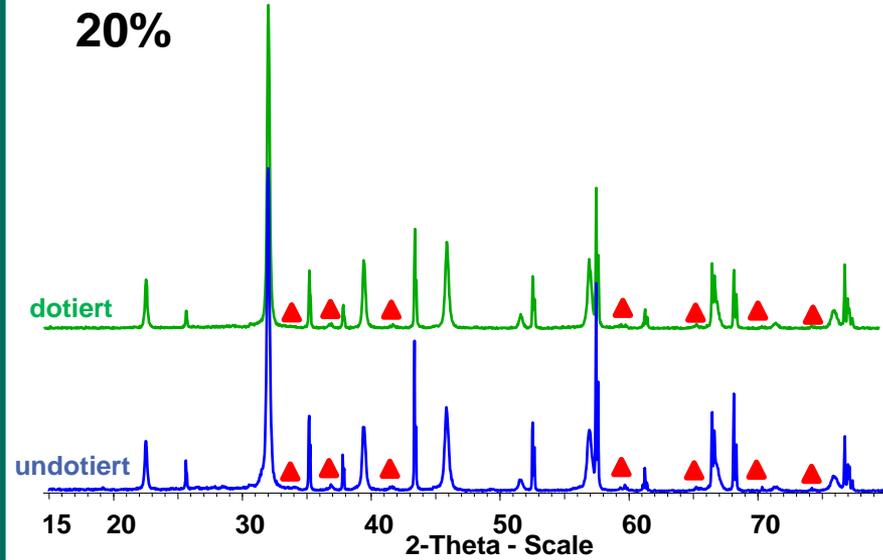
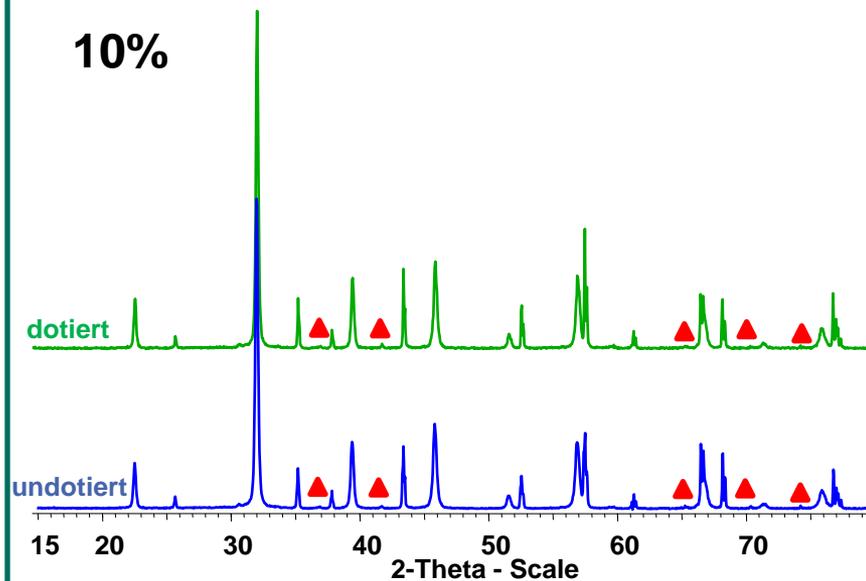
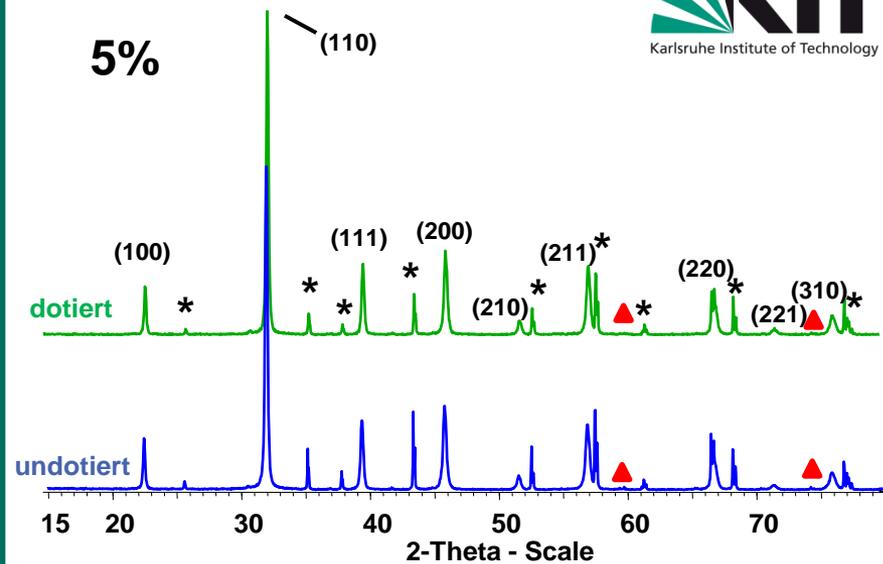
XRD - Phasenbestand

(hkl) : BST

* : Al_2O_3 ▲ : Fremdphasen

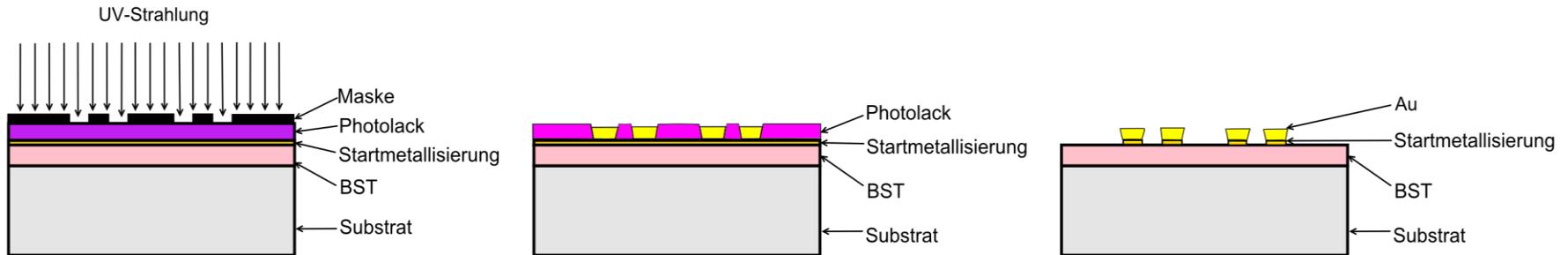
→ Fremdphasenbildung gering, steigt mit Additivzugabe

→ kein sichtbarer Versatz der BST-Reflexe; Ba/Sr Verhältnis konstant



Dielektrische Charakterisierung

Strukturierung der Koplanarleitung



Streuparameter S_{ij}

$$b_1 = s_{11} \cdot a_1 + s_{12} \cdot a_2$$

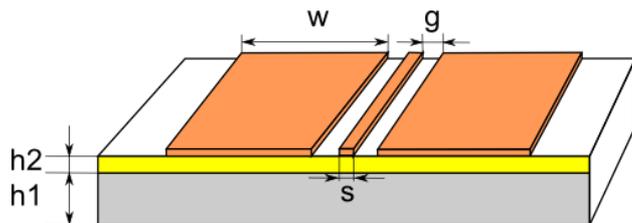
$$b_2 = s_{21} \cdot a_1 + s_{22} \cdot a_2$$

$$w = 300 \mu\text{m}$$

$$g = 10 \dots 20 \mu\text{m}$$

$$s = 10 \mu\text{m}$$

$$h_2 = 4 \dots 8 \mu\text{m}$$



analytisches
Modell



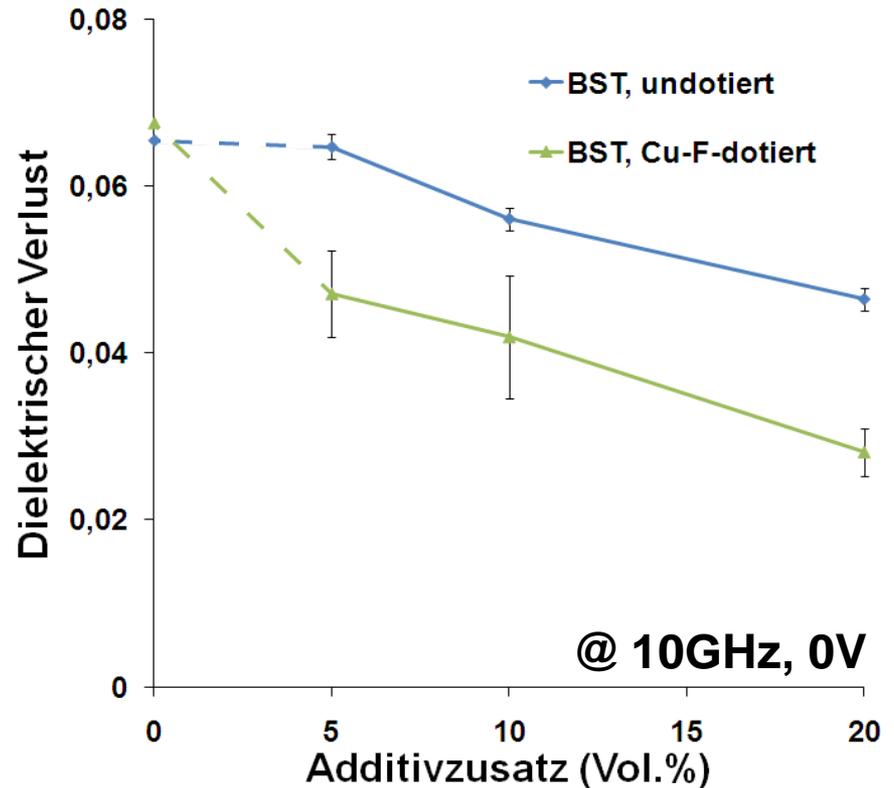
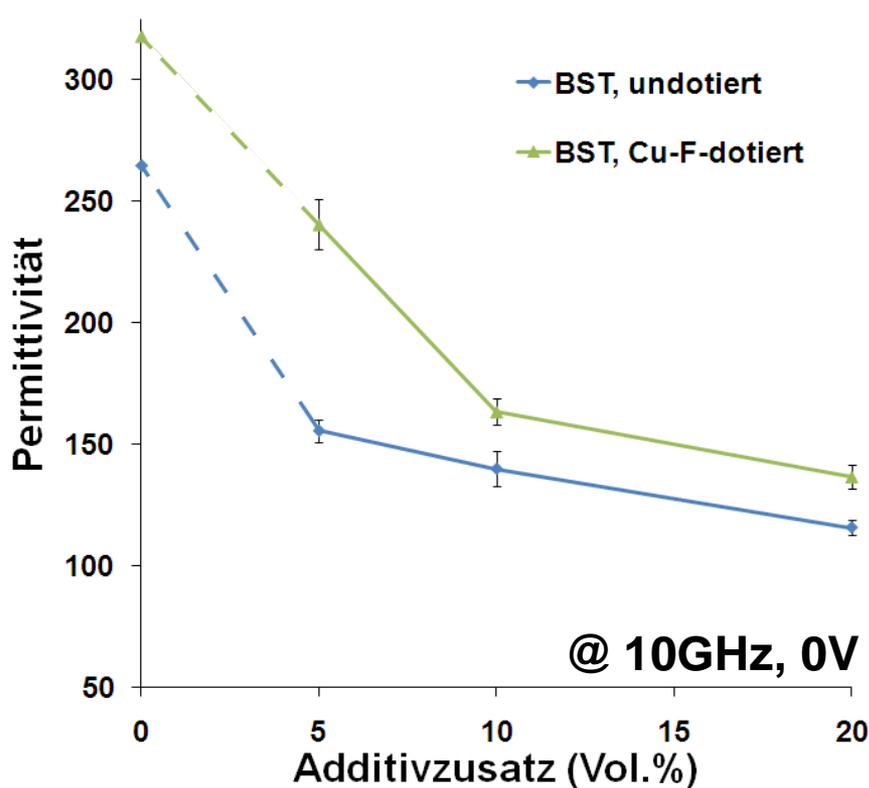
Permittivität ϵ_r
($f = 0 - 40 \text{ GHz}$)

Verlustfaktor $\tan\delta$
($f = 0 - 40 \text{ GHz}$)

Steuerbarkeit $\tau(E)$
($E = 0 - 10 \text{ V}/\mu\text{m}$)

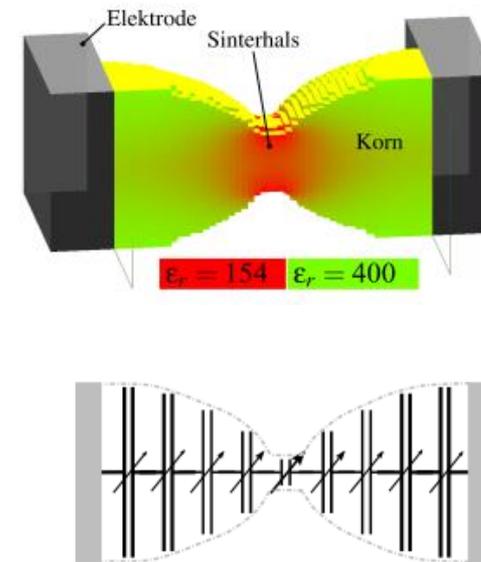
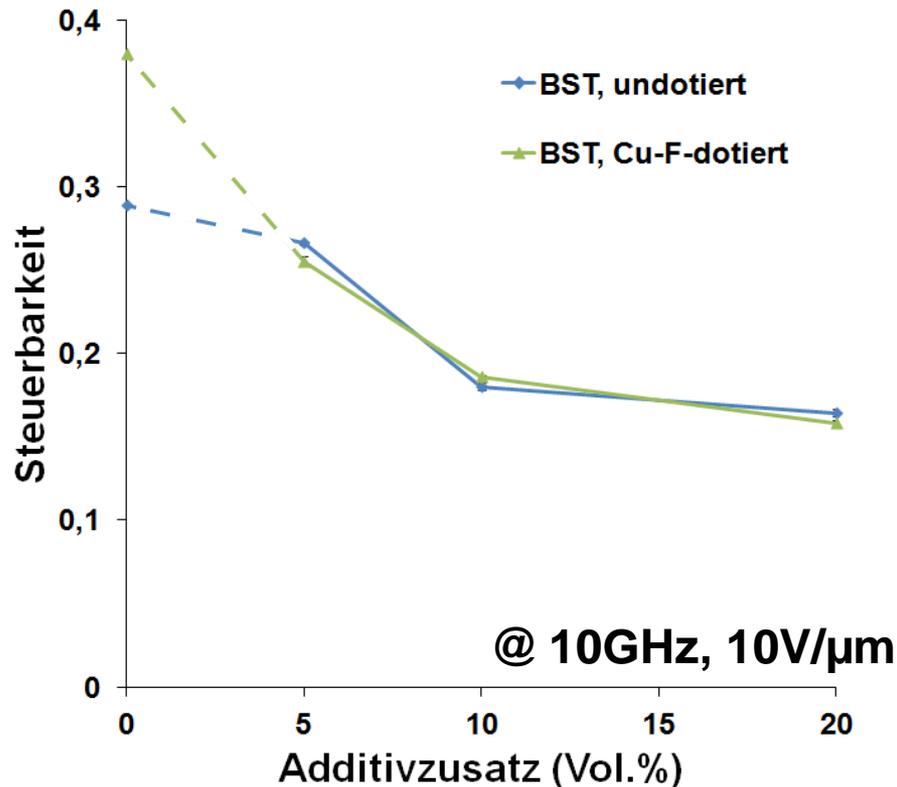
Vergleich – Dielektrische Eigenschaften

Dickschichten mit Additiv gesintert bei 900°C/1h
 ohne (0%) gesintert bei 1200°C/1h



Vergleich – Dielektrische Eigenschaften

Dickschichten mit Additiv gesintert bei 900°C/1h
 ohne (0%) gesintert bei 1200°C/1h



A. Giere et al., *Frequenz* **62** (2008) 47-51

Cu-F-Kodotierung → Erniedrigung dielektr. Verlust, vergleichbare Steuerbarkeit

Zusammenfassung

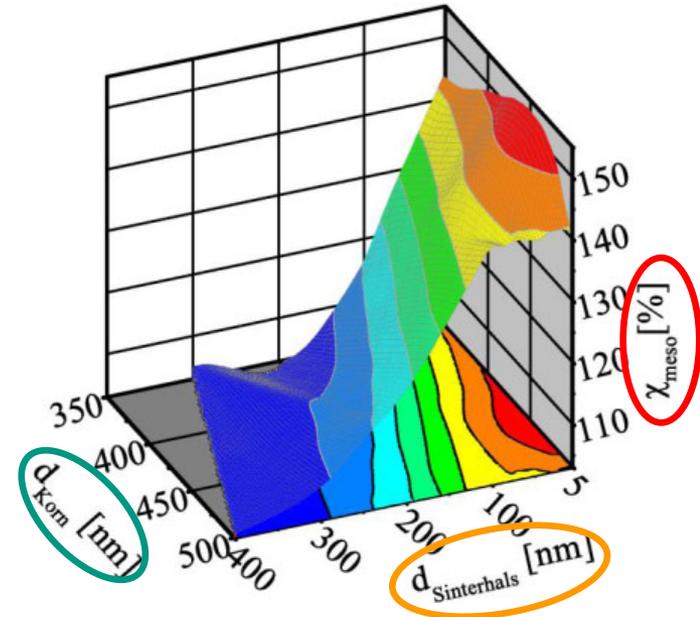
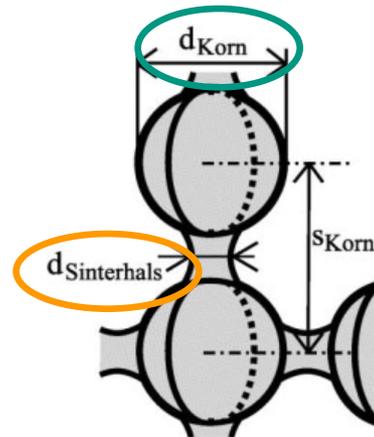
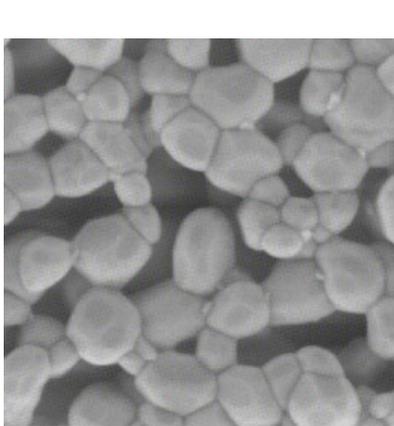
- Herabsetzung der Sinteremperatur für Dickschichten erreicht
- Einfluss der Additivmenge sowie Dotierung auf Mikrostruktur und dielektrische Eigenschaften
- Gute Annäherung an hochsinternde BST-Dickschichten (1200°C) hinsichtlich der dielektrischen Eigenschaften

→ Gezielte Einstellung der Eigenschaften möglich

Vielen Dank für eure Aufmerksamkeit!

Modellierung des Gefügeeinflusses

Model zur Simulation der effektiven dielektrischen Eigenschaften mit Hilfe der FDTD Methode



Material-Steuerbarkeitseffizienz

$$\chi_{meso} = \frac{\tau_{meso}}{\tau_{bulk}}$$

$$\frac{d_{Korn}}{d_{Sinterhals}} \uparrow \Rightarrow \chi_{meso} \uparrow$$

Giere, Zhou, et. al. Frequenz, 2008, 3/4, 47

TG/DSC – H₃BO₃-ZnO 50:50

