

Piezoelektrische Multitalente

Sensor, Aktor oder beides?



Der Piezoeffekt

Bereits Ende des 19. Jahrhunderts entdeckten Jacques und Pierre Curie, dass mechanischer Druck in Quarzkristallen elektrische Ladungen erzeugt. Sie nannten dieses Phänomen „Piezoeffekt“ nach dem griechischen Wort „Piezo“ für „Druck“ oder „Pressen“. Später stellten sie fest, dass elektrische Felder piezoelektrische Materialien verformen können. Man bezeichnet dies als den „inversen Piezoeffekt“.

Während sich der direkte Piezoeffekt für Sensoranwendungen nutzen lässt, bietet sich der inverse Piezoeffekt für die Realisierung von Aktoren an. Aus piezoelektrischen Materialien lassen sich dadurch – in der richtigen Kombination – sehr vielseitige Elemente kreieren.

Mit dem DuraAct Flächenwandler (Abb. 1) ist ein sehr vielseitig einsetzbares piezoelektrisches Element auf dem Markt, das sich sowohl im industriellen Bereich als auch in Forschungs- und Entwicklung ein breites Anwendungsfeld erschließen wird. Das kompakte Multitalent lässt sich sowohl als Sensor als auch als Aktor einsetzen, man kann es zur Energieerzeugung nutzen oder als selbstanpassendes, adaptronisches System verwenden (s. Adaptronik: Junge Technologie mit glänzenden Aussichten auf S. 5).

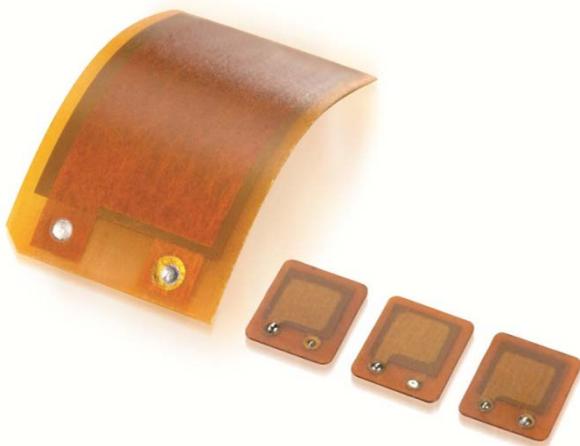


Abb. 1 Sensor, Aktor oder beides: piezoelektrische Multitalente

Aufbau und Funktionsprinzip

Die Flächenwandler basieren auf einer patentierten Entwicklung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). Sie werden in Braunschweig bei der INVENT GmbH gefertigt; die verwendeten Piezokeramiken liefert PI Ceramic. Für den exklusiven Vertrieb ist ebenfalls die PI Ceramic mit Sitz in Lederhose zuständig.

Trotz seiner Vielseitigkeit sind Aufbau und prinzipielle Funktion des piezoelektrischen Flächenwandlers einfach zu verstehen (Abb. 2).

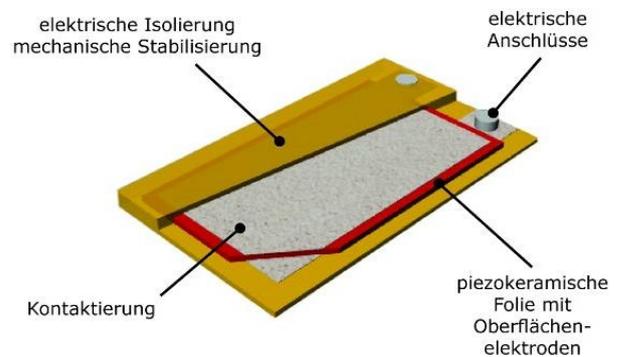


Abb. 2 Schematische Darstellung des Aufbaus eines piezoelektrischen Flächenwandlers

Grundlage der kompakten Wandler ist eine piezokeramische Folie, die zur elektrischen Kontaktierung beidseitig mit einem leitfähigen Material bedeckt wird. Anschließend wird dieser Aufbau in einem biegsamen (duktilen) Polymerverbundstoff eingebettet. Dadurch erreicht man gleich dreierlei: Die Piezokeramik wird elektrisch isoliert, mechanisch vorgespannt und der an sich spröde Werkstoff wird so robust, dass er sogar auf gekrümmten Oberflächen mit Biegeradien bis zu 12 mm aufgebracht werden kann (Abb. 3).

Man klebt die Wandler dazu einfach auf dem entsprechenden Substrat auf oder integriert sie direkt in den Verbundwerkstoff des Substrats. Kundenspezifische Geometrien des Flächenwandlers lassen sich bei diesem Aufbau ebenso realisieren wie perfekt auf den jeweils benötigten Biegeradius abgestimmte Form und Dicke der Keramik.

Das Gleiche gilt – in Abhängigkeit von der Einsatztemperatur – für die Beschaffenheit der Keramik sowie die Gestaltung der elektrischen Anschlüsse.



Abb. 3 Biegeradien bis 20 mm lassen sich mit den Flächenwandlern ohne weiteres realisieren

Aktoren nutzen den inversen Piezoeffekt...

Der elektrische Aufbau gleicht dabei einem Plattenkondensator. Die Keramik wirkt als Dielektrikum zwischen ihren metallisierten Oberflächen, die die Elektroden darstellen. Beim Anlegen einer elektrischen Spannung bildet sich ein elektrisches Feld, dessen Feldlinien senkrecht durch die Keramik verlaufen. Dies bewirkt eine um 90° zu den Feldlinien versetzte Kontraktion in der Keramik, d.h. die Piezokeramik zieht sich gleichmäßig in der Ebene zusammen. Diese Verformung lässt sich auf Strukturbauteile weiterleiten, wo sie einseitig aufgebracht eine Biegung der Struktur verursacht (Abb. 4).

Die Kraft wird dabei durch Schub flächig übertragen, also nicht an diskreten Punkten wie bei konventionellen Aktoren. Massive Krafteinleitungsstellen werden somit überflüssig.

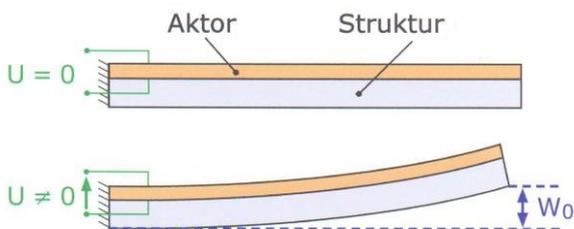


Abb. 4 Die Aktorik macht sich den inversen piezoelektrischen Effekt zu Nutze. Der Flächenwandler kontrahiert beim Anlegen einer Spannung. Durch die Aufbringung auf einem Substrat arbeitet der Piezoaktor hier als Biegewandler

Auch eine hohe dynamische Belastung verkräftet der Flächenwandler problemlos. Da die Funktion der Wandler auf kristallinen Festkörpereffekten beruht, sie also keine beweglichen Teile enthalten, sind Verschleiß und Störanfälligkeit sehr gering. Seine Lebenserwartung liegt bei über 10 Milliarden Zyklen, er gilt somit als dauerhaft.

Serienmäßig werden von PI Ceramic die DuraAct Flächenwandler zurzeit in Ausführungen mit Keramikdicken von 0,1 mm, 0,5 mm und 0,8 mm angeboten. Die maximale Kontraktion im Betriebsspannungsbereich beträgt 400 µm/m, 650 µm/m bzw. 800 µm/m. Die zulässigen Umgebungstemperaturen liegen zwischen -20 °C und +120 °C.

Zusammen mit der entsprechenden Steuerelektronik eignen sich die Flächenwandler durch ihre hohe Bandbreite bis in den Kilohertzbereich als hochdynamische, präzise Stellelemente mit Genauigkeiten im Sub-Mikrometer-Bereich.

...Sensoren den direkten

Umgekehrt werden Deformierungen der Struktur durch den Wandler in elektrische Ladung umgesetzt, wodurch sich das Element als Sensor nutzen lässt (Abb. 5). Dabei reagiert die Piezokeramik auf Verformungen oder Änderungen des elektrischen Feldes extrem schnell. Dadurch können Schwingungen bis in den Kilohertzbereich gemessen werden.

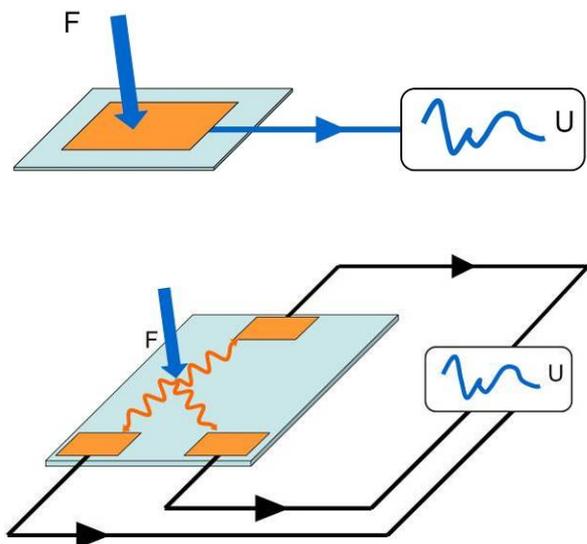


Abb. 5 Die klassische Anwendung des direkten piezoelektrischen Effekts in der Sensorik: Kleinste Bewegungen des Substrats verursachen eine Bewegung des Flächenwandlers und erzeugen ein elektrisches Signal, das der Auslenkung proportional ist

Kombiniert man den Flächenwandler mit einer Regelung, kann man beispielsweise in der Schwingungsdämpfung sehr gute Ergebnisse erzielen. Das Sensorsignal steuert dann eine externe Dämpfung.

Die Flächenwandler lassen sich aber auch im Bereich der Strukturüberwachung (Abb. 6) einsetzen (Structural Health Monitoring). Sie sind zu diesem Zweck direkt in die zu überwachende Struktur, z. B. ein Maschinenteil oder Flugzeugflügel, eingebettet und detektieren eventuelle Beschädigungen.

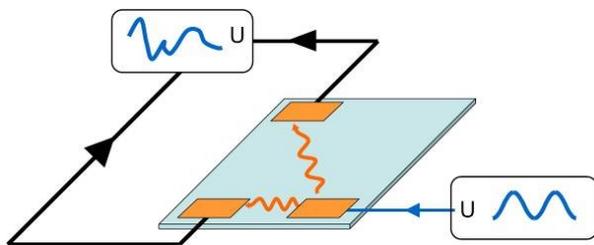


Abb. 6 Ganze Bauteilbereiche lassen sich überwachen, wenn ein Feld von Modulen auf der Oberfläche angeordnet ist, von denen ein Teil aktorisch wirkt, und ein Teil als Sensor diese selbsterzeugten Schwingungen wieder aufnimmt. Ein Vergleich mit Referenzsignalen ohne äußere Störungen bringt Erkenntnisse über den aktuellen Zustand des Bauteils

Energieautarke und adaptive Systeme

Ein weiterer interessanter Anwendungsbereich ist das „Energy Harvesting“. Durch die Umsetzung mechanischer Schwingungen von bis zu einigen Kilohertz in elektrische Spannung lassen sich Leistungen im Milliwatt-Bereich erzeugen, mit denen man kleinste elektrische Bauteile versorgen kann, z. B. Dioden, Sensoren oder Minisender (Abb. 7).

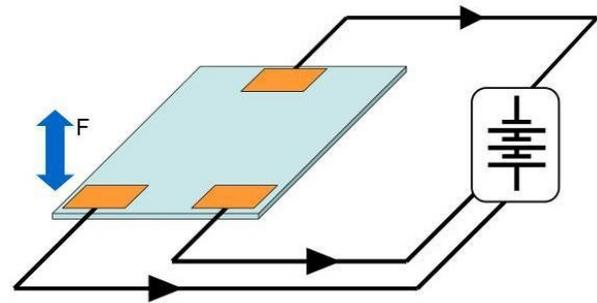


Abb. 7 Die aufgenommene mechanische Energie wird in elektrische Spannung umgesetzt. Dadurch wird der Flächenwandler zum Minigenerator, mit dem sich energieautarke Systeme realisieren lassen

Die Flächenwandler fungieren also als Mini-Generatoren. Bei Strukturüberwachungen beispielsweise lässt sich dadurch mit vergleichsweise einfachen Mitteln ein „Wireless Health Monitoring“ realisieren. Der Flächenwandler wird zum einen als Sensor zur Deformationskontrolle eingesetzt und kann zusätzlich noch einen Sender zur Fernüberwachung der Werkstoffe versorgen. Man hat damit ein energieautarkes Überwachungs- und Warnsystem. Externe Stromzuführungen oder Batterien sind unnötig.

Bei den beschriebenen Anwendungen sind die Flächenwandler aus einer einzigen piezokeramischen Schicht aufgebaut. Genauso gut lassen sich aber auch mehrlagige Elemente realisieren, die weitere interessante Möglichkeiten erschließen: Bei Aktoren lässt sich so beispielsweise bei gleicher Betriebsspannung die Kraftwirkung steigern.

Kontaktiert man die Schichten getrennt, ist derselbe Wandler gleichzeitig als Sensor und Aktor nutzbar, es gibt also im Gegensatz zum einschichtigen Aufbau keinerlei Umschaltzeiten. Kombiniert mit der entsprechenden Elektronik, entsteht ein adaptives System, das gemessene Erschütterungen selbsttätig ausgleichen kann.

Passende Regelelektroniken, mit denen sich alle beschriebenen Applikationen realisieren lassen, findet man im breiten Produktprogramm der Firma Physik Instrumente (PI). Dabei sind kundenspezifische Anpassungen jederzeit problemlos möglich.

Adaptronik: Junge Technologie mit glänzenden Aussichten

Der noch jungen Technologie werden glänzende Zukunftsperspektiven zugesprochen. Mit adaptronischen Systemen können störende Schwingungen und Geräusche beseitigt werden, aber auch Brüche in Materialstrukturen erkannt werden, noch bevor Risse entstehen, z.B. in Maschinenteilen, Brücken etc.

Intelligente, sich anpassende Werkstoffe, so genannte „smart materials“, in denen Aktoren und Sensoren integriert sind, eröffnen Konstrukteuren und Produktentwicklern neue Möglichkeiten der Bauteilgestaltung. Das Konzept adaptronischer Werkstoffsysteme orientiert sich am Verhalten biologischer Systeme, die in der Lage sind, auf eine sich ändernde Umgebung intelligent zu reagieren.

Das Spektrum der Anwendungen reicht von der Automobiltechnik über den Maschinen- und Anlagenbau, der Medizintechnik, der Messtechnik bis hin zur Luft- und Raumfahrt. Piezoelektrische Flächenwandler wie der im Text beschriebene DuraAct finden vor diesem Hintergrund ein breites Einsatzspektrum.

Fazit

DuraAct Flächenwandler sind sehr vielseitige piezoelektrische Elemente, die sowohl als Sensoren als auch als Aktoren eingesetzt werden. Als Aktoren verformen sich die Wandler beim Anlegen einer Spannung und entwickeln nutzbare Kräfte.

Umgekehrt setzen sie mechanische Deformation in messbare elektrische Ladung um und dienen somit als Sensoren. In beiden Fällen bestehen die Wandler im Kern aus einer piezokeramischen Folie, die sich anwendungsspezifischen Anforderungen, wie Biegeradius, Beschaffenheit der Keramik und Gestaltung der elektrischen Anschlüsse, anpassen lässt.

Auch hoher dynamischer Belastung sind die Flächenwandler gewachsen und dies bei einer Lebenserwartung von über 10 Milliarden Zyklen. Verschleiß und Störanfälligkeit sind sehr gering, da die Funktion der Wandler auf kristallinen Festkörpereffekten beruht, sie also keine beweglichen Teile enthalten. Neben ihrem Einsatz als Sensoren oder Aktoren können DuraAct Flächenwandler auch als Mini-Generatoren dienen. Beim sogenannten „Energy Harvesting“ setzen die Wandler mechanischer Schwingungen in elektrische Spannung um und ermöglichen damit ein energieautarkes Überwachungs- und Warnsystem.

Weitere Informationen zu DuraAct Flächenwandlern finden Sie unter:

<http://www.piceramic.de>

Autoren



Dipl.-Phys. Birgit Schulze, Markt & Produkte bei Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG

Ellen-Christine Reiff, M.A., Redaktionsbüro Stutensee

Über PI Ceramic

PI Ceramic gilt als weltweit führendes Unternehmen auf dem Gebiet aktorischer und sensorischer Piezoprodukte. Große Erfahrung im komplexen Entwicklungs- und Herstellungsprozess funktionskeramischer Bauelemente verbunden mit modernster Produktionsausstattung gewährleisten hohe Qualität, Flexibilität und Liefertreue.

Prototypen und Kleinserien kundenspezifischer Piezobaugruppen stehen bereits nach kurzen Bearbeitungszeiten zur Verfügung. PI Ceramic besitzt darüber hinaus die Kapazitäten für die Herstellung mittlerer und großer Serien in automatisierten Linien.

PI Ceramic ist ein Tochterunternehmen der Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG und hat seinen Sitz in Lederhose, Thüringen.