

Thermo-akustische Ultraschallemitter - Eine breitbandige und resonanzfreie Alternative zur piezoelektrischen Ultraschallerzeugung

Maxim DASCHEWSKI *, Marc KREUTZBRUCK *, Jens PRAGER *, Uwe BECK *,
Matthias WEISE *

* BAM Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, Berlin

Kurzfassung

Ultraschallbasierte Untersuchungsmethoden sind aus unserem Leben nicht mehr weg zu denken. Deren Anwendungen und Einsatzgebiete sind vielseitig und reichen von der medizinischen Diagnostik bis hin zur Untersuchung und Überwachung von Komponenten für die Luft- und Raumfahrt und die Automobilindustrie sowie von Kernkraftwerken, Gasturbinen und Pipelines.

Die meisten zurzeit benutzten Ultraschallwandler arbeiten nach einem piezoelektrischen Prinzip und erzeugen Ultraschallwellen durch Auslenkung ihrer Oberfläche. Sie können als gedämpfte Masse-Feder-Systeme betrachtet werden und weisen ausgeprägte Resonanzen auf, was zu langen Nachschwingen nach einer Impulsanregung führt. Gebräuchliche Ultraschallwandler sind daher vergleichsweise schmalbandig und wegen ihrer Impulslänge ungeeignet für die Untersuchung dünner Bauteile.

Der Beitrag beschreibt die von uns entwickelten thermo-akustischen Ultraschallemitter und vergleicht sie mit piezokeramischen Luftultraschallwandlern. Die neuartigen Emittoren können an handelsüblichen Ultraschallgeräten betrieben werden, nutzen aber für die Schallerzeugung den elektro-thermo-akustischen Effekt. Sie arbeiten ohne mechanische Auslenkung ihrer Oberfläche. Die Schallimpulse bzw. -wellen entstehen durch eine thermisch induzierte Bewegung des umgebenden Mediums weg von der sich durch den Stromfluss erwärmenden Emitteroberfläche. Nach dem Abschalten des Stromes kühlt sich die Oberfläche schnell ab und alles kehrt in den Ausgangszustand zurück. Aufgrund dieses physikalischen Prinzips treten weder Resonanzen noch Nachschwingen auf. Vielmehr ist es möglich, beliebig geformte Anregesignale zu erzeugen. Thermo-akustische Ultraschallemitter haben damit das Potenzial für eine breite Anwendung in der Technik, insbesondere in der zerstörungsfreien Ultraschallprüfung.

Thermo-akustische Ultraschallemitter



Eine breitbandige und resonanzfreie Alternative zur piezoelektrischen Ultraschallerzeugung

Maxim Daschewski, Marc Kreuzbruck, Jens Prager
BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Unter den Eichen 87, 12205 Berlin

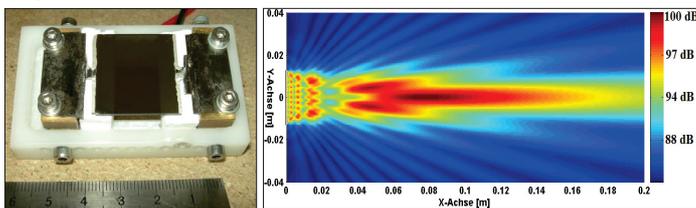
Ultraschallbasierte Methoden für die zerstörungsfreie Materialprüfung aber auch für medizinische Anwendungen und Echoortung sind unverzichtbarer Bestandteil unseres Lebens. Besonders Luftultraschallanwendungen als berührungslose Verfahren gewinnen zunehmend an Bedeutung und werden vermehrt als koppelmittelfreie Methode für die Qualitätskontrolle und die wiederkehrende Prüfung angewandt. Zumeist werden piezoelektrische oder elektrostatische Ultraschallwandler verwendet. Diese sind gedämpfte Masse-Feder-Systeme mit ausgeprägten Resonanzfrequenzen und langen Nachschwingzeiten. Daher lassen sich breitbandige Wandler nicht realisieren.

Da die thermische Schallerzeugung ohne mechanisch bewegliche Komponenten auskommt, arbeiten die thermo-akustischen Emitter resonanz- und nachschwingfrei. Somit ist es möglich, beliebig geformte Schallsignale exakt zu erzeugen. Thermo-akustische Schallemitter haben damit das Potenzial für eine breite Anwendung in der zerstörungsfreien Materialprüfung als leistungsfähige und resonanzfreie Schallsender mit einer Bandbreite bis in den Megahertzbereich.

Die thermo-akustischen Luftultraschallemitter

Thermo-akustische Luftultraschallemitter bestehen aus einer elektrisch leitfähigen Nano-Beschichtung (Titan, ITO, ...) auf einem Substrat aus Glas, Kunststoff oder Keramik. Somit ist es möglich thermo-akustische Ultraschallsender auf beliebig geformten Oberflächen herzustellen.

... planare TA-Emitter



Planare TA-Emitter (20x25 mm, 30 nm Titan auf Quarzglas) und das erzeugte Schallfeld bei 150 kHz Sinusburstanregung mit 500 Watt.

... fokussierende TA-Emitter

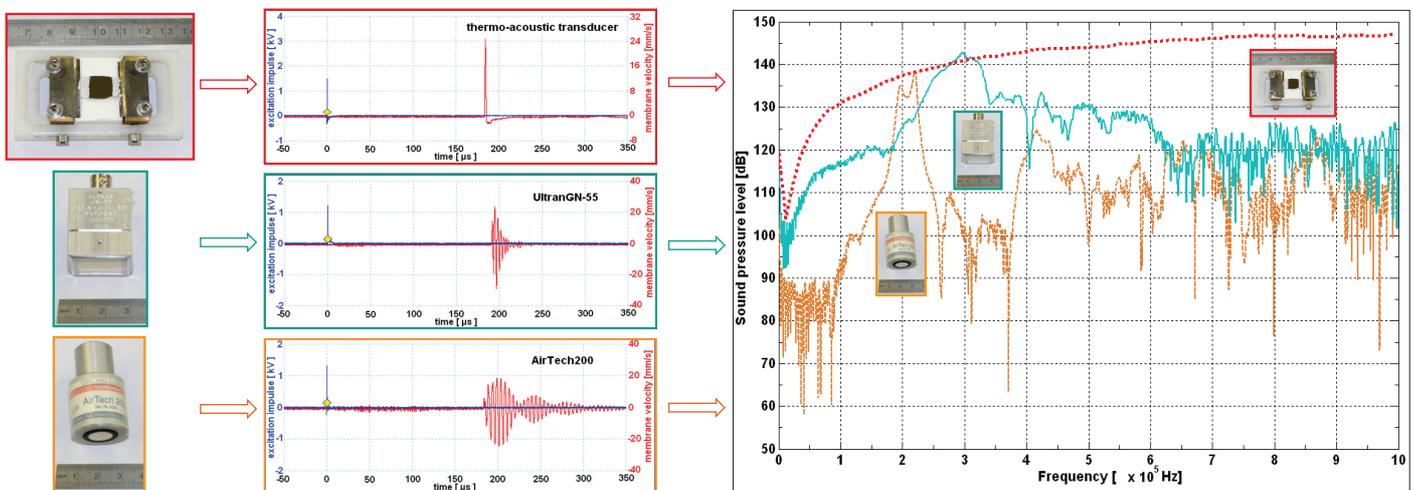


190 nm Indiumzinnoxid (ITO) auf sphärisch gekrümmten Quarzglas-substrat, mit einem konstanten Fokusabstand von 55 mm.

Im Impulsbetrieb (1µs, 1000V, 30A) erreicht dieser Emitter den Schalldruckpegel von 165 dB.

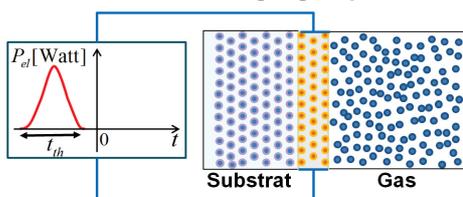
Der Vergleich piezoelektrische und thermo-akustische Luftultraschallwandler

Das akustische Verhalten der zwei piezoelektrischen und eines thermo-akustischen (10x10mm, 30 nm Titan Beschichtung auf Quarzglas) Luftultraschall Wandlers nach einer breitbandigen (500 ns) Rechteckimpuls - Anregung mit 1,5 kV.

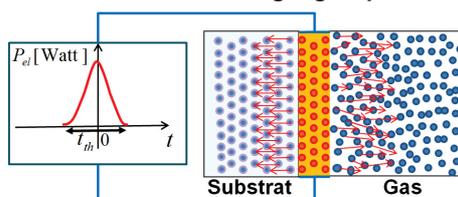


Das Funktionsprinzip

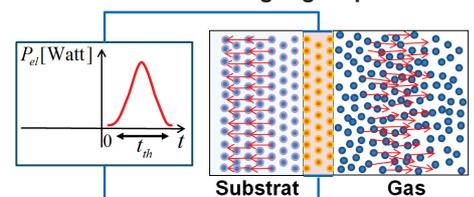
... vor dem Anregungsimpuls



... während des Anregungsimpulses



... nach dem Anregungsimpuls



- Vor dem Anregungsimpuls haben das Substrat, die elektrisch leitfähige Nano-Beschichtung und das umgebende Gas die gleiche Temperatur T_0 .
- Das System befindet sich im thermodynamischen Gleichgewicht und es herrscht der normale Umgebungsdruck P_0 .

- Während des Anregungsimpulses heizt sich die Nano-Schicht auf, die Geschwindigkeit der Atome steigt.
- Die umgebenden Atome prallen von der erwärmten Nano-Schicht ab und nehmen ein Teil der Wärme in Form kinetischer Energie mit. Der Druck um den Wandler steigt.

- Nach dem Anregungsimpuls kühlt sich die Nano-Schicht ab, die Geschwindigkeit der Atome sinkt.
- Der zugewonnene Impuls jedes einzelnen Teilchens der Umgebung wird per Stoßprozess weiter getragen und breitet sich mit Schallgeschwindigkeit aus.