

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 20099BR

Thema

Entwicklung und Erprobung direktgedruckter hochfrequenter Ultraschallwandler-Arrays für die Medizintechnik und die zerstörungsfreie Prüfung (Gedruckte Ultraschallwandler)

Berichtszeitraum

01.08.2018-31.01.2021

Forschungsvereinigung

Forschungsgemeinschaft der Deutschen Keramischen Gesellschaft e.V (FDKG)

Forschungseinrichtung(en)

Fraunhofer-Gesellschaft e.V.

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS)

Winterbergstr. 28

01277 Dresden

Gefördert durch:

Zusammenfassung

Ultraschallsysteme finden breiten Einsatz in der medizinischen Bildgebung und der zerstörungsfreien Prüfung. Die wissenschaftlich-technische Entwicklung von Ultraschallsystemen zielt gegenwärtig hauptsächlich auf Verbesserung der Bildgebung und Bildauflösung, Miniaturisierung der Ultraschallwandler und elektronische Verdichtung.

Zur Bildgebung ist die Verwendung von Ultraschallwandler-Arrays Stand der Technik und wird als Phased-Array-Technik bezeichnet. Sie erlaubt ein elektronisches Scannen, Schwenken und Fokussieren des Ultraschallstrahls. Dazu wird die aktive piezoelektrische Fläche des Wandlers in eine Reihe (engl. array) von einzeln kontaktierten und damit aktivier- und auslesbaren Elementen unterteilt.

Im Projekt wurden verschiedene drucktechnische Verfahren zur Fertigung piezokeramischer Phased-Array-Wandler entwickelt. Das Aerosoljet-Verfahren ermöglicht den düsenbasierten Druck von Linienarrays mit Linienbreiten von 25 µm bei Linienhöhen von 4 µm und Linienbreiten von 35 µm bei Linienhöhen von 20 µm. Der kleinste druckbare Mittenabstand der Linien (Pitch) beträgt 50 µm. Dafür wurden Tinten auf Basis des piezokeramischen Materials Bleizirkonattitanat (PZT) entwickelt. Das Verhältnis von Linienhöhe zu -breite reicht jedoch nicht aus, um hochfrequente Ultraschallwandler-Arrays aufzubauen. Hier ist ein Linienhöhen-zu-Linienbreiten-Verhältnis von 3:1 gefordert. Alternativ kann die Technologie jedoch für den Aufbau von miniaturisierten Wandlern für Anwendungen in der Sensorik eingesetzt werden.

Auch der Dispensdruck eignet sich nicht für den Aufbau von Phased-Array-Wandlern. Mit möglichen Linienhöhen von ca. 40-60 µm und Linienbreiten von 300-350 µm erfüllt die Technologie nicht die Anforderungen, die an hochfrequente Linienarrays gestellt werden.

Sehr gute piezoelektrische Eigenschaften konnten mit piezokeramischen Dickschichten erzielt werden, welche über Siebdruck aufgebracht wurden. Dabei erfolgte die Strukturierung der Phased-Arrays über die Elektroden. Im Verlauf des Projektes wurden Linien- und Ringarrays mit unterschiedlichen Elektrodenbreiten und -abständen gedruckt und bewertet. Als Resultat können Elektrodenbreiten von 70 µm und -abstände von 50 µm (120 µm Pitch) fehlerfrei über Siebdruckverfahren appliziert werden und stehen für den Aufbau zukünftiger Ultraschallwandler zur Verfügung. Für den Aufbau der Demonstratoren wurde eine Abfolge von strukturierter Grundelektrode, flächiger PZT-Dickschicht und flächiger Deckelektrode gewählt.

Ein besonderes Augenmerk wurde der Auslegung und Entwicklung von Substraten gewidmet, da sowohl die Elektrodenschichten als auch die piezokeramische Dickschicht fest mit dem Substrat versintert sind und der Verbund maßgeblich das Schwingungsverhalten der Ultraschallwandler beeinflusst. Dabei wurde die Porosität bzw. innere Struktur der Substrate so eingestellt, dass diese gleichzeitig als Träger- und Dämpfungskörper fungieren. Im Verlauf der Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass Al_2O_3 -Substrate mit 20 % Porosität und einer mittleren Porengröße von 10 µm die in sie eingeleiteten Schallwellen dämpfen und daher wiederholte Schallsignale unterdrücken bzw. reduzieren können. Eine nahezu vollständige Reduzierung der Echos war durch den Aufbau von ZrO_2 -Multilayersubstraten mit innerer Lochstruktur möglich. Dazu wurde ein keramischer Mehrlagenaufbau aus ZrO_2 -Folien mit eingestanzten 160 µm Vias im Abstand von 480 µm Pitch hergestellt, auf dem anschließend die piezokeramischen Dickschichtwandler gedruckt wurden. Beide Substratvarianten ermöglichen

den Aufbau von Frontstrahlern mit delayline-freien akustischen Signalen. Der Aufbau über keramische Mehrlagentechnik erlaubt zudem die Integration einer 3-dimensionalen Verdrahtung und damit den Aufbau kompakter Phased-Array-Wandler.

Die im Projekt entwickelte Drucktechnologie zur Herstellung von Ultraschallwandlern erlaubt im Vergleich zu den im Stand der Technik verwendeten Assemblierungsverfahren eine kostengünstige und zeitsparende Fertigung von Prüfköpfen in großer Stückzahl. Der Aufbau aus strukturiertem Dämpfungskörper, piezokeramischer Schicht sowie Grund- und Deckelektroden ermöglicht einen kompakten Aufbau und entspricht damit dem Trend nach Miniaturisierung, Preisreduzierung und elektronischer Verdichtung. Das prädestiniert diese Wandler für den Einsatz in portablen und ultra-portablen Geräten für Laptop- oder Smartphone-basierte Anwendungen und befördert eine Verbreitung der Ultraschalltechnik über das bisherige Maß hinaus. Damit können für die Anbieter von Ultraschallgeräten völlig neue Märkte erschlossen werden.

Die gedruckten Ultraschallwandler sind zudem frei von störenden Zwischenschichten und bieten den Vorteil einer kompakten Aufbau- und Verbindungstechnik, die relativ einfach als dreidimensionale Elektrodenstruktur in den Dämpfungskörper (z. B. keramischer Multilayer) integriert werden kann. Während die Weiterkontaktierung von herkömmlichen Ultraschallwandlern durch Verdrahtung sowie Löt- bzw. Bondkontakte erfolgt, können über Drucktechnik die Leitpfade direkt aufgebracht werden. Dies verhindert den Auftrag voluminöser Löt- bzw. Bondpads, die das Schwingungsverhalten des Wandlers negativ beeinflussen.