

Keramische Isolierung schützt Piezoaktoren

Piezoaktoren wandeln elektrische Energie direkt in mechanische und umgekehrt. Dabei erreichen sie typischerweise Stellwege bis zu 1 mm bei Auflösungen bis in den nm-Bereich und eine hohe Dynamik mit Frequenzen bis zu mehreren 1 000 Hz. Da die Bewegung auf kristallinen Effekten beruht, gibt es keine rotierenden oder reibenden Teile, was die Aktoren wartungs- und verschleißfrei macht. Allerdings können Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Betriebsspannung ihre Zuverlässigkeit und Lebensdauer erheblich beeinträchtigen. Doch es gibt Abhilfe: Zum Problemlöser werden optimierte Materialien und Herstellungsverfahren, ein entsprechender Aufbau und last but not least die Wahl der geeigneten Isolierung.

Birgit Schulze

auf die eingesetzte Piezoaktorik aus. Die Lebenserwartung konventioneller, polymerisolierter Piezoaktoren kann sinken, da es keine Polymerumhüllung gibt, die wirklich feuchtigkeitsdicht ist. Die hohen elektrischen Gleichfelder im Innern des Aktors ziehen Wassermoleküle an. Eindringende Feuchtigkeit und das anliegende elektrische Feld bedingen dann im Bauelement chemische Reaktionen, die sich bei höheren Temperaturen noch be-

Piezoaktoren sind einsatzbedingt oft hoher Luftfeuchtigkeit ausgesetzt. Ein typisches Beispiel sind Positionieraufgaben im Bereich der Halbleiterfertigung. Hier arbeitet man üblicherweise mit konstant hoher Offset-Spannung, um zum Beispiel Wafer während der Lithografie und der Inspektion in Position zu halten. Dabei werden die Reinräume künstlich befeuchtet, um elektrostatischen Überschlagen vorzubeugen. Spezifikationen von 65 % relativer Feuchte sind daher keine Seltenheit. Eine weitere Ursache für erhöhte Umgebungsfeuchte sind Kühlflüssigkeiten in Maschinenbauanwendungen. Auf stabilen Betrieb kommt es aber auch in zahlreichen weiteren Anwendungsbereichen, beispielsweise bei der Weißlicht-Interferometrie (WLI), an. Diese wird häufig bei Inspektionsaufgaben genutzt, zum Beispiel in der LCD-Produktion oder bei hochgenauen Oberflächeninspektionen.

Der Feind heißt Luftfeuchtigkeit

Unter solchen Einsatzbedingungen wirkt sich Luftfeuchtigkeit häufig negativ

Dipl.-Phys. Birgit Schulze ist im Bereich Markt & Produkte bei der Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG tätig.

E-Mail: b.schulze@pi.ws

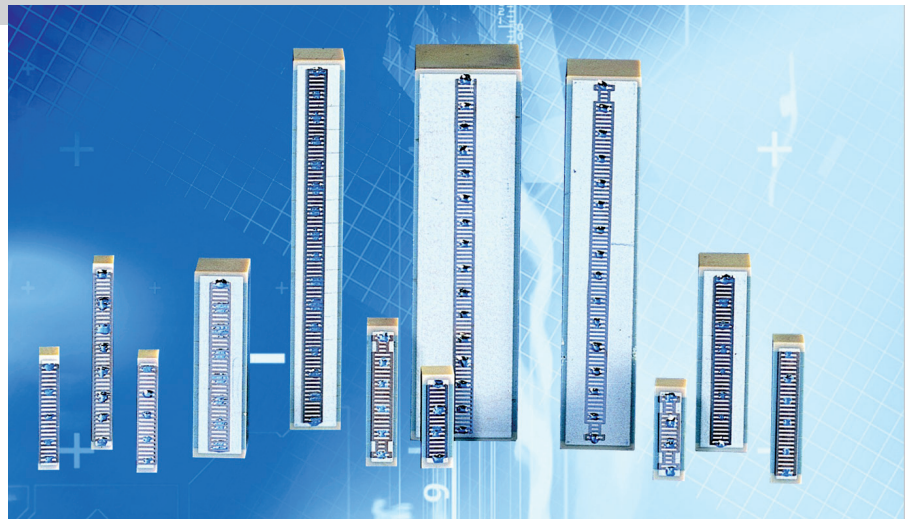


Bild 1. Keramisch isolierte Hochleistungs-Piezoaktoren sind auch unter erschwerten Einsatzbedingungen langlebig

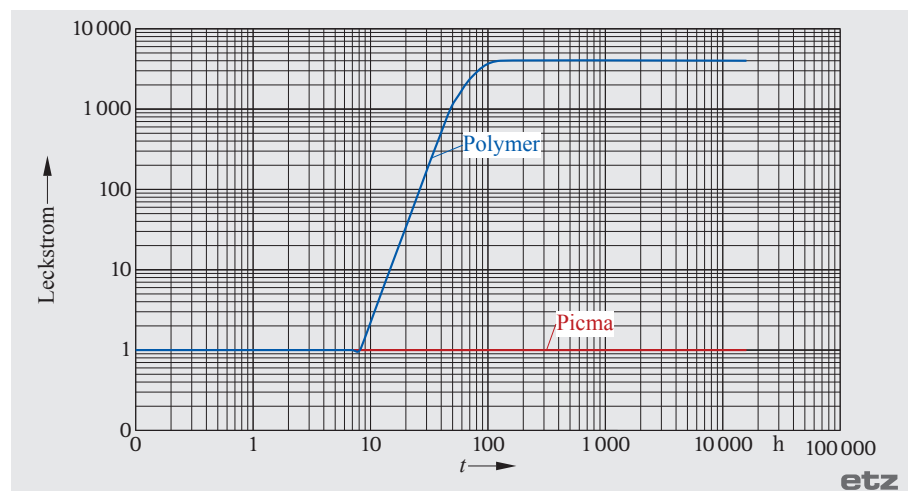


Bild 2. Während polymerisierte Piezoaktoren (blau) bereits nach wenigen Stunden erhöhte Leckströme zeigen, bleibt der Innenwiderstand bei keramischer Isolation des Aktors (rot) langfristig stabil. (Testbedingungen: 100 VDC, 25 °C, 70 % relative Luftfeuchtigkeit (RH))

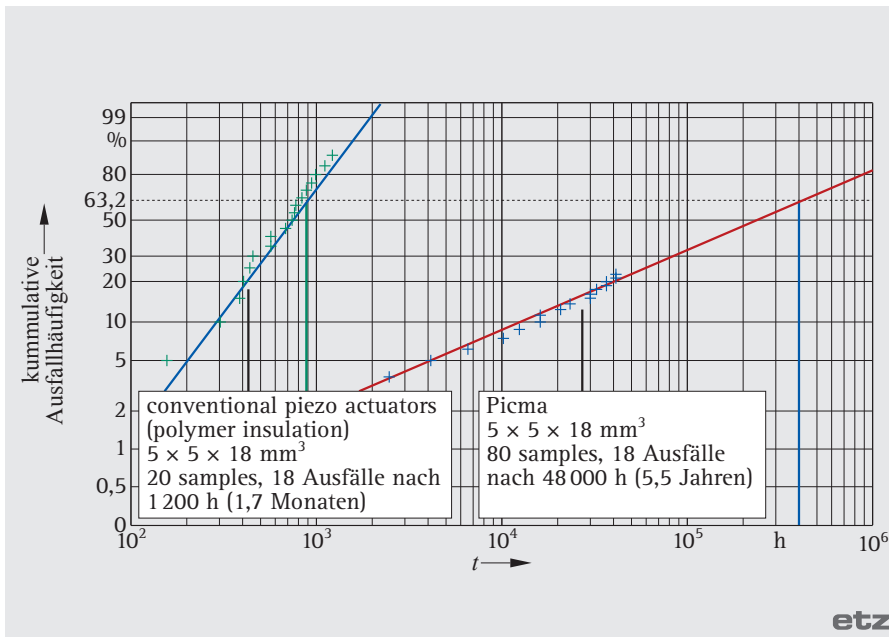


Bild 3. Vergleichstest von Picma-Aktoren und mit einer Polymerumhüllung isolierten Piezoaktoren. Ergebnisse eines beschleunigten Lebensdauertests mit erhöhter Luftfeuchtigkeit für beschleunigte Alterung

schleunigen. Die Folge sind zunächst erhöhte Leckströme und schließlich ein dielektrischer Durchschlag bzw. ein Kurzschluss zwischen den Elektroden, der den Aktor dann irreparabel zerstören kann.

PI Ceramic [1], ein Tochterunternehmen von Physik Instrumente (PI) [2], verzichtet deshalb bei den Multilayer-Piezoaktoren der Picma-Serie (Bild 1) auf die sonst übliche Polymerisolierung. Diese Aktoren schützt stattdessen der monolithische Aufbau mit vollkeramischer Isolierschicht vor eindringender Feuchtigkeit. Messungen zum Leckstrom belegen dies (Bild 2). Während polymerisolierte Piezoaktoren bereits nach wenigen Stunden erhöhte Leckströme zeigen, bleibt bei keramischer Isolation der Isolationswiderstand langfristig stabil.

Langzeittests belegen die Zuverlässigkeit

Piezoaktoren werden in Positionieranwendungen üblicherweise mit konstanter Spannung betrieben, um die erreichte Po-

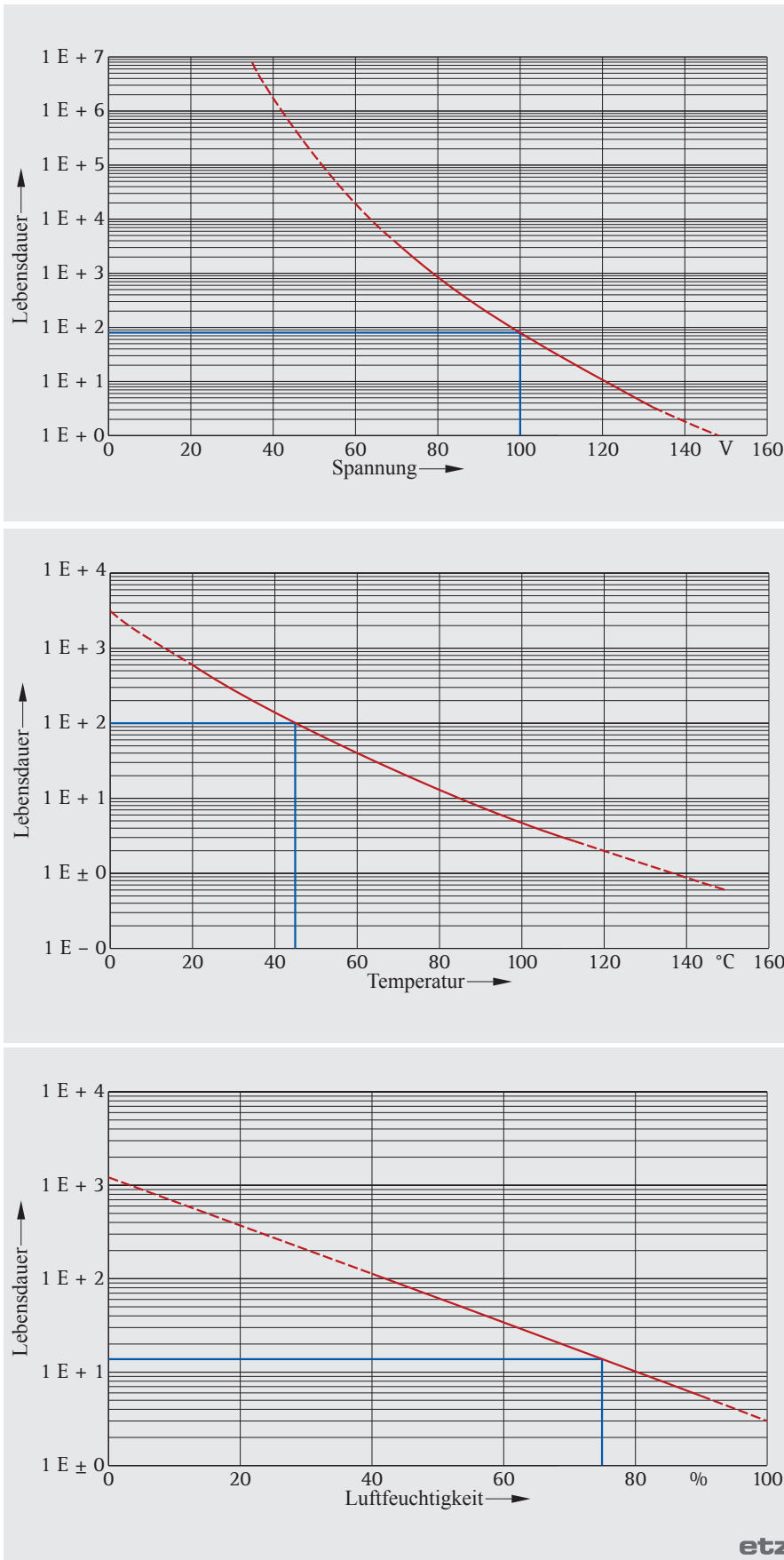


Bild 4. Die Diagramme zeigen die Abhängigkeit der mittleren Lebensdauer eines Picma-Aktors von der Höhe der angelegten Spannung, der Umgebungstemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit

sition über längere Zeit zu halten. Um die zu erwartende Lebensdauer zu ermitteln, sind also die Einflussfaktoren Temperatur, relative Luftfeuchte und angelegte Spannung zu berücksichtigen. Die geringen Ausfallraten machen es praktisch unmöglich, die Lebensdauer von Picma-Aktoren bei realen Einsatzbedingungen experimentell zu ermitteln. Zur Abschätzung der Lebensdauer dienen daher beschleunigte Lebensdauer-Prüfungen mit einer erhöhten relativen Luftfeuchtigkeit. Daraus resultiert dann die Angabe der mittleren Lebensdauer (Mean Time To Failure, MTTF) im realen Einsatz. Besonders hoch ist dabei der Einfluss der angelegten Spannung. Beispielsweise ist bei 80 V die zu erwartende Lebensdauer zehnmal so hoch wie bei 100 V. Auch in puncto Betriebsspannung haben die Picma-Aktoren damit die Nase vorn, da sie - im Gegensatz zu den meisten handelsüblichen Ausführungen - bereits bei Betriebsspannungen von unter 150 V ihre Nennauslenkung erreichen. Diese Eigenschaft wird durch die Verwendung besonders dünner Keramiksichten erreicht.

In Zahlen lassen sich die Ergebnisse der Lebensdauerprüfung so zusammenfassen: Herkömmlich polymerummantelte Piezoaktoren überstehen den Dauereinsatz bei erhöhter Luftfeuchtigkeit typischerweise ca. 30 Tage (Bild 3), die vollkeramisch isolierten Multilayer-Piezoaktoren arbeiten noch nach über vier Jahren zuverlässig. Die Ergebnisse wurden an einer repräsentativen Stichprobe von 5 mm × 5 mm × 18 mm großen Picma-Aktoren (P-885.50) ermittelt. Die Einflüsse der Haupt-Faktoren für die Lebensdauer (Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Betriebsspannung) lassen sich getrennt betrachten und grafisch darstellen. Bild 4 zeigt die typischen Abhängigkeiten. Bei den in den Diagrammen markierten Werten von 100 V, einer relativen Feuchte von 74 % und einer Temperatur von 45 °C ergibt sich eine ungefähre mittlere Lebensdauer von 105 000 Betriebsstunden, was fast 12 Jahren Dauereinsatz entspricht.

Stabil auch bei dynamischem Dauerbetrieb

Multilayer-Piezoaktoren kommen oft auch in hochdynamischen Anwendungen, zum Beispiel in Ventilen, Pumpen oder Ultraschallwandlern, zum Einsatz. Hier müssen sie zyklischen Beanspruchungen mit einem schnellen Wechselfeld standhalten und dabei Ansteuerspannungen von typischerweise mehr als 50 V (bei einer Frequenz von 100 Hz oder mehr) verkraften. Im dynamischen Be-

Multilayer-Piezoaktoren und ihr Aufbau

Die Fertigung der Multilayer ist aufwändig: Zunächst wird das keramische Material, das auf einer speziellen PZT-Keramik (Bleizirkonat-Bleitanat) basiert, gemahlen und ein Schlicker hergestellt, aus dem sich dünne keramische Folien gießen lassen. Danach werden Elektroden aufgedruckt und die Lagen zu Stapeln laminiert. Zum Entfernen der eingeschlossenen Luft zwischen den einzelnen Lagen wird die Keramik verdichtet und anschließend zusam-

men mit den Elektroden gesintert (Co-Fired-Technology), wodurch ein monolithischer Block entsteht. Dieser ist durch eine vollkeramische Isolierschicht vor Luftfeuchtigkeit und Ausfällen durch erhöhten Leckstrom geschützt. Das sorgt für eine hohe Zuverlässigkeit und eine lange Lebensdauer. Der vollkeramische Aufbau bedingt außerdem eine hohe Resonanzfrequenz, weshalb sich die Aktoren für hochdynamische Anwendungen eignen.

trieb erwärmt sich die Piezokeramik, was die Einflüsse durch die Luftfeuchtigkeit reduziert. Die Lebensdauer der Piezoaktoren wird bei solchen Anwendungen in höherem Maß von dynamischen Kräften und wechselnden mechanischen Spannungszuständen beeinflusst.

Um ihre Lebensdauer im dynamischen Betrieb zu erhöhen, ist deshalb die Risswahrscheinlichkeit zu reduzieren. Hier setzt die Picma-Technik an. Ihr patentiertes Slot-Design minimiert die Dehnungsbelastung. Die seitlichen Schlitzte verhindern eine Überhöhung der mechanischen Zugspannungen im Stapel und wirken so der Bildung unkontrollierter Risse entgegen. Außerdem sorgt der ebenfalls patentierte mäanderförmige Aufbau der äußeren Elektroden (Bild 5) für einen stabilen elektrischen Kontakt der Innenelektroden selbst bei extremen dynamischen Belastungen. Auch nach vielen Milliarden Testzyklen zeigen die Picma-Aktoren keine Verschleißerscheinungen. Während die starke mechanische Belastung bei anderen Designs im schlimmsten Fall zu Rissen im Stapelaufbau und damit zu elektrischen Durchschlägen führen kann.

Unter allen Bedingungen langlebig

Für die Tests wurden vorgespannte Ausführungen der Größe 5 mm × 5 mm × 36 mm bei Raumtemperatur und durchschnittlicher Luftfeuchte mit einem Sinussignal von 120 V unipolarer Spannung bei 1 157 Hz belastet. Das ergibt 10⁸ Zyklen täglich. Selbst bei dieser hohen Spannung und Frequenz gab es keinen einzigen Ausfall und die Aktoren zeigten keine signifikanten Auslenkungsänderungen. Dabei profitiert der dynamische Betrieb vom großen Betriebstemperaturbereich von bis zu 150 °C, weil die Eigenerwärmung der Piezoaktoren bei dynamischer Ansteuerung zur Betriebsfrequenz proportional ist. Daher erlaubt eine höhere Betriebstemperatur auch höhere Ansteuerfrequenzen und eine längere Einschaltdauer.

Die keramisch isolierten Piezoaktoren bieten also sowohl im hochdynamischen Betrieb als auch bei Positionieranwendungen eine hohe Lebenserwartung.

Literatur

- [1] PI Ceramic GmbH, Lederhose: www.piceramic.de
- [2] Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG, Karlsruhe: www.pi.ws

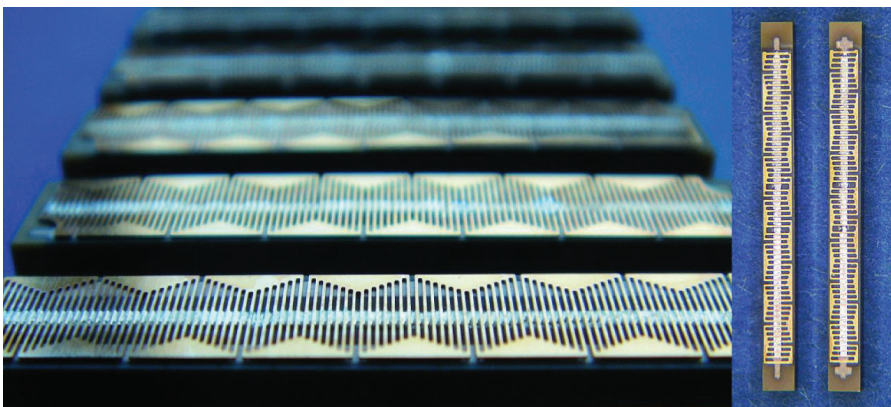


Bild 5. Patentierte, mäanderförmige Außenelektroden: stabiler elektrischer Kontakt selbst bei extremen dynamischen Belastungen