

## Messung der akustischen Oberflächenimpedanz mit Ultraschall

Sebastian Kümmritz<sup>1</sup>, Elfgard Kühnicke<sup>2</sup>

<sup>1</sup> TU Dresden, Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik, 01069 Dresden, Deutschland, Email: skuemmritz@avt.et.tu-dresden.de

<sup>2</sup> TU Dresden, Institut für Festkörperelektronik, 01069 Dresden, Deutschland, Email: elfgard.kuehnicke@ias.et.tu-dresden.de

### Einleitung

Der aktive Piezoschwinger eines Ultraschallwandlers besitzt üblicherweise ein sehr schmalbandiges Übertragungsverhalten. In vielen Fällen wünscht man sich jedoch einen breitbandigen Schwinger, was sich durch den Einsatz von Dämpfungskörpern und Anpassschichten erreichen lässt [1]. Bei einem Dämpfungskörper handelt es sich im Allgemeinen um ein akustisch stark dämpfendes Material. Dieses muss akustisch an den Piezoschwinger angepasst sein, um möglichst viel Energie in den Dämpfungskörper abzuleiten und damit eine hohe Breitbandigkeit im Übertragungsverhalten des Wandlers zu erreichen [2]. Eine gängige Variante für die Herstellung von Dämpfungskörpern ist das Mischen eines Epoxydharzes mit Füllpartikeln, wie Wolfram oder Aluminiumoxid [3]. Über den Volumenanteil der Füllpartikel im Epoxydharz lässt sich die benötigte Impedanz einstellen. Ziel dieses Beitrages ist die Messung der akustischen Oberflächenimpedanz von Dämpfungskörpern. Dabei interessiert insbesondere der Zusammenhang zwischen dem Volumenanteil von Wolframpartikeln in einem Epoxydharz und der daraus resultierenden akustischen Impedanz.

### Messmethode

Die Schallkennimpedanz  $Z$  von Materialien ist definiert als das Produkt aus Dichte  $\rho$  und Schallgeschwindigkeit  $c$ :

$$Z = \rho \cdot c. \quad (1)$$

Die Dichte von Materialkompositen wie den eingangs erwähnten Dämpfungskörpern setzt sich linear aus den Dichten und den Volumenanteilen  $\nu$  der Ausgangsmaterialien zusammen:

$$\rho_{ges} = \nu_1 \rho_1 + \nu_2 \rho_2. \quad (2)$$

Die Schallgeschwindigkeit hängt stark von der Verteilung der Partikel im Epoxydharz ab. Wird die Schallgeschwindigkeit  $c$  im Dämpfungskörper durch eine Laufzeitmessung bestimmt, ergibt sich mit Gleichung 1 jedoch lediglich eine über die Dicke des Materialkomposites gemittelte Impedanz. Da für die Anpassung eines Dämpfungskörpers an einen Piezoschwinger insbesondere dessen Impedanz an der Oberfläche von Interesse ist, entstand die Idee, diese durch Auswertung des Oberflächenechos zu bestimmen. Dafür wird neben der Probe mit der zu bestimmenden Impedanz  $Z$  als Vergleichswert eine Referenzprobe mit bekannter Impedanz  $Z_{ref}$  (z. B. Glas) unter identischen Messbedingungen vermessen. In

Abbildung 1 ist eine Prinzipskizze dieser Messung dargestellt.

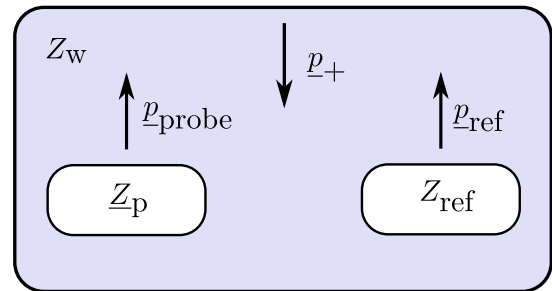


Abbildung 1: Prinzipskizze der Vergleichsmessung

Über die Definition des komplexen Reflexionsfaktors

$$r = \frac{p_-}{p_+} = \frac{Z - Z_w}{Z + Z_w}, \quad (3)$$

mit  $p_+$  für die einfallende,  $p_-$  für die reflektierte Schalldruckwelle, sowie den Impedanzen der Probe  $Z$  und des Ausbreitungsmediums  $Z_w$ , lassen sich zwei Gleichungen aufstellen,  $p_+$  eliminieren und nach der gesuchten Impedanz umstellen. Dadurch erhält man

$$Z = Z_w \frac{p_p(Z_{ref} - Z_w) + p_{ref}(Z_{ref} + Z_w)}{p_{ref}(Z_{ref} + Z_w) - p_p(Z_{ref} - Z_w)}, \quad (4)$$

mit  $Z_{ref}$ , der Impedanz des Referenzmediums, sowie  $p_p$  und  $p_{ref}$ , den an Probe und Referenzmedium reflektierten Schalldruckamplituden.

### Anwendung

Es wurden mehrere Dämpfungskörper mit unterschiedlichen Wolframanteilen hergestellt und am Ultraschallmikroskop mit verschiedenen Schallwandlern (Mittelfrequenz: 10, 30 und 75 MHz) jeweils an der Ober- und Unterseite im Impuls-Echo-Betrieb vermessen. Dabei wurden die Proben rasterförmig abgescannt. Für jeden Messpunkt eines solchen Scans wurde die Impedanz mittels des beschriebenen Verfahrens bestimmt. Aus den daraus gewonnenen Datensätzen konnten die Mittelwerte und Standardabweichungen bestimmt werden. Es zeigte sich, dass sich an der Oberseite der vermessenen Proben unabhängig vom Anteil der Wolframpartikel die Impedanz des reinen Epoxydharzes einstellte. Die Ursache dafür liegt darin begründet, dass die Wolframpartikel während des Aushärtens des Epoxydharzes absinken. Die Messergebnisse für die Unterseite sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Aus der Tabelle sind zwei Trends entnehmbar:

1. ein Anstieg der Impedanz mit dem Volumenanteil der Wolframpartikel und
2. eine Abhängigkeit der Impedanz von der Messfrequenz.

**Tabelle 1:** Abhängigkeit der akustischen Impedanz (in [MRayl]) von der verwendeten Messfrequenz und dem Volumenanteil an Wolframpartikeln (Partikelgrößen 2 – 6  $\mu\text{m}$ ) im Basispolymer; deutliche Abweichungen der Messungen sind rot gekennzeichnet.

Wolfram	$f/\text{MHz}$		
	10	30	75
0 % Vol.	2,1 $\pm$ 0,1	2,1 $\pm$ 0,1	2,07 $\pm$ 0,02
3 % Vol.	4,1 $\pm$ 0,2	3,3 $\pm$ 0,4	2,4 $\pm$ 0,5
6 % Vol.	4,8 $\pm$ 0,4	4,3 $\pm$ 0,2	3,7 $\pm$ 0,2
9 % Vol.	4,6 $\pm$ 0,1	4,8 $\pm$ 1,1	4,0 $\pm$ 0,3
12 % Vol.	3,8 $\pm$ 0,2	4,9 $\pm$ 0,1	4,6 $\pm$ 0,5
15 % Vol.	5,7 $\pm$ 1,5	5,3 $\pm$ 0,1	5,8 $\pm$ 0,5

Der Reflexionsfaktor nach Gleichung 3 ist für senkrechten Schalleinfall definiert. Aus diesem Grunde ist es notwendig, dass die Probe orthogonal zur Ausbreitungsrichtung der Schallwelle positioniert wird und diese eine hohe Oberflächengüte besitzt. Eine leichte Schräglage der Probe bzgl. der einfallenden Welle führt daher zu deutlichen Messabweichungen. Dieses zeigt sich besonders bei der Impedanz des Dämpfungskörpers mit 12 % Vol. Wolfram bei 10 MHz. Weitere auffallende Messabweichungen von den erwarteten Werten (rot markiert) lassen sich durch eine inhomogene Verteilung der Partikel im Epoxydharz erklären.

## Diskussion und Ergebnisse

Ziel der Untersuchungen war es, einen Zusammenhang zwischen akustischer Impedanz und Füllungsgrad an Wolframpartikeln in Epoxydharz herzustellen. Dabei zeigte sich, dass die mit der vorgestellten Messmethode ermittelte akustische Impedanz nicht nur vom Wolframanteil, sondern auch von der Messfrequenz abhängig ist. Im vorliegenden Fall des Dämpfungskörpers handelt es sich um ein Materialkomposit, dessen Materialparameter sich nicht linear aus den Parametern und Konzentrationen der Ausgangsmaterialien zusammensetzt. Weiterhin wirkt sich bei stark dämpfenden Materialien wie den Dämpfungskörpern auch die Dämpfung auf die Impedanz aus. So gibt Kossoff in [2] die komplexe akustische Impedanz

$$\underline{Z} = \rho c \left( \frac{1}{1 + \beta^2} + j \frac{\beta}{1 + \beta^2} \right) \quad (5)$$

mit

$$\beta = \frac{\alpha c}{\omega} \quad (6)$$

unter Berücksichtigung der Dämpfung  $\alpha$  (in Neper/m) und der Kreisfrequenz  $\omega$  an. Inwieweit diese Formel

mit den gemessenen Impedanzen übereinstimmt, konnte bisher nicht hinreichend genau geklärt werden, da bei den vermessenen Dämpfungskörpern die Dämpfung nicht verlässlich bestimmt werden konnte. Weiterhin wird bei dieser Formel das Ausbreitungsmedium als Wellenleiter betrachtet. Bei Frequenzen um 75 MHz und Partikelgrößen von 2 – 6  $\mu\text{m}$  sind die Wellenlängen im Bereich der Streupartikel. In diesem Fall müssen Effekte verursacht durch die Massen und die Elastizitäten der Ausgangsstoffe mit berücksichtigt werden. Alternativ könnte auch versucht werden, die Dämpfungskörper anstelle ihrer Impedanzen über ihre Reflexionsfaktoren zu charakterisieren.

Für die Konstruktion von Ultraschallwandlern folgt daraus, dass die Dimensionierung ihrer Dämpfungskörper entsprechend der Resonanzfrequenz des Piezomaterials erfolgen muss. Sollen beispielsweise zwei Wandler aus einem Schwingermaterial mit einer Impedanz von 6 MRayl zum einen für 10 MHz und zum anderen für 75 MHz dimensioniert werden, muss entsprechend nach Tabelle 1 für den 10 MHz-Wandler der Dämpfungskörper mit 6 % Vol. und für den 75 MHz-Wandler der Dämpfungskörper mit 12 % Vol. gewählt werden.

## Literatur

- [1] Bainton, K. F.; Silk, M. G.: Some Factors which affect the Performance of Ultrasonic Transducers. British Journal of NDT (1980), 15-20
- [2] Kossoff, G.: The Effects of Backing and Matching on the Performance of Piezoelectric Ceramic Transducers. IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics 13(1) (1966), 20-30
- [3] Kümritz, S.: Modellierung und Charakterisierung von Dämpfungskörpern. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, 2010
- [4] Mason, W. P.: Electromechanical Transducers and Wave Filters. Bell Telephone Laboratories Inc. (1948)