



- 1 Energy Harvesting Demonstrator
- 2 Mit AlN beschichteter Stahlstreifen
- 3 Cluster 300 Versuchsanlage für stationäres Magnetronspütern

## ENERGY HARVESTING MITTELS PIEZOELEKTRISCHER MATERIALIEN

### Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronen- strahl- und Plasmatechnik FEP

Winterbergstr. 28  
01277 Dresden

Ansprechpartner

Dr. Stephan Barth  
Telefon +49 351 2586-379  
stephan.barth@fep.fraunhofer.de

Dr. Hagen Bartzsch  
Telefon +49 351 2586-390  
hagen.bartzsch@fep.fraunhofer.de

[www.fep.fraunhofer.de](http://www.fep.fraunhofer.de)

### Einleitung

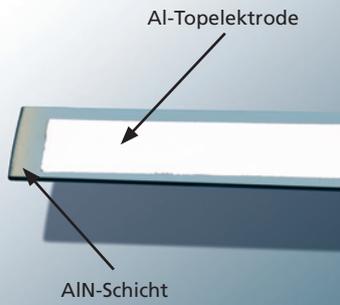
Derzeit ist ein steigender Bedarf an autonomen Sensoren und Systemen mit drahtloser Funkverbindung und autarker Energieversorgung zu verzeichnen. Dies ist auch zurückzuführen auf den starken Trend zu immer kleineren mobilen Systemen und dem wachsenden Markt für „wearables“. Die Energieversorgung solcher Systeme über Batterien oder Kabel ist oftmals zu umständlich oder aufwendig. Eine Lösung bietet die Energiegewinnung vor Ort aus

der Umgebung – dem sogenannten Energy Harvesting. Dies kann je nach Anforderung und verfügbarer Energiequelle z. B. durch Solarzellen, thermoelektrische oder piezoelektrische Materialien umgesetzt werden. Hier sollen neue piezoelektrische Materialien und Technologien zu deren Herstellung vorgestellt werden, mit denen mechanische Energie (Verformung, Vibration) in elektrische Energie gewandelt werden kann.

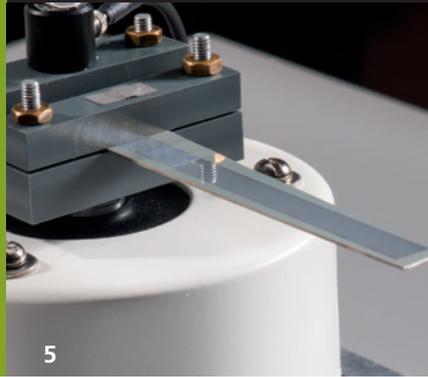
### Magnetron-Sputtern von piezoelektrischen Materialien am Fraunhofer FEP

Piezoelektrika sind Materialien, die sich bei Anlegen einer elektrischen Spannung verformen, bzw. bei denen durch Einwirken einer mechanischen Kraft eine Ladungstrennung entsteht. Sie wandeln Vibrationen in elektrische Energie um. Das gebräuchlichste Material für piezoelektrische Anwendungen ist meist Blei-Zirkonat-Titanat (PZT). Eine Alternative stellt das Material Alumi-

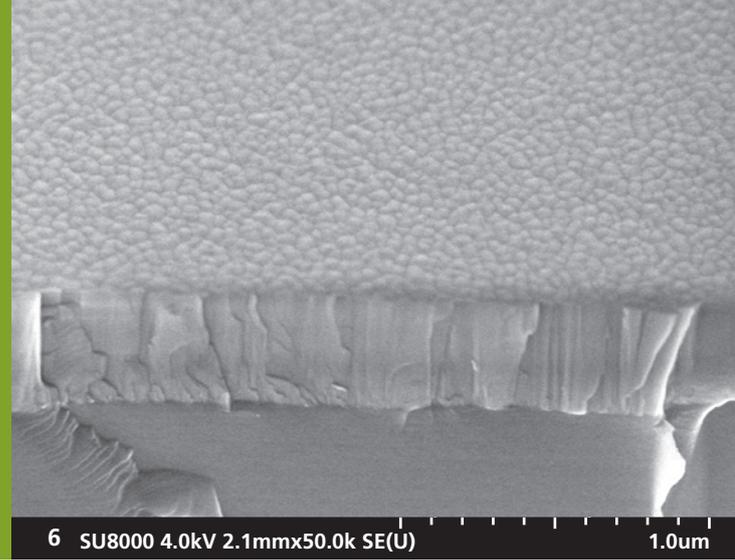
niumnitrid (AlN) dar. Aluminiumnitrid weist zwar im Vergleich mit PZT einen wesentlich geringeren Piezokoeffizienten  $d_{33}$  auf, dies wird jedoch durch eine ebenfalls um Größenordnungen niedrigere Dielektrizitätszahl und auch günstigere mechanische Eigenschaften teilweise ausgeglichen. Vorteile gegenüber PZT sind vor allem die Bleifreiheit nach EG-Richtlinie, die Stabilität,



4



5



6 SU8000 4.0kV 2.1mmx50.0k SE(U)

1.0μm

die Biokompatibilität sowie die Tatsache, dass die Abscheidung von AlN kompatibel mit gängigen Mikroelektronik-Prozessen ist.

Am Fraunhofer FEP wurde eine produktive Technologie zur Abscheidung von AlN-Schichten mit Piezoeffizienten von bis zu 7 pC/N bei gleichzeitig moderaten Schichtspannungen entwickelt. Die Schichtabscheidung erfolgte durch reaktives Magnetron Sputtern von Aluminium-Targets in einer Argon-Stickstoff-Atmosphäre. Die Abscheidungsprozesse wurden in einer stationären Beschichtungsanordnung mit einer Doppel-Ring-Magnetron-Sputterquelle (DRM 400) durchgeführt. Durch die Überlagerung der Entladungen beider Targets ist es möglich, auf einem Durchmesser von bis zu 200 mm äußerst homogene Schichten bei gleichzeitig hohen Beschichtungsraten abzuscheiden. Neben den piezoelektrischen Aluminiumnitridschichten können eine Vielzahl weiterer Materialien abgeschieden werden, beispielsweise Metalle, Oxide, Nitride, Gradientenschichten oder Multilayer. Diese können beispielsweise als Elektroden-schichten, Isolationsschichten oder Stress-kompensationsschichten fungieren.

Weiterhin wurden durch reaktives Co-Sputtern von Aluminium- und Scandium-Targets auch Schichten aus Aluminium-Scandium-Nitrid ( $Al_xSc_{1-x}N$ ) mit variablem Al:Sc-Verhältnis abgeschieden. Diese Schichten wiesen gegenüber reinem AlN wesentlich höhere Piezoeffizienten  $d_{33}$  von bis zu 27 pC/N bei ähnlichen Beschichtungsraten und moderaten Schichtspannungen auf (Tab. 1).

### Energy Harvesting Messergebnisse

Ein Messsystem zur Untersuchung von Energy Harvesting Lösungen mittels AlN-Schichten wurde am Fraunhofer FEP in Kooperation mit der Technischen Universität Dresden entwickelt (Abb. 5). Dieser besteht aus einem elektromagnetischen Shaker-System zur Erzeugung definierter mechanischer Vibrationen (Frequenz/Auslenkung). Ein Silizium-Streifen mit piezoelektrischer Dünnschicht ( $AlN$  oder  $Al_xSc_{1-x}N$ ) wird zum Schwingen angeregt. Die generierte Leistung in Resonanz wird aus der gemessenen Spannung berechnet. Diese reicht aus, um Low-Power Elektronik (bspw. Sensoren) zu versorgen (Tab. 2). Darüber hinaus wurden Messungen an Stahlsubstraten (75 mm × 25 mm) durchgeführt, die mit  $Al_{0,67}Sc_{0,33}N$  beschichtet (Abb. 2) und einer Einzelanregung durch manuelle Durchbiegung um 2 cm ausgesetzt wurden. Pro Anregung wurde einschließlich der resultierenden Schwingung 420 μJ gemessen.

Tab. 1: Vergleich AlN /  $Al_xSc_{1-x}N$ -Abscheidungen

	AlN	$Al_xSc_{1-x}N$
Schichtdicke [μm]	10	10
max. $d_{33}$ [pC/N]	7	27
Beschichtungsrate [nm/min]	100 ... 200	100 ... 200
Schichtspannung	kundenspezifisch	

Tab. 2: Beispiele für gemessene AC Leistungen bei ±2,5 μm Auslenkung des Shakers

Material	Dicke [μm]	Länge Si-Schwinger [cm]	$P_{rms}$ [μW]
AlN	10	8	70
AlN	50	8	141
$Al_{0,6}Sc_{0,4}N$	10	6	350

### Unser Angebot

- Applikationsspezifische Schichtabscheidungen von AlN und  $Al_xSc_{1-x}N$  (bspw. für Energy Harvesting)
- Optimierung der Materialien und Beschichtungen für weitere Anwendungsgebiete (Ultraschallerzeugung, Resonanzfilter, Aktoren)
- Hardware- und Technologieentwicklung für Beschichtungsanlagen
- Elektromechanische Simulation

### Anwendungen

- Autarke Vor-Ort-Energieerzeugung für Sensorik-Anwendungen, z. B.:
  - Transport/Logistik
  - Aerospace
  - Maschinenbau
  - Zustandsüberwachung
  - Medizintechnik

4 AlN-Schicht auf Si-Substrat als Schwinger für Energy Harvesting

5 Siliziumstreifen mit piezoelektrischer Dünnschicht im Messsystem

6 REM-Aufnahme einer AlN-Schicht in optimiertem Zustand für Energy Harvesting



Wir setzen auf Qualität und die ISO 9001.