



- 1 *Energy Harvesting Demonstrator*
- 2 *Siliziumstreifen mit piezoelektrischer Dünnschicht*
- 3 *Cluster 300 Versuchsanlage für stationäres Magnetronputtern*

ENERGY HARVESTING

Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP

Winterbergstr. 28
01277 Dresden

Ansprechpartner

Ines Schedwill
Telefon +49 351 8823-238
ines.schedwill@fep.fraunhofer.de

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

www.fep.fraunhofer.de

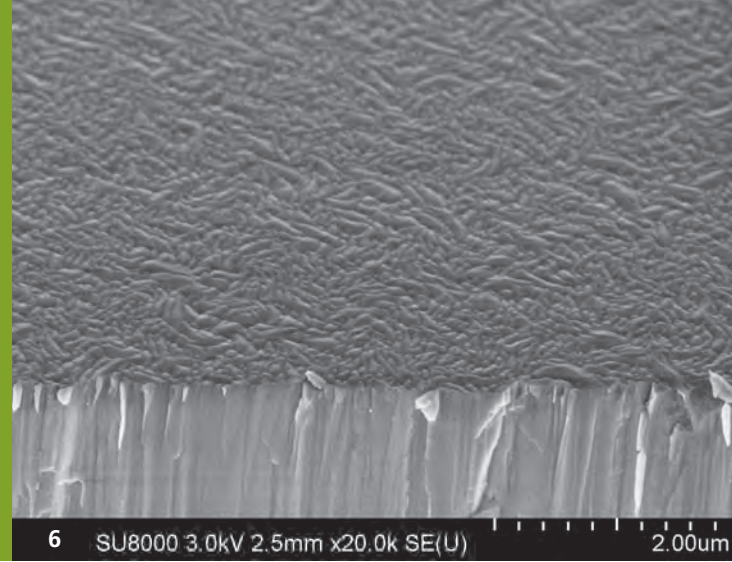
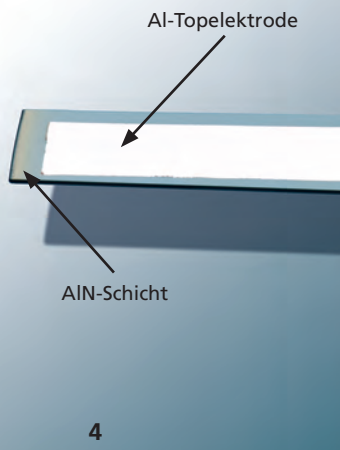
Einleitung

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 Energieerzeugung vor Ort aus der Umgebung – dem sogenannten Energy Harvesting. Dies kann je nach Anforderung und Umgebung z. B. durch Solarzellen, thermoelektrische oder piezoelektrische Materialien umgesetzt werden.

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 Aluminiumnitrid (AlN) dar. Aluminiumnitrid weist zwar im Vergleich mit PZT einen wesentlich geringeren Piezoeffizienten 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, die Biokompatibilität sowie die Tatsache, dass die Abscheidung von AlN kompatibel mit gängigen Mikroelektronik-Prozessen ist.



Am Fraunhofer FEP konnten bereits AlN-Schichten mit Piezokoeffizienten von mehr als 7 pC/N bei gleichzeitig moderaten Schichtspannungen abgeschieden werden. 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, Abb. 5) 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. Des Weiteren wurden, in Kooperation mit der Technischen Universität Dresden und der Universität Oulu (Finnland), Versuche zu Energy Harvesting mit AlN-Schichten auf Silizium (Si)-Streifen (Abb. 4) durchgeführt. Die Schwinger zeigten im Resonanzfall generierte Leistungen, die ausreichen um low-power-Elektronik (bspw. Sensoren) zu betreiben.

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 Piezokoeffizienten d_{33} von bis zu 30 pC/N bei ähnlichen Beschichtungsraten und moderaten Schichtspannungen auf.

Energy Harvesting Demonstrator

Ein erster Demonstrator zur Darstellung von Energy Harvesting Lösungen mittels AlN-Schichten wurde am Fraunhofer FEP entwickelt (Abb. 1 und 2). Dieser besteht aus einem elektromagnetischen Shaker-System zur Erzeugung definierter mechanischer Vibrationen (Frequenz/Auslenkung). Ein Silizium-Streifen mit piezoelektrischer Dünnschicht (AlN oder AlScN) wird zum Schwingen angeregt. Der Silizium-Schwinger ist elektrisch kontaktiert. Durch die Messung der erzeugten Spannung wird die Leistung berechnet. Im Resonanzfall erhält man das Maximum der erzeugten Energie.

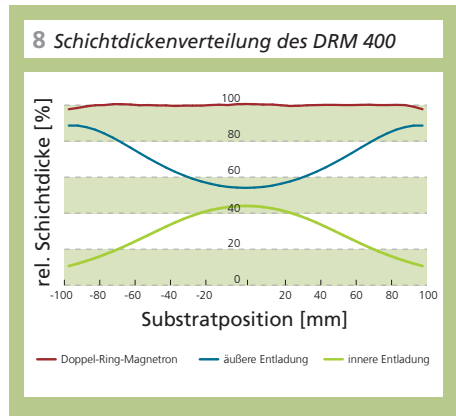
Leistungen

- Applikationsspezifische Schichtabscheidungen von AlN und $Al_xSc_{1-x}N$ (bspw. für Energy Harvesting)
- Kundenspezifische Systementwicklung des Schwingers
- Optimierung der Materialien und Beschichtungen für weitere Anwendungsgebiete (Ultraschallerzeugung, Resonanzfilter, Aktoren)

Anwendungen

- Autarke Vor-Ort-Energieerzeugung für Sensorik-Anwendungen
 - Automobil
 - Aerospace
 - Maschinenbau
 - Zustandsüberwachung
 - Medizintechnik

| 7 Vergleich AlN / $Al_xSc_{1-x}N$ -Abscheidungen | | |
|--|------------------|-----------------|
| | AlN | $Al_xSc_{1-x}N$ |
| Schichtdicke [μm] | 10 | 10 |
| max. d_{33} [pC/N] | 7 | 30 |
| Beschichtungsrate [nm/min] | 100 ... 200 | 100 ... 200 |
| Schichtspannung | kundenspezifisch | |



4 AlN-Schicht auf Si-Substrat als Schwinger für Energy Harvesting
 5 Doppel-Ring-Magnetron DRM 400
 6 REM-Aufnahme einer AlN-Schicht in optimiertem Zustand für Energy Harvesting