

**Piezelektrische Vielschichtaktoren mit kupferbasierten Innenelektroden  
(Piezoelectric Multilayer Actuators with Copper-based Inner Electrodes)**

Verfasser: Dr.-Ing. Stefan Denneler

**Summary**

The purpose of this work was to boost the technology of the manufacturing of piezoelectric multilayer actuators based on copper internal electrodes. Furthermore, the decisive factors during manufacturing these actuators were determined. Starting with the decomposition analysis of the organic slurry chemistry, the main influencing factors were analyzed successively. The sintered actuators were characterized and compared to reference components containing silver-palladium-alloy electrodes (AgPd5). Actuators containing copper-based internal electrodes showed an inhomogeneous microstructure, which was analyzed separately. Sintering experiments on samples with increasing copper oxide content proved the change in densification behavior and the occurrence of abnormal grain growth. A model for the sintering, which explained the low temperature densification behavior and the abnormal grain growth of the ceramics in the presence of a liquid phase, was introduced. The liquid phase based on  $\text{Cu}_2\text{O}\cdot\text{PbO}$  forms particularly in low oxygen partial pressure atmosphere and, hence, appears only during the sintering in conditions that are typical for piezoelectric actuators with copper-based internal electrodes. Depending on the sintering atmosphere, a part of the copper oxide can be incorporated into the PZT-ceramics and thus influences the piezoelectric performance.

**Zusammenfassung**

Piezelektrische Vielschichtaktoren werden heute in Großserie als Ventilsteller in Einspritzventilen eingesetzt. Dabei gilt es kostengünstige Herstellungsverfahren und Materialien einzusetzen. Das Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung der maßgeblichen Einflussfaktoren auf die Herstellung von piezoelektrischen Vielschichtaktoren mit kupferbasierten Innenelektroden. Beginnend mit der Analyse des Zersetzungsverhaltens der organischen Schlickerbestandteile wurden schrittweise die Einflussfaktoren bei der Herstellung analysiert. Die hergestellten Aktoren wurden nach der Sinterung charakterisiert und mit Referenzbauteilen mit Elektroden aus Silber-Palladium (AgPd5) verglichen. Das unter den Sinterbedingungen für Aktoren auftretende Riesenkornwachstum wurde zusätzlich untersucht. In Versuchen an Tabletten konnte nachgewiesen werden, dass es im Falle einer Oxidation des Kupfers zu einer Dotierungswirkung in der PZT-Keramik und auch zu einem veränderten Verdichtungsverhalten wie auch Kornwachstum kommen kann. Hierzu wurde ein Modell zu den Sintervorgängen bei der Aktorherstellung vorgestellt, das die Bildung einer Schmelzphase beinhaltet, die sowohl die Verdichtung der Keramik unterstützt als auch zu einem abnormalen Kornwachstum führt. Diese Flüssigphase  $\text{Cu}_2\text{O}\cdot\text{PbO}$  bildet sich vornehmlich bei niedrigen Sauerstoffpartialdrücken und tritt daher nur bei den Sinterungen unter den für Aktoren mit Kupferinnenelektroden erforderlichen Prozessbedingungen auf.

**Kontakt / contact**E-Mail / e-mail: Ralf.Moos@Uni-Bayreuth.de  
Telefon / phone: +49 921 55 7400**Bestellinformation / Order information**Autor: Stefan Denneler  
Titel: Piezelektrische Vielschichtaktoren mit kupferbasierten Innenelektroden  
Reihe: Bayreuther Beiträge zu Materialien und Prozessen, Bd. 2  
Herausgeber: Ralf Moos und Gerhard Fischerauer  
Verlag: Shaker-Verlag, Aachen (2012)  
ISBN: 978-3-8440-0747-3