

Zusammenfassung

Piezoelektrische Materialien können mechanische Energie in elektrische Energie umwandeln. Diese Eigenschaft macht piezoelektrische Materialien zu einem potenziellen Kandidaten für den Einsatz in *Energy Harvesting*-Anwendungen. Geräte, die den piezoelektrischen Effekt von Materialien nutzen, sind aus dem Alltag nicht mehr wegzudenken, z. B. Handys, Feuerzeuge, Mikrofone usw. Jüngste Fortschritte in der Werkstofftechnologie, wie die Entwicklung elektronischer Geräte mit geringem Stromverbrauch, haben zu einem bemerkenswerten Wachstum der Nachfrage nach piezoelektrischen Werkstoffen geführt. Das synthetische piezoelektrische Material Blei-Zirkonat-Titanat ($(\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$, PZT) findet aufgrund seiner hervorragenden piezoelektrischen Eigenschaften in vielen Anwendungsbereichen häufig Verwendung. Die Toxizität von Blei und seine alarmierenden Folgen für die Natur sowie die menschliche Gesundheit haben den Bedarf an umweltfreundlichen Alternativen deutlich gemacht. Kaliumnatriumniobat ($\text{K}_x\text{Na}_{1-x}\text{NbO}_3$, KNN) und Bismutferrit (BiFeO_3 , BFO) sind zwei Materialien die Blei ersetzen könnten.

In dieser Arbeit, die im Rahmen des von der Europäischen Union finanzierten H2020–MSCA–ITN–2016 ENHANCE–Projekts durchgeführt wurde, wurden KNN– und BFO–Materialien strategisch in Bezug auf ihre Zusammensetzung, Morphologie und Struktur zugeschnitten, um ihren Nutzen in Anwendungen zur Gewinnung von Schwingungsenergie zu erforschen. Zu diesem Zweck wurde eine einfache Elektrospinnntechnik eingesetzt, um eindimensionale (1D) piezoelektrische Nanofasern (PNFs) herzustellen. Die Herstellung von Nanofasern und die Integration von PNFs in Energiegewinnungs-Bauteile wurden mehrfach optimiert, um die Materialeigenschaften und die piezoelektrische Leistung zu korrelieren und zu verbessern. Im Fall von KNN wurde die Energiegewinnung durch die Veränderung der Phasengrenze durch Modifizierung der A– und B–Stelle der Perowskit-Einheitszelle mit dem

Einbau von Li^+ - und Ta^{5+} -Ionen verbessert. Die anschließende Charakterisierung der PNFs mit Hilfe der Piezokraftmikroskopie zeigte, dass die piezoelektrische Reaktion des mit Li (4 Mol-%) und Ta (20 Mol-%) modifizierten Materials doppelt so stark war wie die des reinen KNN. Zur Erprobung des Konzepts wurden Energiegewinnungs-Bauteile hergestellt, indem 3 Gew.-% der PNFs in einer Polyvinylidenfluorid (PVDF)-Polymermatrix eingebettet wurden. Die piezoelektrischen Nanogeneratoren (PENGs) auf der Basis von Li und Ta modifizierten PNFs wiesen eine höhere Ausgangsleistung von 5,6 V im Vergleich zu 0,92 V bei PENGs auf der Basis von unveränderten KNN PNFs auf. Der Grund für diese höhere Ausgangsleistung liegt in der verstärkten Polarisationsrotation der Dipole, die durch die strukturelle Verzerrung der Perowskit-Einheitszelle beim Einbau von Li^+ und Ta^{5+} Ionen in das KNN-Gitter verursacht wird. In-situ-temperaturabhängige Raman-Spektralmessungen bestätigten die Senkung der Curie-Temperatur der mit Li und Ta modifizierten PNFs aufgrund der strukturellen Verzerrung, die durch die Größendiskrepanz der Substitutions-Ionen im KNN-Gitter verursacht wird.

Im Fall von BFO wurde die Bedeutung hochgradig anisotroper Morphologie für Anwendungen zur Energiegewinnung aufgezeigt. Zu diesem Zweck wurden die Syntheseparameter für die Herstellung von monolithischem, phasenreinem BFO eingehend erörtert. Studien zur Phasencharakterisierung mittels XRD und die anschließende Rietveld-Verfeinerung bestätigten die Bildung einer nicht-zentrosymmetrischen, ferroelektrischen Einheitszelle. Die industrielle Leistungsfähigkeit der auf BFO-PNFs basierenden PENGs wurde durch eine außergewöhnliche Langzeitstabilität der Ausgangsspannung nachgewiesen, die nach einer viermonatigen Lagerung der Proben unter atmosphärischen Bedingungen aufgezeichnet wurde und eine sehr geringe Abschwächung des Spannungssignals bei einer durchschnittlichen Ausgangsspannung von $2,95 \pm 1,02$ V ergab.

Diese Arbeit präsentiert die Entwicklung eines Materials durch eine neuartige Bottom-up Strategie, in dem Synthese, Funktionalität und Effizienz kombiniert wird, für die Anwendung zur Schwingungsenergiegewinnung. Die erzielten Ergebnisse tragen wesentlich zum Verständnis der maßgeschneiderten anisotropen Morphologie von bleifreien keramischen Oxiden für ihre piezoelektrischen Energiegewinnungseigenschaften bei. Im Zuge der Untersuchungen brachte die Arbeit auch neue Erkenntnisse hervor, die das Verständnis von KNN- und BFO-Systemen im Hinblick auf die Erreichung des Ziels bleifreier piezoelektrischer Bauelemente erweitern.