

Ultraschall-Piezoelemente in der Medizintechnik

Werkzeug, Therapiegerät und Sensor



Als Ultraschall bezeichnet man Schall mit Frequenzen oberhalb des menschlichen Hörfrequenzbereichs, also ab etwa 16 kHz. Medizintechnik aber auch Industrie und Forschung nutzen diesen Frequenzbereich in vielerlei Hinsicht. Das Spektrum medizintechnischer Anwendungen reicht vom Pumpen und Dosieren bis hin zur Diagnostik und Therapie. Zum Erzeugen und Detektieren der Ultraschallwellen bieten piezoelektrische Keramiken beste Voraussetzungen. Sie lassen sich praktisch in beliebigen Formen preisgünstig fertigen und bieten so für die unterschiedlichen Anwendungen maßgeschneiderte Lösungen.

Piezoelektrische Materialien können bei Krafteinwirkung eine elektrische Spannung erzeugen (Piezoeffekt) oder unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes ihre Abmessungen verändern (inverser Piezoeffekt). Sie wandeln mechanische in elektrische Energie um und umgekehrt, man spricht hier auch von piezoelektrischen Wandlern oder Transducern. Während sich der direkte Piezoeffekt für sensorische Anwendungen nutzen lässt, bietet sich der inverse Piezoeffekt für die Realisierung von Aktoren an. Die Bewegung beruht dabei ausschließlich auf Festkörpereffekten, d. h., sie ist reibungs- und verschleißfrei. Piezos erzeugen außerdem keine Magnetfelder und werden auch nicht von solchen beeinflusst.

Kurze Ansprechzeiten, hohe Dynamik und flexible Bauformen

Das Erzeugen und Detektieren von Ultraschall ist die klassische Piezo-Anwendung, denn beim Anlegen einer Wechselspannung beginnt das Piezoelement zu schwingen. Die kurzen Ansprechzeiten und die hohe Dynamik dieser Bewegung kommen der Ultraschallerzeugung natürlich ebenfalls entgegen. Die Piezoelemente von PI Ceramic eignen sich für eine Vielzahl von Ultraschallanwendungen. Diese lassen sich grob klassifizieren in zumeist sensorische Anwendungen für Frequenzen bis 20 MHz und Leistungs-Ultraschall, bei dem die Energiedichten höher sind.

Dadurch verrichten die Piezoelemente dann beachtliche mechanische Arbeit, z. B. bei der Nierensteinzertrümmerung oder der Zahnsteinentfernung. Die typischen Frequenzen des Leistungs-Ultraschalls liegen dabei zwischen 20 und 800 kHz.



Abb. 1 Bei Piezoelementen sind unterschiedliche Varianten realisierbar, die die Anpassung an die jeweilige Anwendung ermöglichen: z. B. Rohre, Scheiben, Bieger, Scherelemente oder Translatoren

Bei Piezokomponenten sind neben der auf die jeweilige Applikation bezogene Materialauswahl, unterschiedliche geometrische Varianten und Resonanzfrequenzen realisierbar (Abb. 1), Bauelemente wie Dickenschwinger in Scheiben- bzw. Plattenform, Piezo-Ringscheiben, Piezorohre und Scherelemente mit Standardabmessungen können auf Basis vorrätiger Halbzeuge sehr kurzfristig geliefert werden. Über die Standardabmessungen hinausgehende Geometrien sind auf Anfrage ebenfalls erhältlich.

Außerdem sorgt PI Ceramic für die Integration in das endgültige Produkt. Dazu gehören sowohl die elektrische Kontaktierung der Elemente nach Kundenvorgaben als auch die Montage in bereitgestellte Bauelemente, das Verkleben oder der Verguss der Ultraschallwandler. Für Durchfluss-, Füllstand- und Kraft- oder Beschleunigungsmessung werden kundenspezifische Sensorkomponenten hergestellt, die sich einfach in die jeweilige Applikation integrieren lassen.

Aerosolerzeugung für die Atemwegstherapie

Die Anwendungsgebiete piezokeramischer Bauelemente in der Medizintechnik sind breit gefächert. Ein typisches Beispiel sind Therapiegeräte. Zur Behandlung von Atemwegserkrankungen werden die Medikamente häufig durch Vernebler direkt verabreicht. Klassischerweise zerstäubt dabei Druckluft die Inhalationslösung in feinste Tröpfchen. Eine alternative Methode ist die Erzeugung feinsten Tröpfchen mit Hilfe der Piezotechnologie.

Speziell geformte Piezoscheiben wirken hier als Ultraschallwandler und regen eine mit mehreren tausend Löchern versehene Edelstahlmembran zu Ultraschallschwingungen mit 35 Kilohertz an (Abb. 2). Dadurch werden besonders homogene Aerosole erzeugt. Dies bringt Vorteile für die präzise Dosierung – die hochwertigen Medikamente können gezielter verabreicht werden, was den Zugang zu neuen Therapiekonzepten ermöglicht. Auch das Risiko von Nebenwirkungen wird so reduziert. Zudem verringert die Piezotechnologie die benötigte Zeit für die Verneblung von Medikamenten um bis zu 50 % verglichen mit konventionellen Systemen. Gerade für Patienten mit chronischen Atemwegserkrankungen bedeutet dies einen Zugewinn an Lebensqualität.

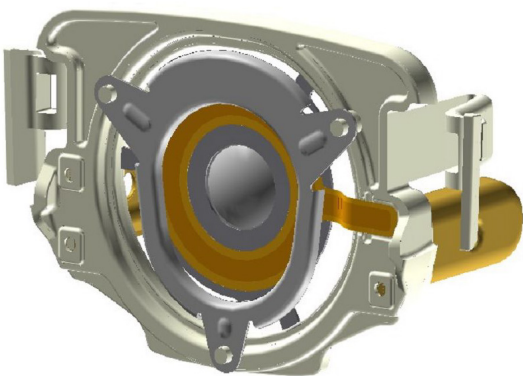


Abb. 2 Der Piezoring ist direkt mit dem Metallring der Membran verklebt. Beim Anlegen der Wechselspannung schwingt das Piezoelement (Foto: Pari Pharma/PI)

Selbst die speziellen Hygieneanforderungen, die der Einsatz in der Medizintechnik mit sich bringt, meistert die Piezokeramik; die Aerosolerzeuger sind für die professionelle Sterilisation in Autoklaven geeignet, oder können ausgekocht werden. Der Ultraschallbetrieb ist für den Menschen geräuschlos, und der geringe Energiebedarf der Piezokomponente ermöglicht auch den Batteriebetrieb.

Laufzeitmessungen für blasenfreien Durchfluss und patientenfreundliche Sonografie

Im medizinischen Bereich ist es häufig nötig, einen ungestörten Fluss ohne Luft- oder Gaseinschlüsse sicher zu stellen, z. B. in der Dialyse, bei Transfusionspumpen. Dies gelingt mit Hilfe der Ultraschalltechnik in so genannten Blasendetektoren. In diesen Sensoren dienen Piezoelemente zu Erzeugung und zum Empfang von Ultraschallwellen. Ausgewertet wird die Laufzeit des Ultraschallsignals (Abb. 3).

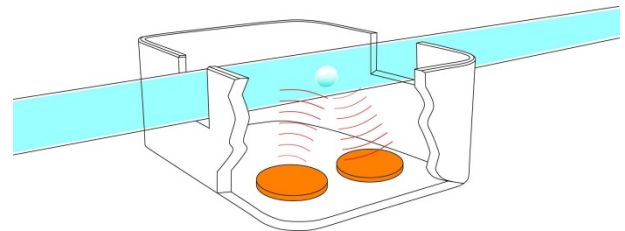


Abb. 3 Laufzeitmessung für blasenfreien Durchfluss

Die Sensoren werden außen an flexiblen Schläuchen angebracht und arbeiten ohne Kontakt zum transportierten Medium; sie beeinträchtigen daher weder die Durchflussmenge noch ist die Gefahr einer Kontamination gegeben. Durch die nichtmagnetische Piezotechnologie ist – bei geeigneter Abschirmung der Elektronik – daher sogar ein Betrieb in extremer Umgebung möglich, wie im Bereich von Magnetresonanztomografen.

Ebenfalls auf dem Prinzip der Laufzeitmessung basiert die Sonografie, deren Vorteil vor allem in der Unschädlichkeit der Schallwellen liegt. Der Schallkopf enthält ein Piezoelement, das Ultraschallwellen erzeugt und auch wieder empfängt. Er sendet kurze und gerichtete Schallwellenimpulse aus, die in den Gewebeschichten unterschiedlich stark reflektiert und gestreut werden. Anhand der Messung von Laufzeit und Stärke der Reflexionen lässt sich dann ein Bild der untersuchten Struktur erzeugen.

Neben Laufzeitmessungen finden sich typische Anwendungen von Piezoelementen aber auch beim Pumpen und Dosieren (Abb. 4). Die Dosiermengen reichen vom Mikro- und Nano- bis in den Picoliterbereich. Dabei überzeugen die piezobasierten Mikrodosiersysteme durch ihre minimalen Abmessungen, ihren geringen Energieverbrauch und niedrige Kosten.

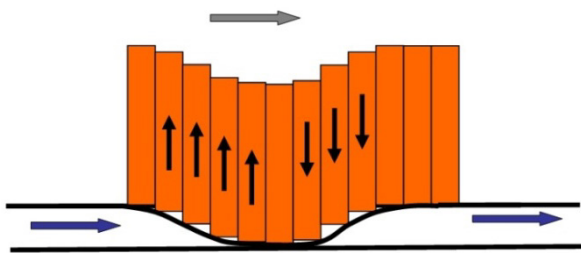


Abb. 4 Neben Laufzeitmessungen finden sich typische Anwendungen von Piezoelementen aber auch beim Pumpen und Dosieren. Das Bild zeigt eine Schlauchpumpe

Werkzeuge und Therapieverfahren mit Ultraschall

Weitere interessante Anwendungsgebiete liegen im Bereich des Leistungs-Ultraschalls.

Ultraschallgetriebene Werkzeuge ermöglichen heute minimalinvasive Operationstechniken in der Augen- und Kieferchirurgie. Auch Geräte zur Liposuktion (Fettabsaugung) basieren häufig auf Ultraschalltechnik ebenso wie die Zahnsteinentfernung (Abb. 5), bei denen Piezoelemente schon seit längerem als Ultraschallerzeuger zum Einsatz kommen.

Bei Therapieverfahren, die mit Ultraschall arbeiten, wird das Gewebe über einen Schallkopf mit Ultraschallwellen bestrahlt. Mechanische Längswellen erzeugen mechanische Vibrationen im Gewebe, die beispielsweise Heilungsprozesse fördern. Gleichzeitig wird ein Teil der Ultraschallenergie in Wärme umgewandelt. Typische Arbeitsfrequenzen der Piezoelemente liegen im Bereich zwischen 0,8 bis über 3 MHz, wobei sowohl Dauer- als auch Impuls-Schallverfahren zum Einsatz kommen.



Abb. 5 Werkzeug für die Zahnsteinentfernung mit Ultraschall (OEM-Produkt). Die Piezoscheiben sind deutlich erkennbar

Abhängig vom Energiegehalt der Wellen lassen sich unterschiedliche Effekte erzielen. Hochenergetische Stoßwellen werden z. B. zur Zertrümmerung von Nierensteinen genutzt. Stoßwellen niedrigerer Energie bewirken eine Art von Mikromassage und werden unter anderem zur Knochen- und Gewebebehandlung in der Physiotherapie eingesetzt.

Im kosmetischen Bereich gewinnt die Ultrasonophorese, also das Einbringen von Wirkstoffen unter die Haut, immer mehr an Bedeutung. Für Piezoelemente bietet sich damit in Medizintechnik ein immer breiteres Einsatzfeld.

Autor



Dipl.-Physiker Frank Möller, Vertrieb und Marketing bei der PI Ceramic GmbH

Über die PI Gruppe

In den letzten vier Jahrzehnten hat sich Physik Instrumente (PI) mit Stammsitz in Karlsruhe zum führenden Hersteller von Positioniersystemen mit Genauigkeiten im Nanometerbereich entwickelt. Das privat geführte Unternehmen ist mit vier Sitzen in Deutschland und zehn ausländischen Vertriebs- und Serviceniederlassungen international vertreten. Über 700 hochqualifizierte Mitarbeiter rund um die Welt versetzen die PI Gruppe in die Lage, fast jede Anforderung aus dem Bereich innovativer Präzisionspositioniertechnik zu erfüllen. Alle Schlüsseltechnologien werden im eigenen Haus entwickelt. Dadurch kann jede Phase vom Design bis hin zur Auslieferung kontrolliert werden: die Präzisionsmechanik und Elektronik ebenso wie die Positionssensorik. Die dafür benötigten piezokeramischen Elemente werden bei der Tochterfirma PI Ceramic in Lederhose gefertigt, einem der weltweit führenden Unternehmen auf dem Gebiet aktorischer und sensorischer Piezoprodukte. Die PI miCos GmbH in Eschbach bei Freiburg ist spezialisiert auf flexible Positioniersysteme für Ultrahochvakuum-Anwendungen sowie parallelkinematische Positioniersysteme mit sechs Freiheitsgraden und Sonderanfertigungen.