



Abschließende Ergebnisse im Projektverbund Umweltverträgliche Anwendungen der Nanotechnologie

3rd International Congress
Next Generation Solar Energy Meets Nanotechnology
23 - 25 November 2016, Erlangen

Nanostrukturierte thermoelektrische Materialien

**Prof. Dr. Martin S. Brandt,
Dipl.-Phys. Anton Greppmair, Dr. rer. nat. Benedikt Stoib**

Technische Universität München

Walter Schottky Institut, Physik Department, Lehrstuhl E25



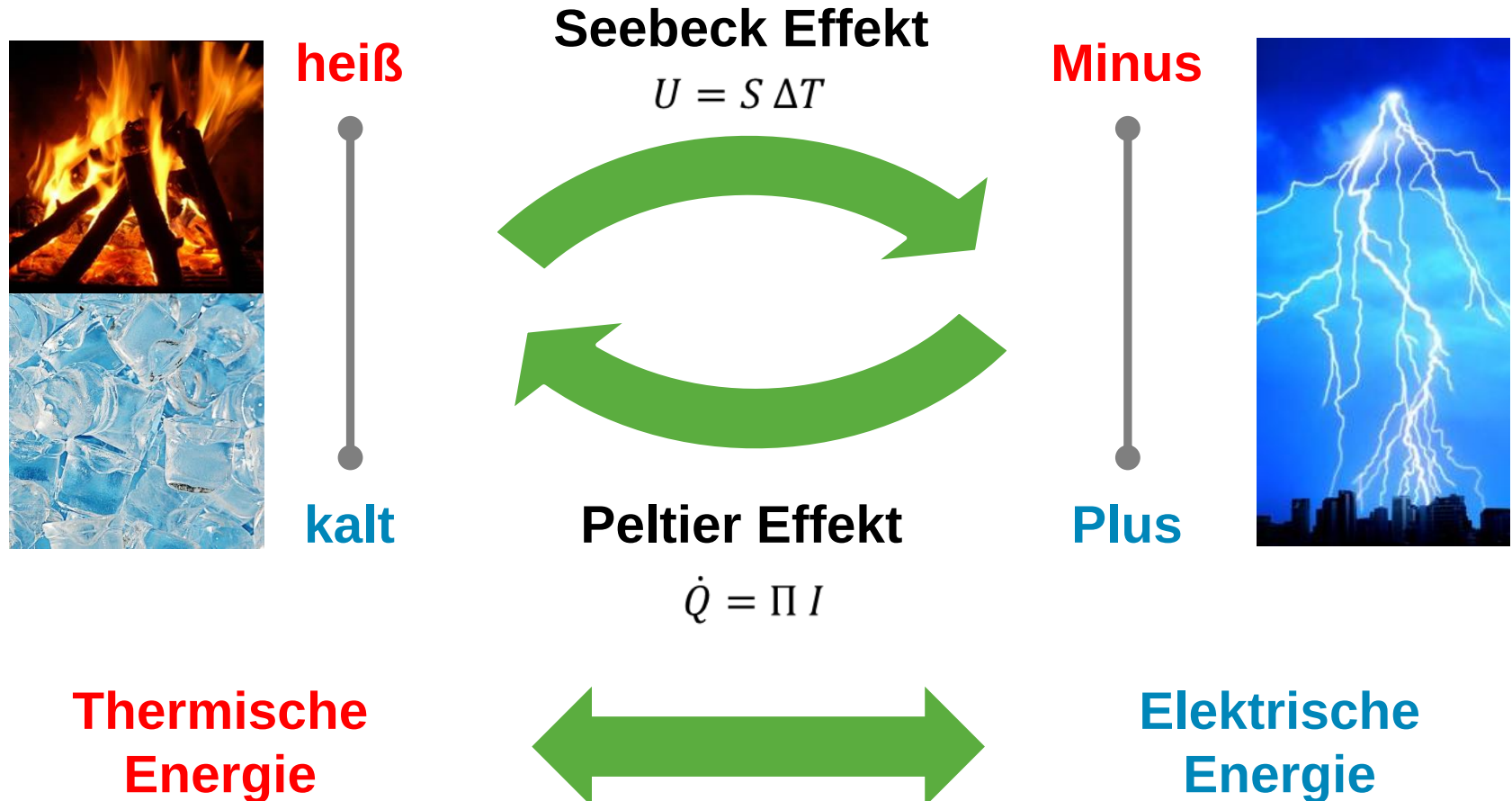
**Thermische
Energie**



**Elektrische
Energie**

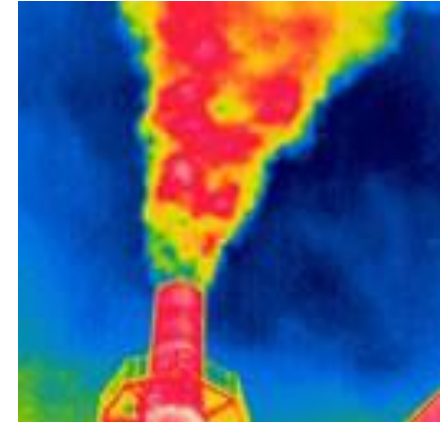
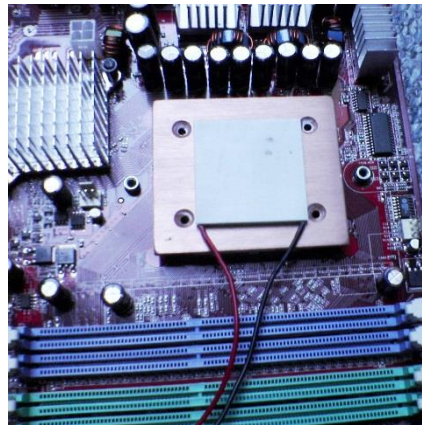
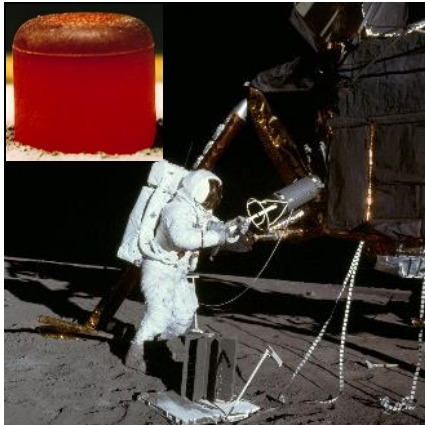
Thermoelektrizität

Was ist Thermoelektrizität?



Thermoelektrische Generatoren (TEGs)

Anwendungen in Vergangenheit und Zukunft



→ TEGs als Baustein für die Energiewende

www.orange.com

www.press.bmwgroup.com

G. J. Snyder, *The Electrochemical Society Interface*, p.54 (Fall 2008)

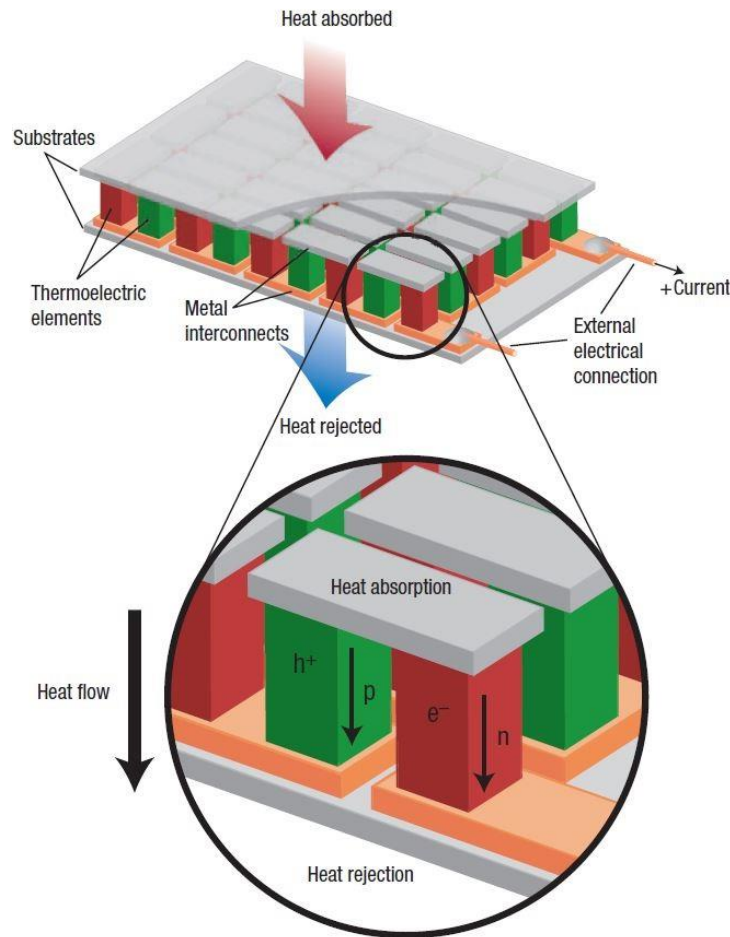
www.waeco.com

www.seiko.com

spaceflight.nasa.gov

Thermoelektrische Generatoren (TEGs)

Funktionsweise



Gütezahl der Thermoelektrikzität

$$ZT = \frac{S^2 \sigma}{\kappa} T$$

S : Seebeckkoeffizient

σ : elektrische Leitfähigkeit

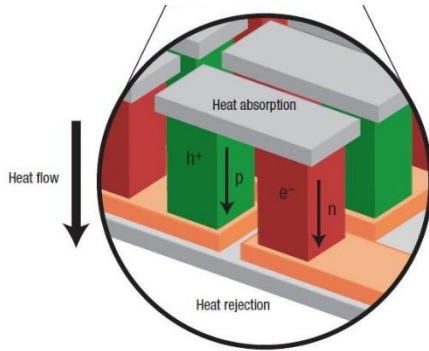
κ : thermische Leitfähigkeit

T : Temperatur

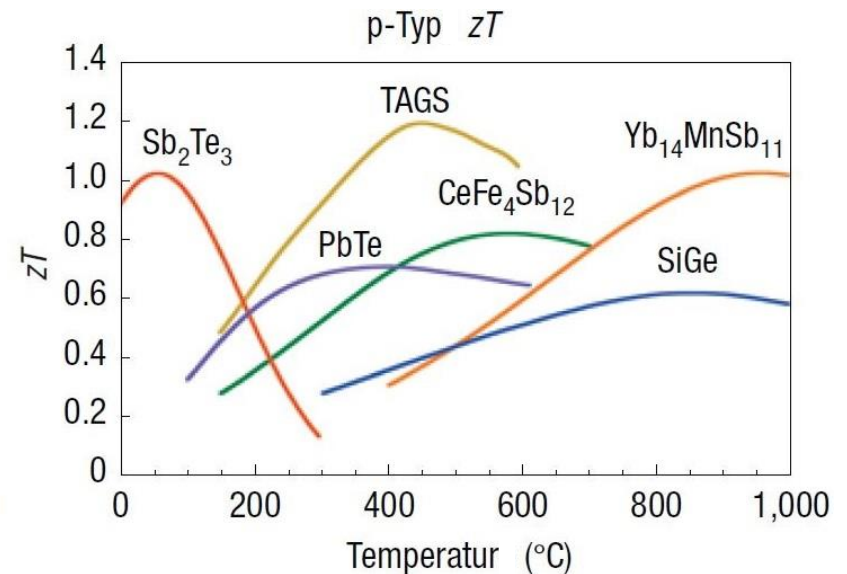
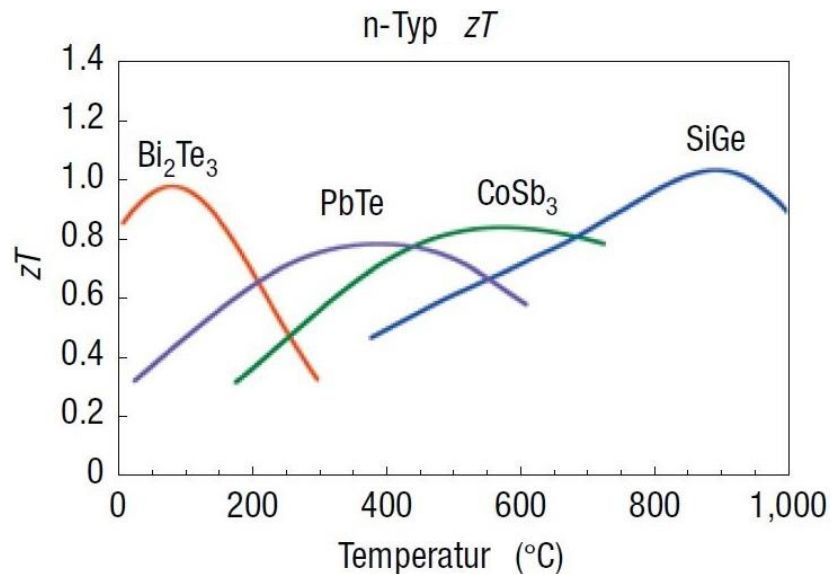
→ **ZT ist zu maximieren!**

Thermoelektrische Generatoren (TEGs)

Viele toxische Materialien in Anwendung



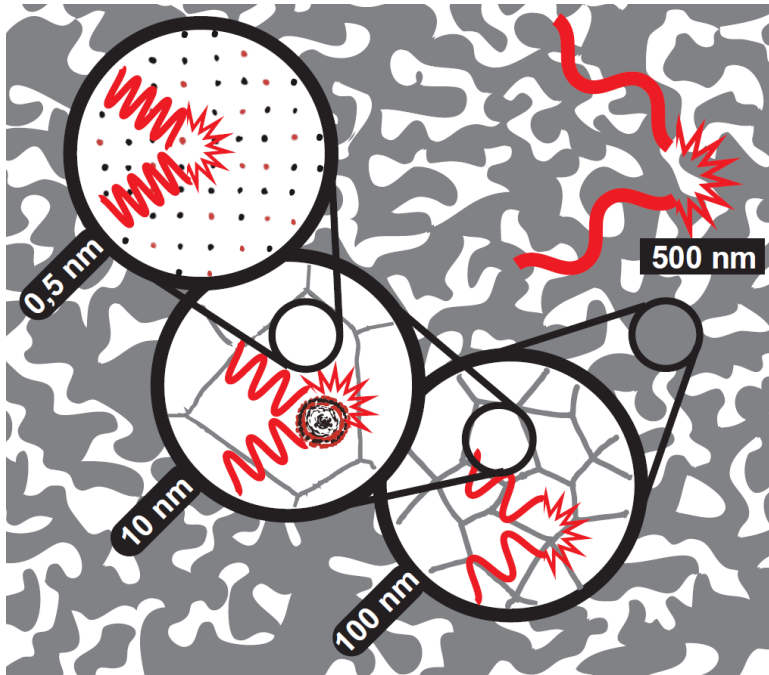
→ Es sind zwei Typen
eines Materials nötig!



G. J. Snyder, E. S. Toberer, *Nature materials* **7**, 105 (2008)

Wärmeleitfähigkeit

Reduktion durch Nanostrukturierung



- Herstellung von nanostrukturierten, thermoelektrischen Materialien
- Verwendung von SiGe-Legierungen statt umweltschädlicher Materialien wie z.B. Pb

→ Struktur auf allen Längenskalen kann die Wärmeleitung reduzieren.

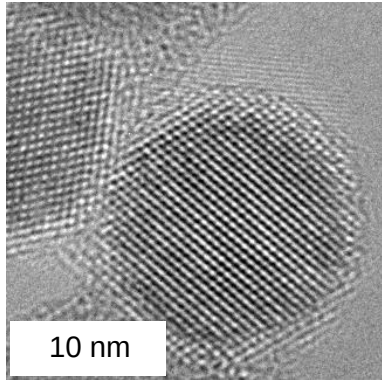
Thermoelektrika aus Nanopartikeln

Forschung an der TU München

UMWELTnanoTECH

Projektverbund · Umweltverträgliche
Anwendungen der Nanotechnologie

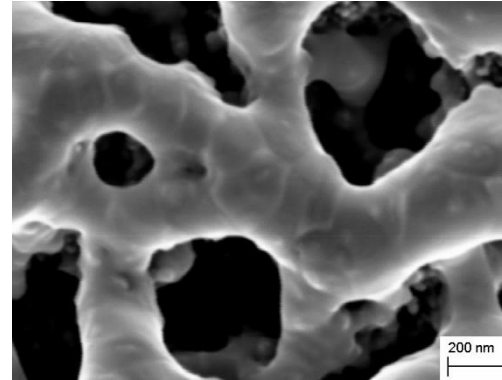
Nanopartikel



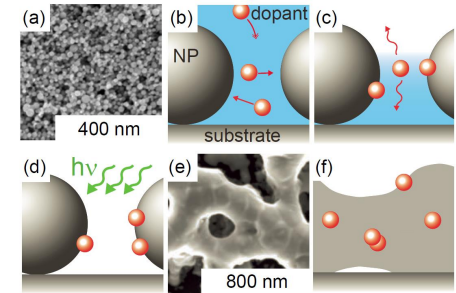
Tinten



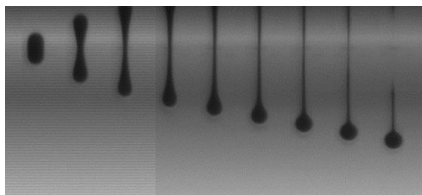
Nanostrukturierung durch Laser Sintern



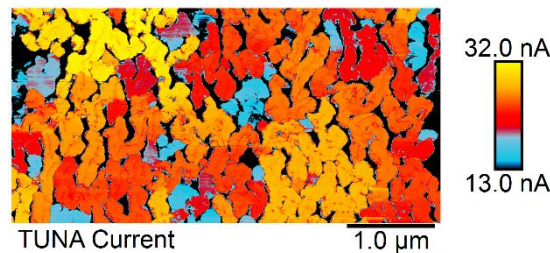
Dotierung



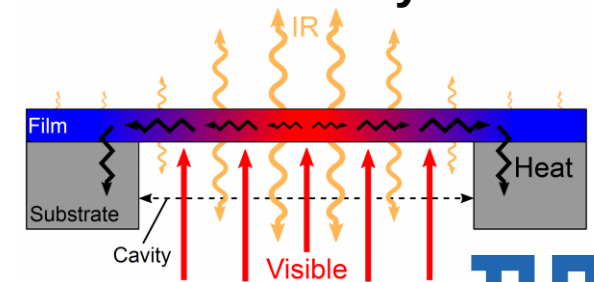
P5: Drucktechnik



P10: Nanoanalytik



Thermische Analytik



TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
GEORG SIMON OHM

TECHNISCHE HOCHSCHULE
DEGGENDORF

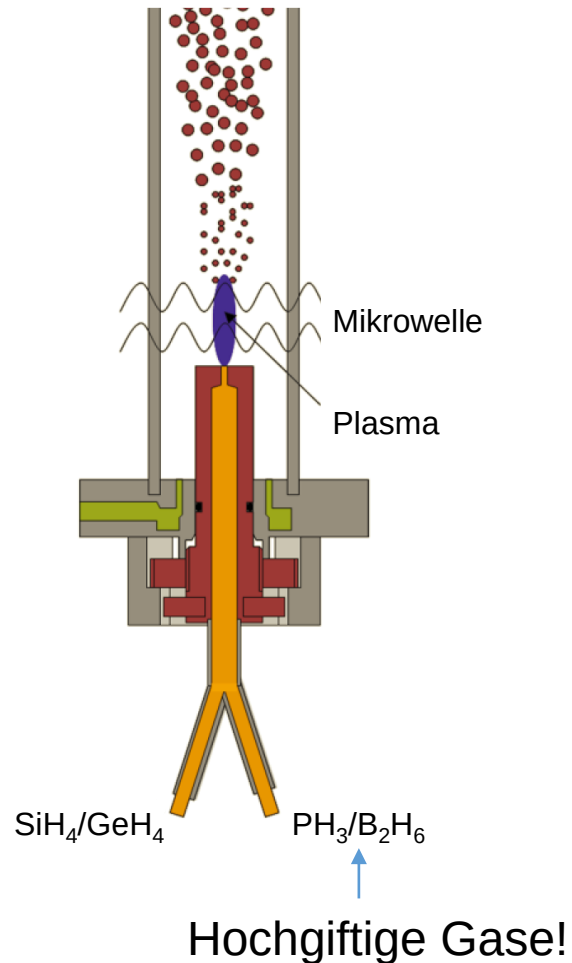
Technische Universität München



Dotierung von Si- und Ge-Nanopartikeln

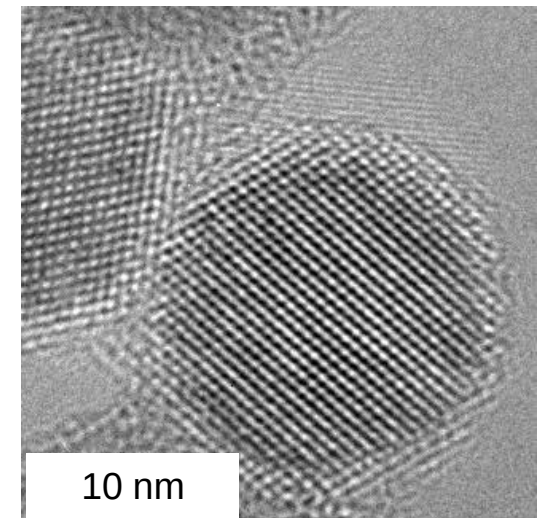
Vermeidung giftiger Gase

Dotieren während
der Plasmasynthese



Dotieren in
wässriger Lösung

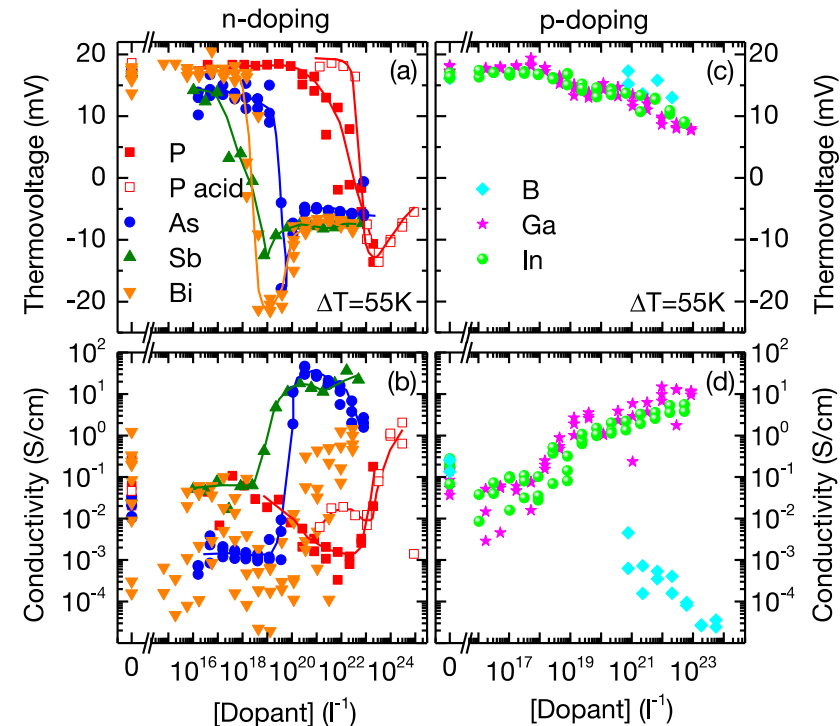
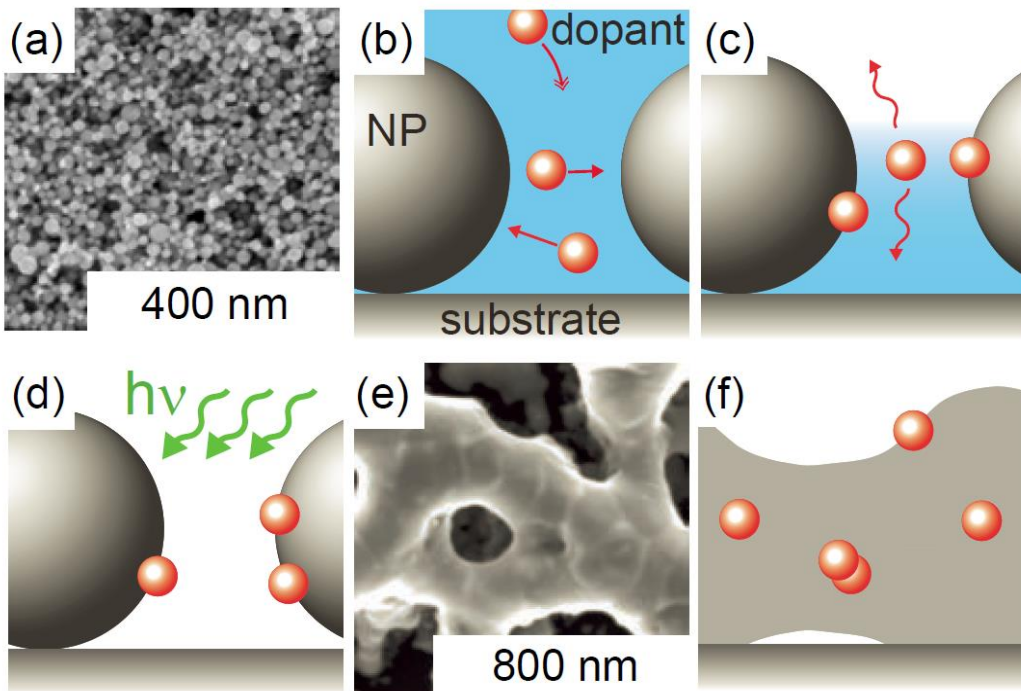
Kristalline
Nanopartikel



- Verwendung unproblematischer
Lösungen

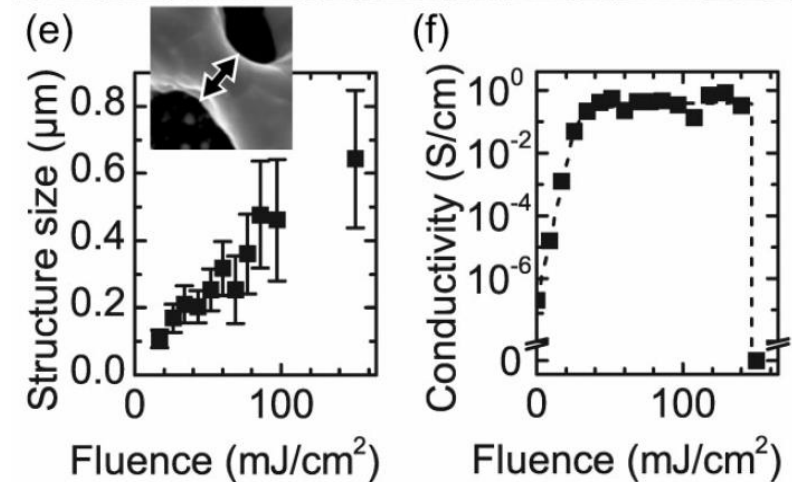
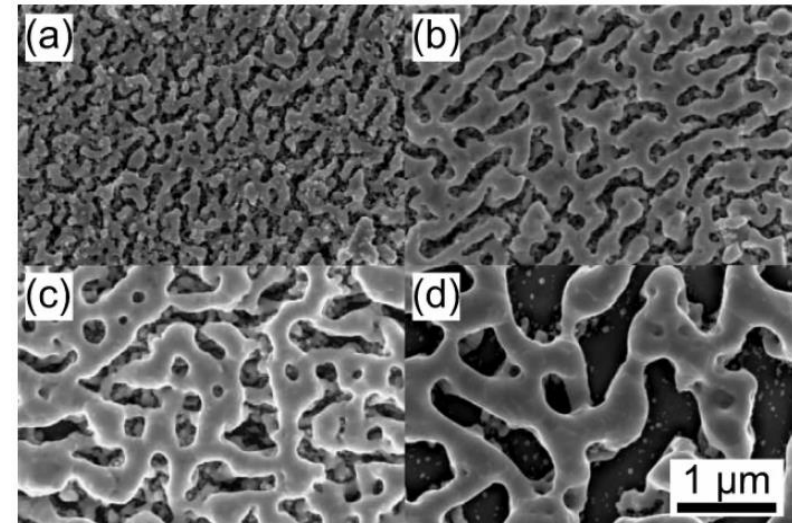
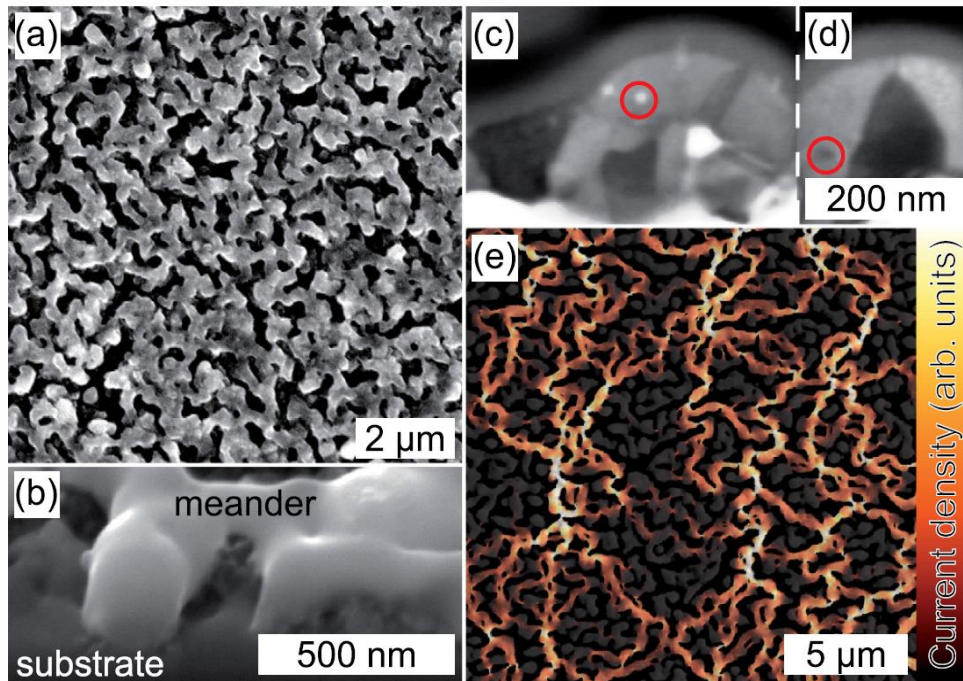
Flexibles Dotieren in wässriger Lösung

Dotiermechanismus



- Erlaubt den flexiblen Einsatz von p- und n-Typ Dotanden
- Einsatz bei verschiedenen SiGe-Legierungen
- Leitfähigkeit durch Flüssigkeitskonzentration um Größenordnungen einstellbar

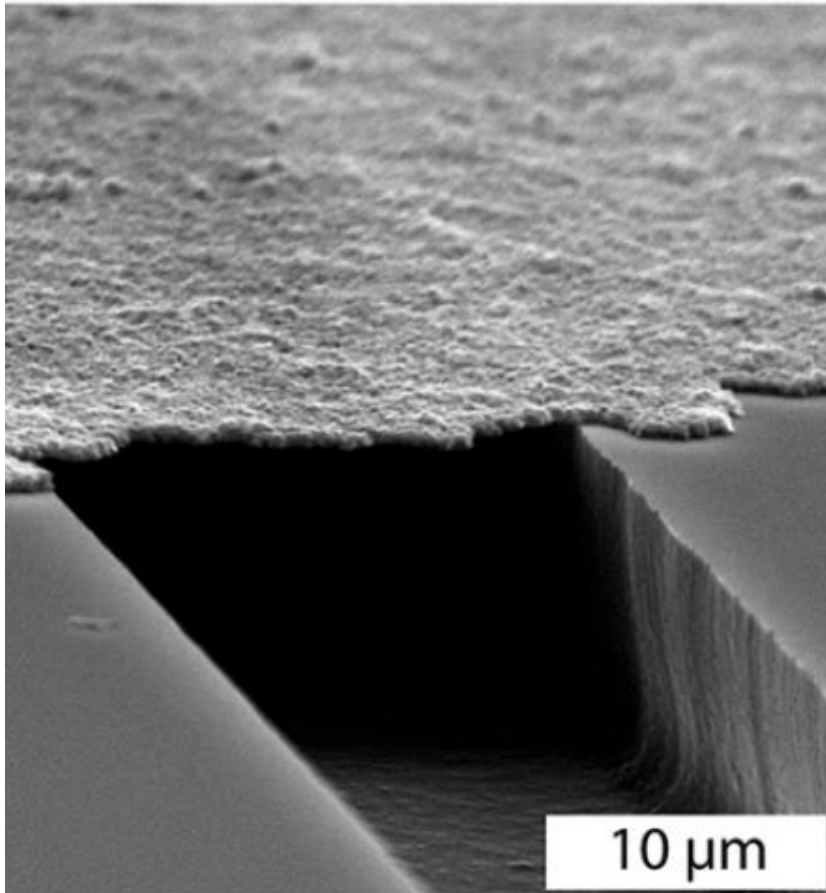
Leitung durch Lasersintern Strukturgröße



- Sintern von Si und Ge NP führt zu meanderartigen Dünnschichten
- Die Leitfähigkeit wird erhöht und die Strukturgrößen ändern sich

Messung der Wärmeleitfähigkeit κ

Eliminierung des Substrateinflusses



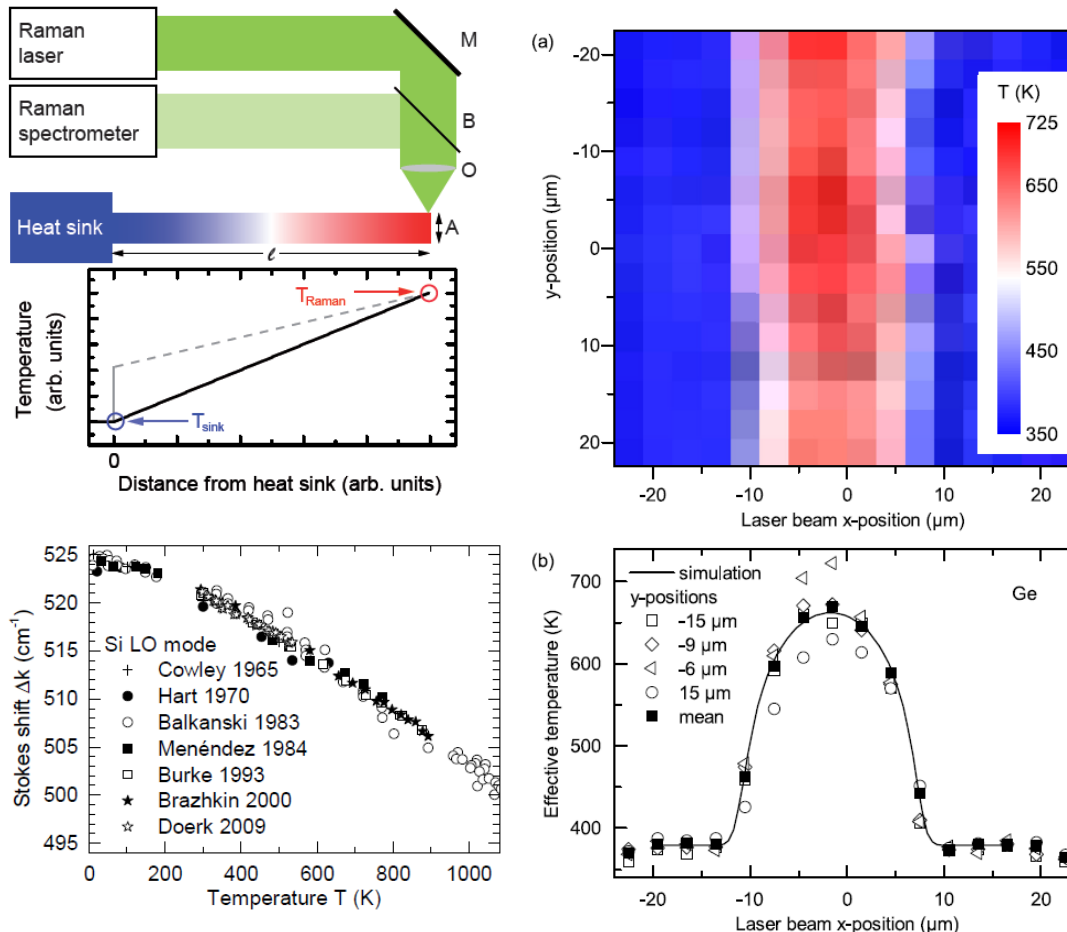
Präparation freistehender Schichten

- Messung der Wärmeleitfähigkeit in der Probenebene möglich, ohne verfälschenden Einfluss des Substrates
- Erzeugung eines Temperaturgradienten durch lokale optische Anregung



Messung der Wärmeleitfähigkeit κ

Die Raman-Shift-Methode

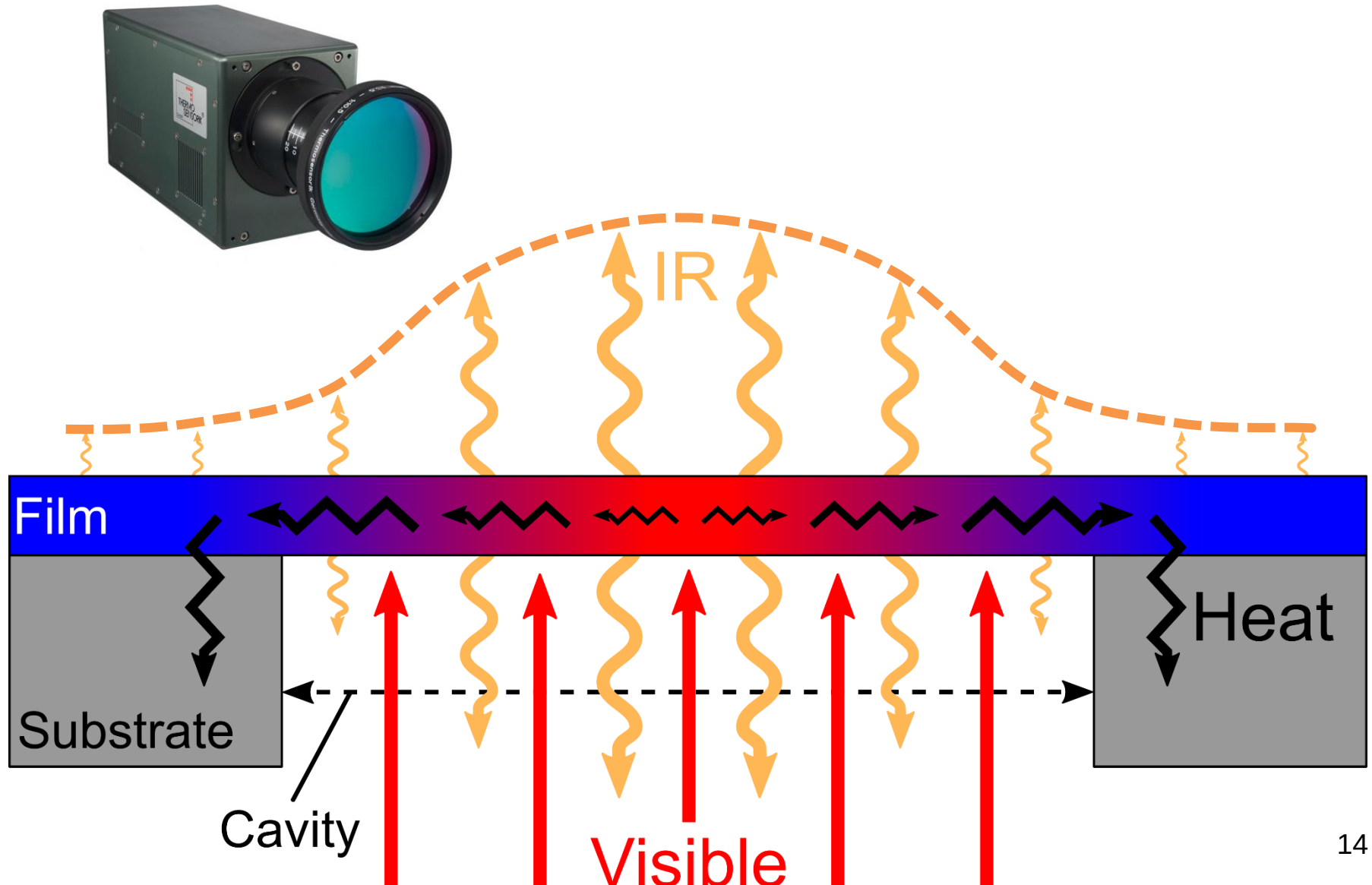


- Anregung durch fokussierten Laser
- Ramansignal birgt Temperaturinformation
- Simulation des Temperaturverlaufes liefert die Wärmeleitfähigkeit

➔ Jeder Pixel muss einzeln gemessen werden.

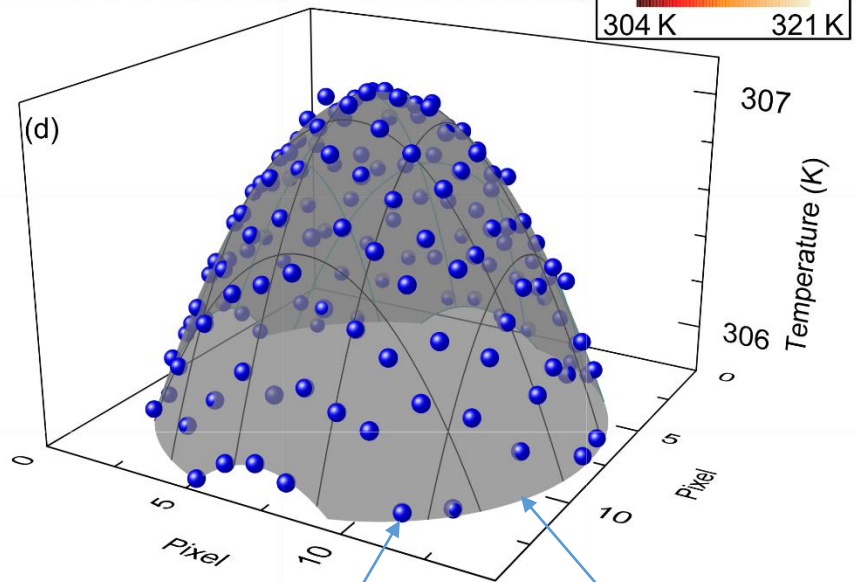
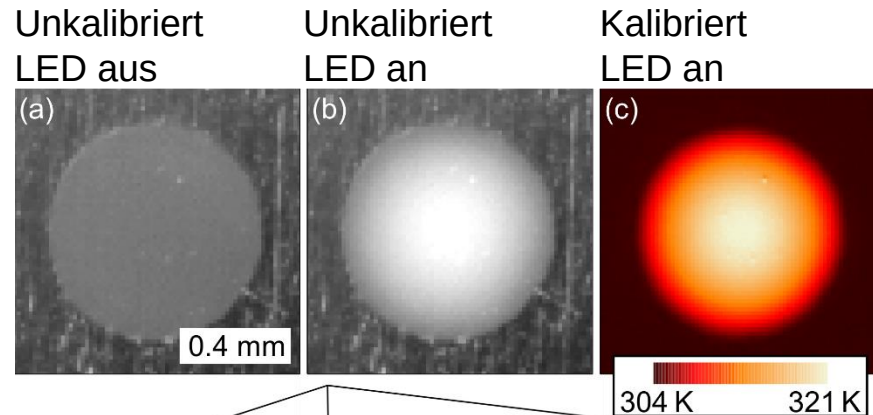
Thermographie-Methode

Prinzip der Methode



Thermographie-Methode

Messung der Wärmeleitfähigkeit κ



PEDOT:PSS-Messung

angepasstes Paraboloid

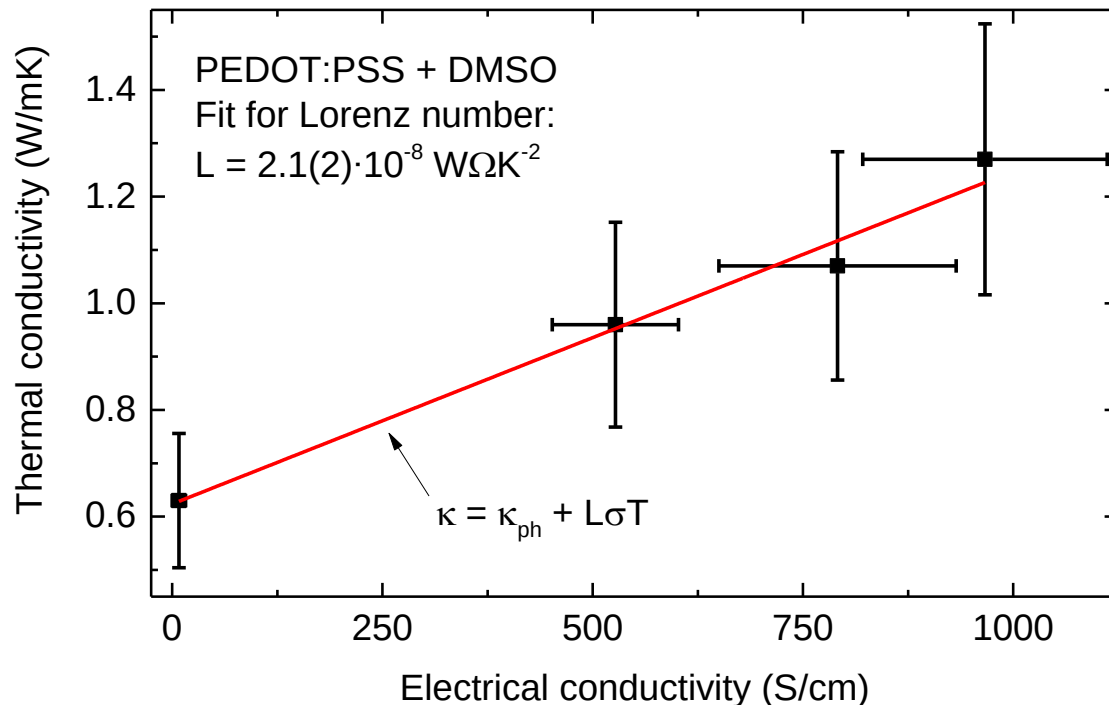
- Homogene Anregung führt zu parabolischem Temperaturprofil
- Analytische Lösung:

$$T(r) = -\frac{p_{Abs}}{4 \kappa d} r^2 + T_{max}$$

κ	thermische Leitfähigkeit
p_{Abs}	absorbierte Flächenleistung
d	Filmdicke

- Methode an Hand von Aluminium, Edelstahl und kristallinem Silizium verifiziert
- Ergebnisse für PEDOT:PSS und Polyimid stimmen gut mit Literatur überein
- Sandwich-Methode zur Messung von empfindlichen Filmen und IR-transparenten Filmen

PEDOT:PSS:



Gesinterte Ge Nanopartikelfilme:

- $\kappa < 0.3 \text{ W/mK}$
- Reduktion um mehr als zwei Größenordnungen
- Stimmen gut mit Raman-Shift-Methode überein

Vielen Dank!

UMWELT nanoTECH

Projektverbund · Umweltverträgliche
Anwendungen der Nanotechnologie

Finanzierung:

UMWELT nanoTECH

Projektverbund · Umweltverträgliche
Anwendungen der Nanotechnologie

finanziert durch
Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz



Kooperation:



Technische Universität München



Studenten:

Michael Obermaier, Simon Filser, Caroline Gerstberger, Natalie Galfe