



# Piezelektrische Beschichtungen für die Knochenregeneration

## Piezelektrické povlaky pro regeneraci kostí regenerace kostí

Ute Bergmann, Julia Tondera, Institut für Werkstoffwissenschaft, Technische Universität Dresden, Deutschland

### Einführung:

Knochen und Kollagen sind piezelektrische Materialien, sie wandeln mechanische Belastungen in elektrische Signale um. Biochemische Signalwege werden zur Stimulierung verschiedener Prozesse genutzt, die an allen Umbauprozessen des Knochens beteiligt sind (Ausschüttung von Wachstumsfaktoren, Zellaufbau- und Differenzierungskaskaden). Der Einsatz von Bioimplantaten stört jedoch diese natürlichen Signalwege. Um Knochenersatzmaterialien dem echten Knochen ähnlicher zu machen, sollten ihre mechanischen und elektrischen Eigenschaften neu eingestellt werden. Ein möglicher Weg, diese Ersatzstoffe so einzustellen, dass sie die Osseointegration (Knochenregeneration) verbessern, ist die Herstellung piezelektrischer Beschichtungen für Knochenimplantate.

### Úvod:

Kosti a kolagen jsou piezelektrické materiály, které převádějí mechanické napětí na elektrické signály. Biochemické signální dráhy slouží ke stimulaci různých procesů, které se podílejí na všech procesech remodelace kostí (uvolňování růstových faktorů, buněčné formační a diferenační kaskády). Použití bioimplantátů však tyto přirozené signální dráhy narušuje. Aby se materiály kostních náhrad více podobaly skutečné kosti, měly by být znovu upraveny jejich mechanické a elektrické vlastnosti. Jedním z možných způsobů, jak tyto náhrady upravit tak, aby se zlepšila osteointegrace (regenerace kosti), je výroba piezelektrických povlaků pro kostní implantáty.

### piezoelectrics

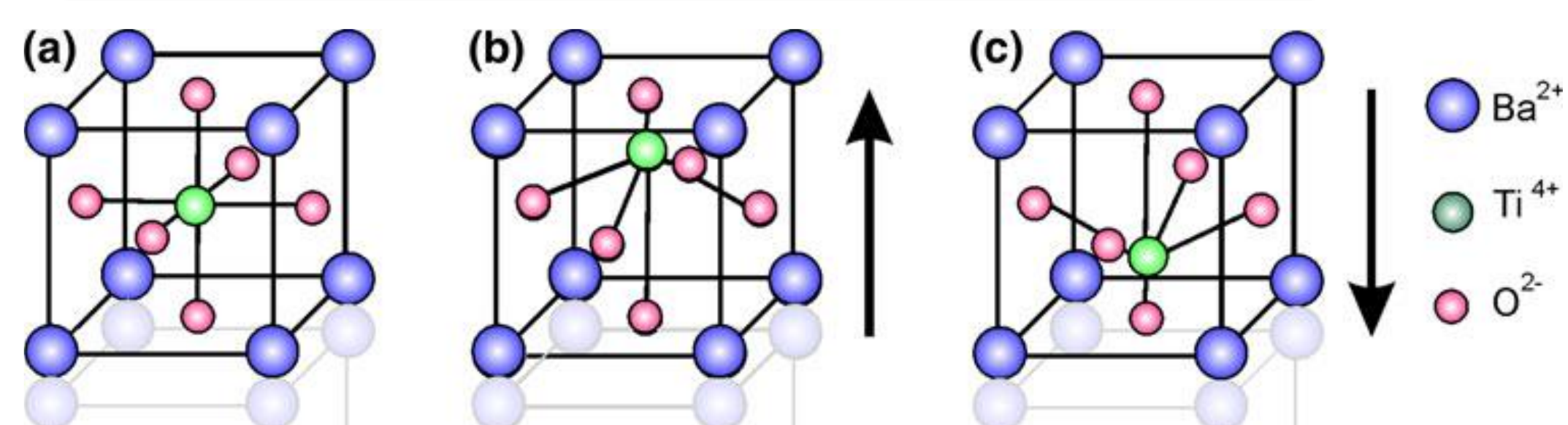
Change in electrical polarization P and thus occurrence of an electrical voltage on solids due to elastic deformation

### pyroelectrics

Change in electrical polarization P and occurrence of charge separation due to a change in temperature ( $\Delta T$ ) over time

### ferroelectrics

Reversal of the polarity of the electric polarization by a sufficiently large external electric field



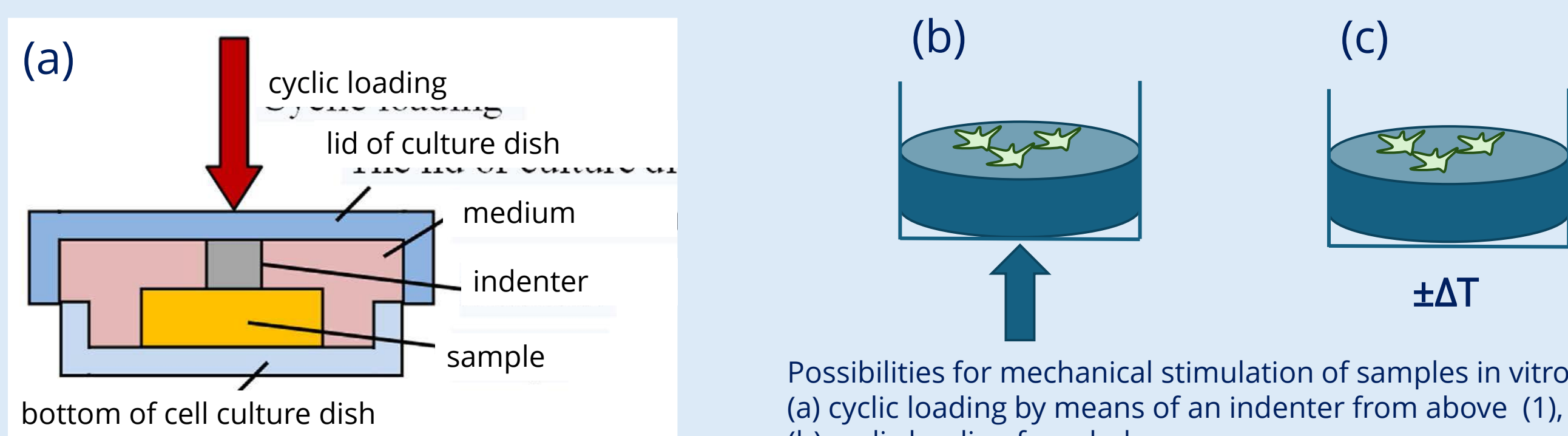
(a) The cubic and symmetrical perovskite unit cell for BaTiO<sub>3</sub> above the Curie temperature. Below the Curie temperature the displacement of the Ti<sup>4+</sup> ion (b) up or (c) down results in the formation of a dipole (3).

### Implementierung in die Zellkultur

Um die Auswirkungen der piezelektrischen Stimulation der Grenzfläche/Zellen zu untersuchen, müssen die Trägermaterialien in vitro durch mechanische Methoden zyklisch stimuliert werden (und nicht die einwachsenden Knochenzellen).

### Implementace v buněčné kultuře

Aby bylo možné zkoumat účinky piezelektrické stimulace rozhraní/buňky, musí být nosné materiály cyklicky stimulovány mechanickými metodami in vitro (a nikoli rostlé kostní buňky).



Possibilities for mechanical stimulation of samples in vitro: (a) cyclic loading by means of an indenter from above (1), (b) cyclic loading from below, (c) generation of surface charge by temperature change (using pyroelectric effect)

### Ausblick:

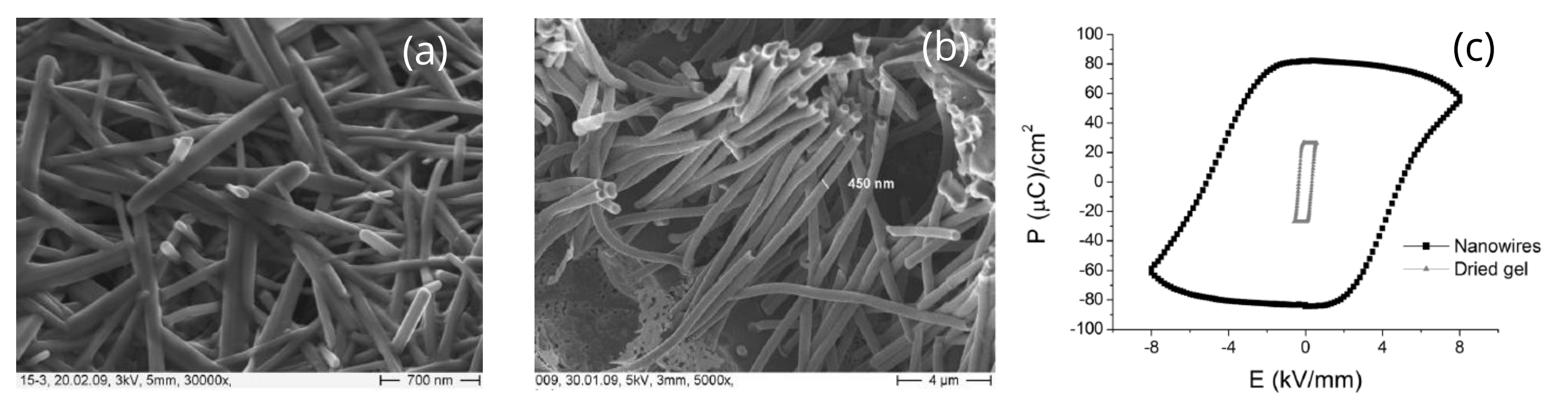
- Herstellung von piezo-aktiven Bariumtitanat-Schichten auf Titan
- Kombination von Konversions- und solvo-thermalen Sol-Gel-Reaktionen,
- niedrige, substratverträgliche Prozesstemperaturen,
- Einstellung von nicht-zentrosymmetrischen Phasen ohne weitere Polarisation,
- Entwicklung einer Methode zur in-situ Oberflächenstimulation für Zellkulturexperimente

### Werkstoffhintergrund

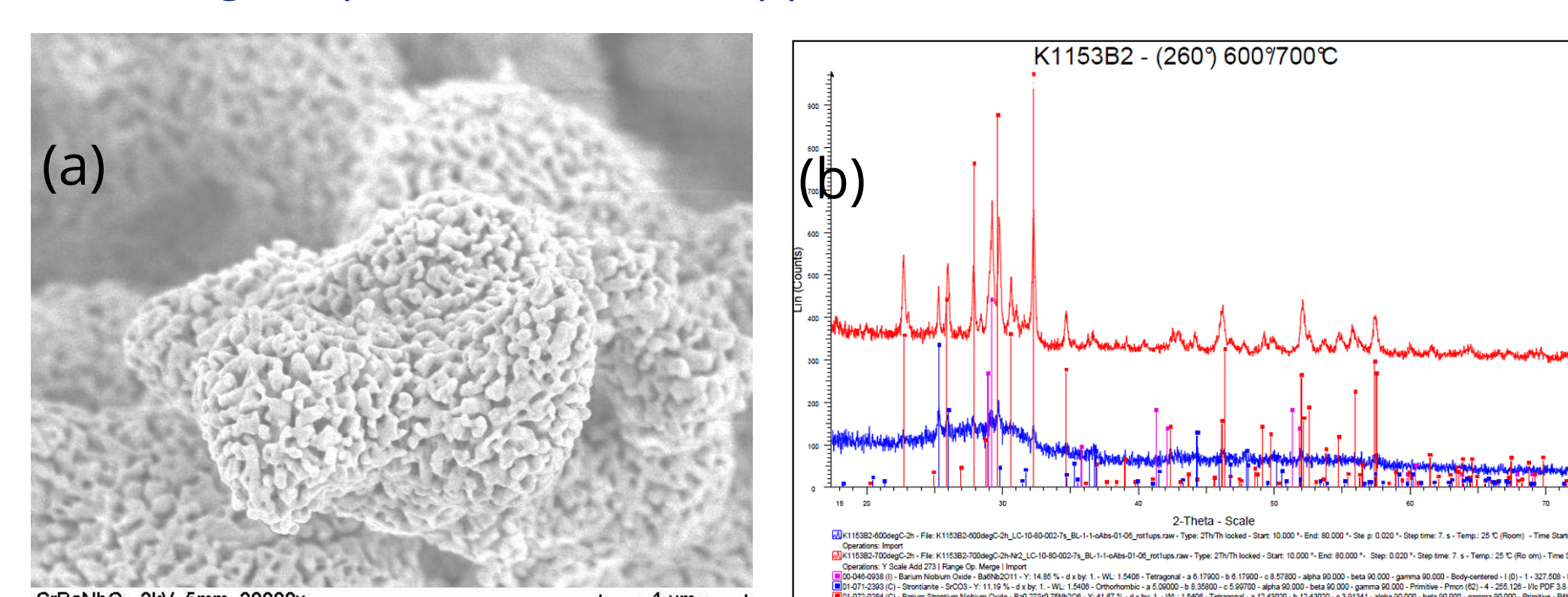
- Titanlegierungen sind aufgrund ihrer biologischen und mechanischen Eigenschaften sehr gut als Biomaterial geeignet.
- Bariumtitanat (BT) ist als elektroaktive Keramik gut bekannt und hat das Potenzial, Knochenremodellierung zu stimulieren.
- In-vivo Experimente haben die gute Biokompatibilität von BT gezeigt (nach (1) besser als HAP).
- Nanokristalline BT-Partikel und Fasern können bei ausreichend niedrigen Prozesstemperaturen auf Titansubstraten erzeugt werden.

### Materiálové zázemí

- Slitiny titanu jsou díky svým biologickým a mechanickým vlastnostem velmi vhodné jako biomateriály.
- Titanát barnatý (BT) je dobře známý jako elektroaktivní keramika a má potenciál stimulovat remodelaci kosti.
- Experimenty in vivo prokázaly dobrou biokompatibilitu BT (lepší než HAP podle (1)).
- Nanokritalinové částice a vlákna BT lze vyrábět na titanových substrátech při dostatečně nízkých technologických teplotách.



BaTiO<sub>3</sub> nanowires were grown from a sol-gel approach via electrophoresis: (a) SEM-Image of bars, grown up using a Polycarbonate membrane with pores of D~800nm (b) SEM-Image of bars, grown up using a Polycarbonate membrane with pores of D~100nm (c) Change of polarisation with applied electric field (4).

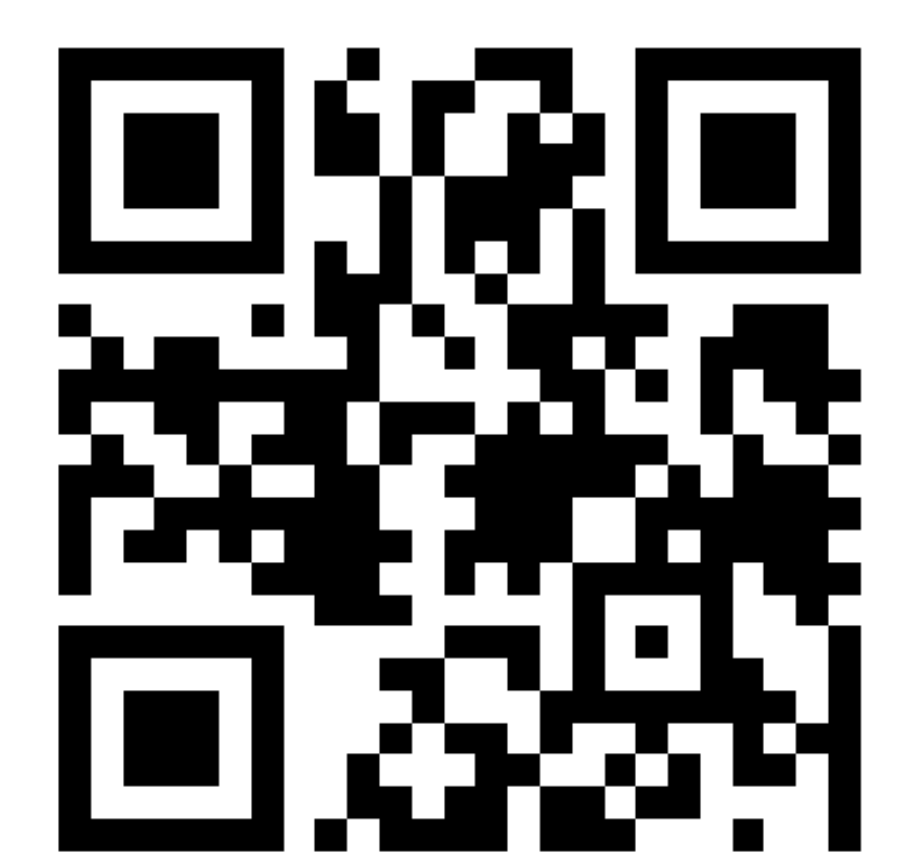


SrBaNbO<sub>3</sub>-particles from a sol-gel-approach: (a) SEM-Image of particles, tempered by T>700°C (b) Diffractogram of powder, tempered by 600°C (blue curve) and 700°C (red curve) (5)



### Výhled:

- Výroba piezoaktivních vrstev titaničitanu barnatého na titanu
- Kombinace konverzní a solvo-termické sol-gelové reakce,
- nízké procesní teploty kompatibilní se substrátem,
- úprava necentrosymetrických fází bez další polarizace,
- Vývoj metody stimulace povrchu in situ pro experimenty s buněčnými kulturami.



1) Yufei Tang, C. Wu, Z. Wu, L. Hu, W. Zhang; Fabrication and in vitro biological properties of piezoelectric bioceramics for bone regeneration, Scientific reports, 7:43360  
 2) Ribeiro, C.; V. Sencadas, D. Correia; Piezoelectric polymers as biomaterials for tissue engineering applications, Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 136 (2015) 46-55  
 3) Baxter, F.R., C. R. Bowen, I.G. Turner, A.C.E. Dent; Electrically Active Bioceramics: A Review of Interfacial Responses; Annals of Biomedical Engineering, Vol. 38, No. 6, 2010 pp. 2079-2092  
 4) Boucher, R., P. Renz, C. Li, T. Führlich et al.; Large Coercivity and polarization of sol-gel derived BaTiO<sub>3</sub> nanowires, J. Appl. Phys. 110, 064112 (2011)  
 5) TU Dresden, ForMat-Projekt: BIOMINT-Biomimetische Mineralisation für die Technik, 2012